XVII REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO

S

Mo

ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA

Zn

B

Mn

Co

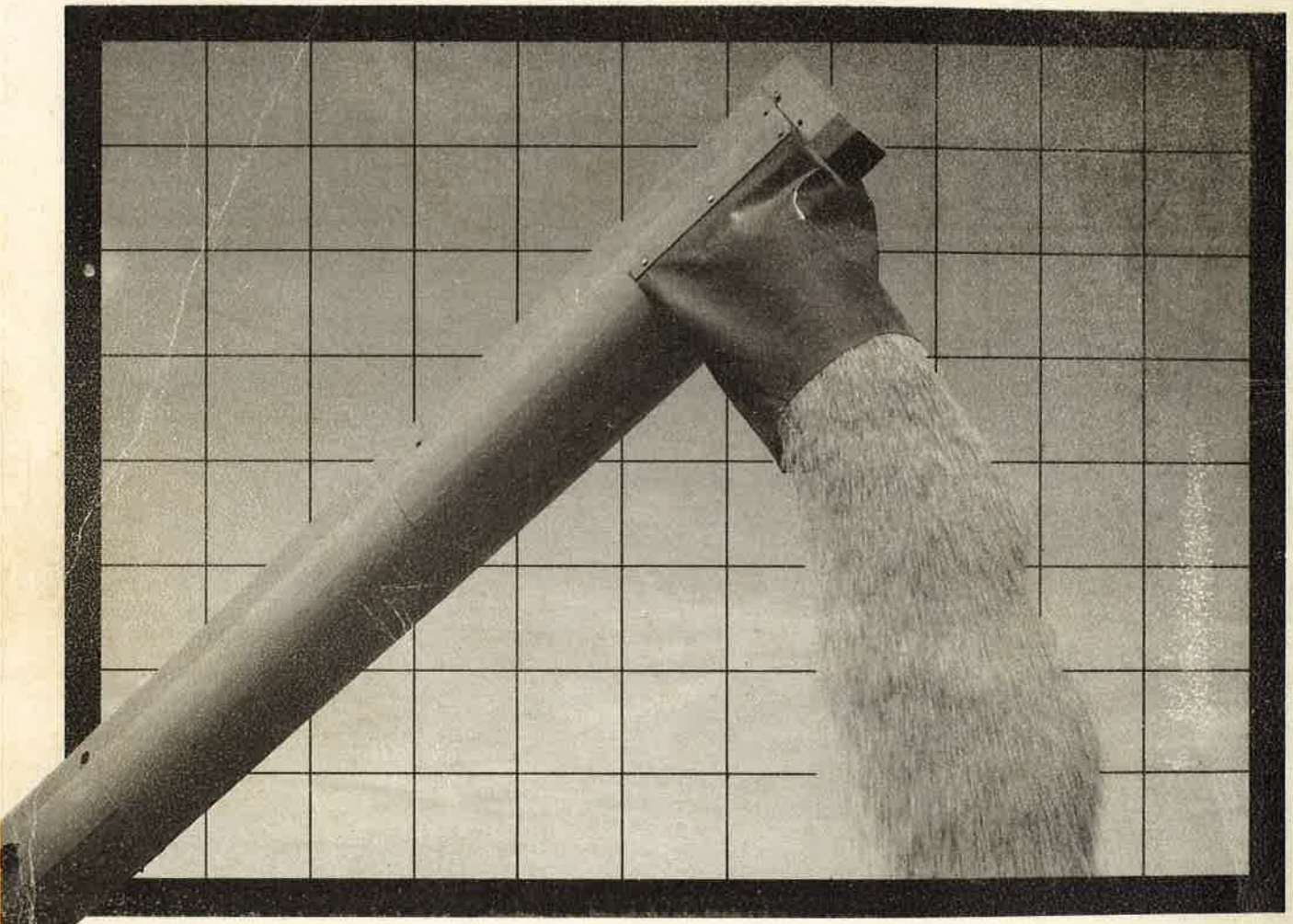
Fe

Cu

EMBRAPA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA
IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ
SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO

Londrina, PR.
1988

Pesquisas da Adubos Ipiranga indicam: Brasil é candidato a mais uma safra recorde de grãos.



Pesquisa tem que ter aplicação prática. É justamente isto que torna o Centro Agronômico de Pesquisa da Adubos Ipiranga tão importante para a nossa agricultura. No CAP são feitas análises de solo e tecido vegetal, reunidas informações básicas para a montagem de um programa de fertilização do solo e ainda acompanhamento de lavouras e teste de formulações próprias, adaptadas a cada tipo de solo e cultura. Os resultados, todo mundo pode ver, da boca da trilhadeira à balança comercial: a cada safra, aumenta a qualidade e a quantidade de grãos colhidos. E nestes resultados dá pra confiar. Porque é a agricultura brasileira que assina embaixo.

ADUBOS IPIRANGA

A produtividade tem a nossa marca.

INGRESSE NA

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO

Você ao ingressar na SBCS estará fazendo parte de um grupo de pessoas que tem interesse em desenvolver e divulgar os estudos pedológicos em nosso país.

São estas as atividades principais da SBCS:

a) Organizar congressos nacionais;
b) Organizar reuniões de fertilidade do solo;
c) Organizar congressos e encontros de pesquisa sobre conservação do solo;

Todas essas reuniões são bienais, sendo que os congressos nacionais são realizados em anos alternados, propiciando pelo menos um evento anual.

d) Publicações.

Destas, podemos afirmar que as publicações são da maior importância, uma vez que é por elas que a Sociedade se faz ouvir por todos e lança os padrões pelos quais seu nível e vitalidade são julgados.

Ciente desta responsabilidade, a SBCS zela pela manutenção e aprimoramento da sua Revista Brasileira de Ciência do Solo e Boletim Informativo, para que o que solicita a todos os seus consócios que prestigiem essas publicações, colaborando tanto na sua leitura e divulgação, bem como enviando matérias para nelas serem publicadas.

São vantagens dos associados da SBCS:

– Receber gratuitamente a Revista Brasileira de Ciência do Solo;
– Receber gratuitamente o Boletim Informativo;
– Apresentar trabalhos nos Congressos promovidos pela Sociedade;
– Durante os Congressos conhecer outros cientistas, manter contato com os conhecidos, conhecer e debater novas linhas de pesquisa;
– Divulgar seu trabalho e idéias enviando matéria para publicação na R. bras. Ci. Solo ou B. Informativo;
– Efetuar, por seu intermédio, pagamento da anuidade da Sociedade Internacional de Ciência do Solo.

Relação das publicações disponíveis:

	PREÇOS (OTN)
• Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira	1º volume para sócios 1,20 não sócios 2,00
• Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil	1º volume para sócios 0,08 não sócios 0,16
• Manual de descrição de coleta de solo no campo	1º volume para sócios 0,13 não sócios 0,26
• Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso	1º volume para sócios 0,50 não sócios 0,80
• Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos	1º volume para sócios 0,70 não sócios 0,90
• Adubação nitrogenada no Brasil	1º volume para sócios 0,70 não sócios 0,90

Compras de mais de 10 volumes de um mesmo livro dão direito a um desconto de 10% sobre os preços para não sócios.

Os pedidos devem ser acompanhados de cheque nominal à Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e endereçados à: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Secretaria Executiva. Caixa Postal 28, CEP 13001 CAMPINAS (SP).

XVII REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO

ANAIS DO SIMPÓSIO:

ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA

Editado por

CLÓVIS MANUEL BORKERT e ÁUREO FRANCISCO LANTMANN

EMBRAPA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA
IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ
SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO

Londrina, PR.
1988

Embrapa

REVISORES CIENTÍFICOS

Áureo Francisco Lantmann
Clóvis Manuel Borkert
Décio Carlos Zocoler
Gedi Jorge Sfredo
Márcio Voss
Marcos Antonio Pavan
Mário Miyazawa
Mauro Sanches Parra
Osmar Muzilli
Paulo Roberto Galerani

Tiragem: 2.000 exemplares

ARTES GRÁFICAS Hélvio Borini Zemuner
CAPA Danilo Estevão
DATILOGRAFIA Sandra Regina da Silva
REVISÃO DE DATILOGRAFIA Carlos Hissao Kurihara

Borkert, Clóvis Manuel, ed.
Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira ed. por Clóvis Manuel Borkert e Áureo Francisco Lantmann. Londrina, EMBRAPA-CNPSo/IAPAR/SBCS, 1988.
317p.

Anais do Simpósio: Enxofre e Micronutrientes na Agricultura Brasileira

1. Solo-Fertilidade-Congresso-Brasil. I. Lantmann, Áureo Francisco, Co-ed. II. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Londrina, PR. III. Fundação Instituto Agronômico do Paraná. IV. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. V. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, 17, Londrina, PR, 1986. VI. Título.

CDD 631.4206081

COMISSÃO ORGANIZADORA DA XVII REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO

Presidente: *Áureo Francisco Lantmann*

Secretário: *Edson Lima de Oliveira*

Tesoureiro: *Rubens José Campo*

Membros: *Antonio Costa*
Clóvis Manuel Borkert
Hélio Dolianitţi Moraes
Hideaki Wilson Takahashi
José Graças Maia de Andrade
Lineu Alberto Domit
Marcos José Vieira

Comitê Editorial:
Clóvis Manuel Borkert
Gedi Jorge Sfredo
Leocadia M.R. Mecenas
Márcio Voss
Marcos Antonio Pavan
Paulo Roberto Galerani

Comitê Assessor:
Alfredo Scheid Lopes
Antonio Carlos Moniz
Bernardo van Raij
Décio Carlos Zocoler
†*Kozen Igue*
Mário Myazawa
Nelson Ávila Simão
Nestor Rioti Miura
Osmar Muzilli
Sérgio Jorge Volkweiss
Sidival Lourenço
Wenceslau J. Goedert

Secretaria Executiva:
Mabel Miyuki Nakay
Sandra Regina da Silva
Helena Pitol

REALIZAÇÃO

EMBRAPA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA

IAPAR - FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ

SBCS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO

COLABORAÇÃO

EMBRAPA

IAPAR

SECRETARIA DA AGRICULTURA DO ESTADO DO PARANÁ

CONCITEC - CONSELHO ESTADUAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

FINEP - FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS

CENTRO DE PESQUISA E PROMOÇÃO DO SULFATO DE AMÔNIO

MICROQUÍMICA

COPAS

CARGILL

ARBORE

POTAFÓS

HERBITÉCNICA

MANAH S.A.

NORTOX AGROQUÍMICA S.A.

NUTRIPLANT

ADUBOS TREVO

COOPERATIVA AGRÍCOLA DE COTIA

ÁGUAS MINERAIS LON RITA S.A.

CAFÉ ITAMARATY

TRANSBRASIL

FAZENDA SÃO MANUEL

ORGANIZAÇÃO

MG EVENTOS E COMUNICAÇÃO S/C LTDA

AGRADECIMENTOS

A Comissão Organizadora da XVII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo expressa o seu agradecimento a todas as entidades que colaboraram na realização deste evento.

APRESENTAÇÃO

A agricultura brasileira experimentou um crescimento surpreendente nas duas últimas décadas. Este crescimento foi devido a aumentos de rendimento de grãos com a utilização de novas tecnologias, de mais e melhores insumos e, principalmente, pelo avanço da fronteira agrícola com a ocupação de novas terras nas Regiões Centro, Oeste, Norte e Nordeste do Brasil. Nas regiões antigas e tradicionais de agricultura, geralmente ocorrem solos férteis com boa disponibilidade original de micronutrientes, mas muitas vezes mal conservados. Nesses solos, cultivados há longo tempo sem muitos cuidados e, portanto, depauperados, a correção da acidez com calcário e a aplicação de fertilizantes mais concentrados têm proporcionado elevadas produções. Todavia, em função da maior extração de nutrientes pelas culturas, em algumas regiões já são observados sintomas de deficiência de enxofre e micronutrientes. Já nos solos do Brasil central, norte e nordeste, onde houve a expansão da agricultura e principalmente nos solos da região sob vegetação de cerrados, ocorrem problemas de deficiência de alguns micronutrientes e também de enxofre, devido ao baixo teor de matéria orgânica.

Pensando nestes problemas foi que a comissão organizadora da **XVII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo** decidiu promover um simpósio, tendo como tema central "enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira". No simpósio, foram apresentadas palestras proferidas por eminentes pesquisadores brasileiros, as quais estão reunidas em doze capítulos deste livro. Nestes capítulos, são apresentados e discutidos aspectos dos micronutrientes e do enxofre no solo, abordando assuntos desde geoquímica, formas de ocorrência, transformações químicas, modos de absorção, formas químicas, disponibilidade e interações no solo, métodos de análise de solo, métodos de análise de planta, respostas das culturas às aplicações, recomendações de utilização e fontes disponíveis, inclusive sugestões de necessidade de pesquisa e perspectivas de demanda, comercialização e produção industrial.

Por ser uma obra que reúne revisões de literatura com dados de pesquisa, principalmente, de trabalhos conduzidos em solos e condições brasileiras, temos a certeza que ela será útil como consulta por engenheiros agrônomos, professores, pesquisadores, extensionistas, estudantes e agricultores. Além disso, pelo ineditismo de ter reunido em um só volume tantas informações sobre o assunto, este livro ficará, no futuro próximo, como um marco de referência para o início de muitas pesquisas com enxofre e micronutrientes.

Clóvis Manuel Borkert e Áureo Francisco Lantmann

Londrina, junho de 1988.

AGRADECIMENTOS

Os editores agradecem aos revisores científicos que auxiliaram na primeira correção d cada capítulo deste livro, aos autores por terem feito as modificações e melhorias às sugestõe apresentadas e à Chefia do Centro Nacional de Pesquisa de Soja pelo apoio em muitas etapas dest trabalho.

Agradecemos, em especial, ao Dr. Léo Pires Ferreira pelo assessoramento em correçõe do vernáculo e em incentivos durante os dois anos consumidos na elaboração deste livro, ao Sr Hélvio Borini Zemuner pelo excelente trabalho de artes gráficas e montagem, ao Sr. Danilo Estevã pelo desenho da capa, à Srta. Sandra Regina da Silva pelo serviço de datilografia e ao estudante d agronomia Carlos Hissao Kurihara pela revisão da datilografia.

Os agradecimentos são extendidos, também, a todos os que, embora não citados, mas d uma forma ou de outra, possibilitaram a edição deste livro.

SUMÁRIO

página

página

CAPÍTULO 1

O ENXOFRE NO SOLO

Carlos A. Bissani[1]
Marino J. Tedesco[2]

RESUMO

O enxofre é o 13º elemento mais abundante da crosta terrestre, ocorrendo em compostos sólidos, formas insolúveis, sais solúveis e gases. É altamente reativo, sendo encontrado em estados de oxidação desde -2 a +6. Muitas transformações do S no solo são devidas à atividade microbiana. As principais formas que ocorrem em solos ácidos bem drenados são sulfato adsorvido à fração mineral e em compostos orgânicos. Em solos alcalinos bem drenados são encontrados compostos de S pouco solúveis, enquanto em solos mal drenados formas reduzidas de S podem propiciar características especiais ao solo. Formas gasosas no ar ou solúveis na água da chuva podem ser fontes importantes de suprimento de S para as plantas.

Termos de indexação: enxofre no solo, geoquímica do enxofre, transformações do enxofre, adsorção de S, disponibilidade de S para as plantas.

SUMMARY

SULFUR IN THE SOIL

Sulfur is the 13th most abundant element in earth's crust, found as solid compounds, sparingly soluble forms, soluble salts and gases. It's highly reactive, comprising compounds with oxidation states from -2 to +6. Several S transformations in soil are of microbial nature. In well drained acid soils predominate organically combined and mineral adsorbed sulfate (pH dependent) forms. Sparingly soluble salts are found on alcaline well drained soils while some S compounds can give particular properties to poorly drained soils. Aerial gaseous and rainfall soluble forms can be an important S source for plants.

Index terms: sulfur in the soil, sulfur geochemistry, S change in the soil, S adsorption, S availability to plants.

[1] Engenheiro Agrônomo, pesquisador da EMPASC, Estação Experimental de Lages. Caixa Postal 181. CEP 88500. Lages, SC.

[2] Engenheiro Agrônomo, Professor Adjunto do Departamento de Solos/FA/UFRGS. Bolsista do CNPq. Caixa Postal 776, CEP 90001. Porto Alegre, RS.

INTRODUÇÃO

O enxofre (S) é um macronutriente essencial ao crescimento e desenvolvimento dos organ mos vivos, por sua participação na síntese de proteínas. Torna-se então importante o conhecime dos processos de transformação e reações a que este elemento está sujeito na natureza, especialm te no solo, substrato e principal supridor de S às plantas e microrganismos.

O ciclo do S apresenta etapas e processos que ocorrem no solo, nas águas e na atmosf (Figura 1). O S, além de nutriente de plantas, é um elemento que pode, em função da atividade b lógica e transformações de seus compostos, afetar marcantemente as condições físico-químico-bio gicas do solo e de outros ambientes.

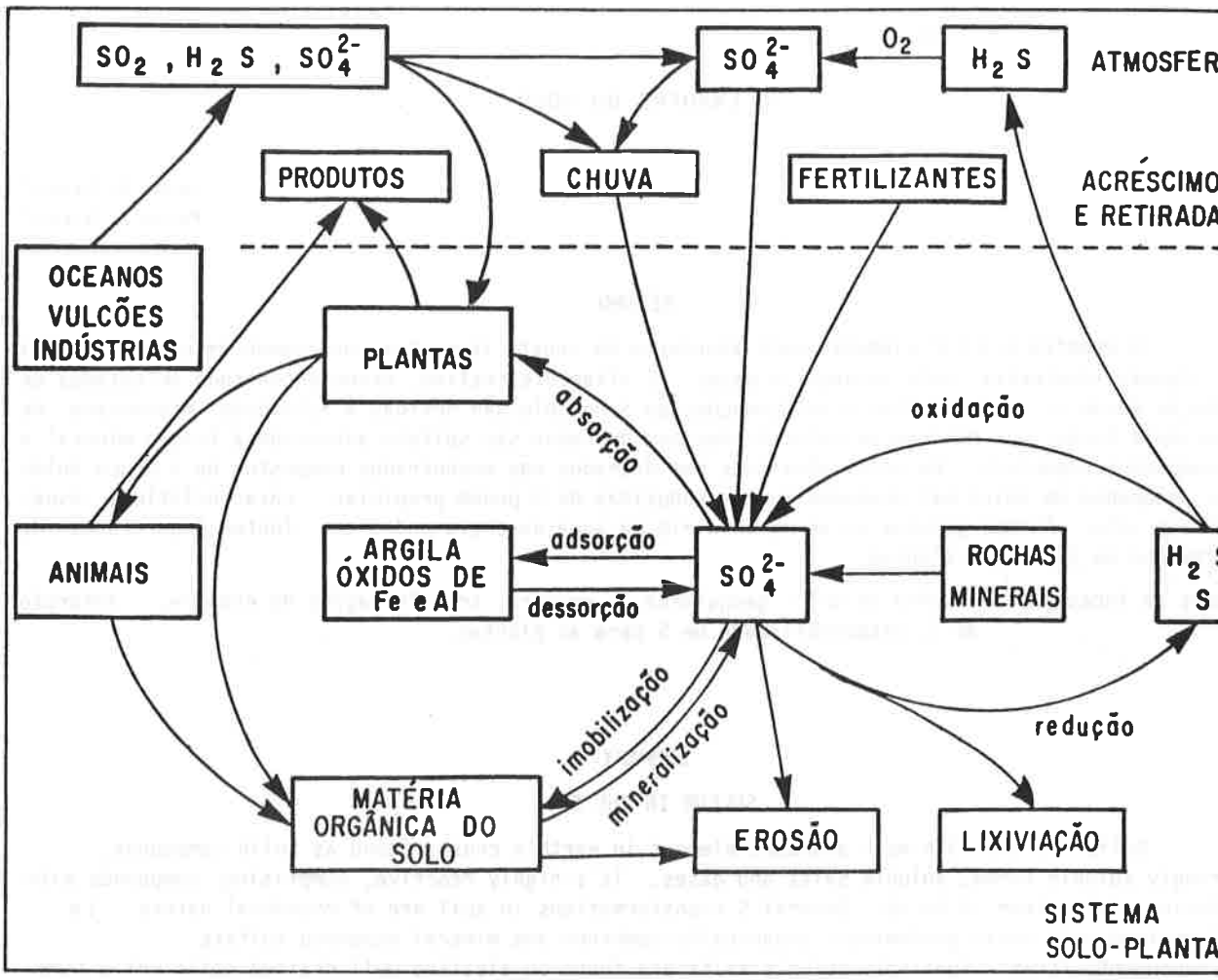


Figura 1. Representação esquemática dos principais componentes e processos do ciclo de enxofre.

As reações e processos químico-biológicos do S na biosfera se assemelham aos do nitrogên em vários aspectos: a) apresentam vários estados de oxidação; b) ocorrem nos solos agrícolas pred minantemente em formas orgânicas; c) a maioria das transformações são decorrentes da atividad microbiana; d) ocorrem em formas gasosas na atmosfera, com grande influência em processos físic químicos que nela ocorrem.

A matéria orgânica é a principal fonte de S na maioria dos solos cultivados. Entretanto quantidade de S contida no solo é muito pequena em relação a outros componentes do ciclo do S biosfera, como os oceanos, sedimentos e aerossol marinho (Trudinger, 1975).

Embora o suprimento de S para as plantas possa ser feito em parte pela atmosfera, o estudo das formas e transformações do mesmo no solo é importante para o conhecimento dos mecanismos de disponibilidade para as plantas.

Este trabalho aborda, portanto, alguns aspectos relativos à ocorrência, principais reações e fatores ambientais que afetam a disponibilidade de S para as plantas.

GEOQUÍMICA E OCORRÊNCIA DO ENXOFRE NO SOLO

Os minerais primários, especialmente sulfetos metálicos de Fe, Cu, Zn, Ca e Mg, são a fonte original do S no solo (Blair, 1979). Seu intemperismo, com a ocorrência de processos físicos, químicos e biológicos, origina outros compostos ou formas de S que são utilizados pelos microrganismos ou plantas (Figura 1). A água da chuva, a água de irrigação, a atmosfera, os fertilizantes e os pesticidas à base de S são outras fontes que contribuem para o suprimento de S ao solo.

A incorporação ao solo de formas gasosas de S pela adsorção direta ou pela dissolução na água da chuva (Figura 1), é variável entre regiões e apresenta maior importância nas proximidades de áreas urbanas e industriais (Guedes, 1985). Este autor verificou na Região Metropolitana de Porto Alegre a incorporação de S atmosférico ao sistema solo-planta de 19,7 e 49,6 kg/ha/6 meses pela água de chuva e 0,34 e 1,7 kg/ha/6 meses por adsorção direta, para áreas rurais e urbanas, respectivamente. A concentração média de S na água da chuva variou entre 0,8 e 16,5 ppm.

O S ocorre no solo em formas orgânicas e inorgânicas. O fracionamento do S orgânico, que em solos bem drenados de regiões úmidas constitui a maior parte do S total, indica a ocorrência de três formas (Neptune et alii, 1975 e Biederbeck, 1978): a) compostos com ligação S-O (sulfato de ésteres); b) compostos com ligação S-C; c) S inerte ou residual (S em compostos não identificados).

O S ligado a oxigênio consiste principalmente de sulfato de ésteres (sulfato orgânico com ligações C-O-S). Como exemplos destes compostos pode-se citar o sulfato de colina, sulfatos fenólicos e polissacarídeos e lipídios sulfatados (Tabatabai & Bremner, 1972b). Esta fração constitui em média cerca de 50% do S orgânico e é obtida pela redução a H_2S por ácido iodídrico (HI) e é também denominada S redutível (Neptune et alii, 1975 e Probert & Samosir, 1983).

O S ligado a carbono (S em compostos com ligação S-C) é encontrado principalmente em aminoácidos (cisteína e metionina) (Tabatabai & Bremner, 1972b). Entretanto, Biederbeck (1978) cita que estes aminoácidos são pouco estáveis e não se acumulam no solo. Assim, outros compostos não conhecidos participariam da fração C-S. A obtenção desta fração pode ser feita pela diferença entre o S total e o S redutível (S-O) ou pela sua redução a H_2S pela liga de Raney (Biederbeck, 1978). Porém, os teores encontrados por redução são menores que aqueles obtidos por diferença, o que indica a existência de outras formas de S orgânico não conhecidas, as quais constituem a fração de S residual ou inerte. As frações S-C e S residual representam em média cerca de 20 a 30% do S orgânico, respectivamente (Biederbeck, 1978). Em solos brasileiros, Neptune et alii (1975) encontraram valores médios de 7 e 42%, respectivamente, para estas frações.

O fracionamento das formas de S orgânico tem sido estudado para auxiliar a avaliação da disponibilidade para as plantas, já que certas formas são mais facilmente mineralizadas. A fração S-O apresenta mineralização mais rápida por ser facilmente hidrolizada a sulfato inorgânico. As frações S-C e, principalmente, S residual são mais estáveis no solo (Biederbeck, 1978). Entretanto há indicações de que tanto as frações S-O como S-C podem contribuir para o suprimento às plantas, tornando de pouca utilidade o fracionamento do S orgânico.

O S inorgânico pode ocorrer no solo com vários estados de oxidação. As principais formas são: a) sulfato (SO_4^{2-}) em solução; b) sulfato adsorvido à fração sólida; c) formas reduzidas como dióxido de enxofre (SO_2), sulfito (SO_3^{2-}), tiossulfato ($S_2O_3^{2-}$), enxofre elementar (S^o) e sulfeto (S^{2-}).

Em solos bem drenados, as formas reduzidas são facilmente oxidadas a SO_4^{2-}, sendo esta a forma inorgânica predominante e pela qual o S é absorvido pelas plantas via sistema radicular (Neptune et alii, 1975). Entretanto as formas reduzidas, principalmente sulfetos e H_2S, são importantes em solos alagados ou em condições de anaerobiose. Em condições de má drenagem ou aridez pode ocorrer o acúmulo de sais solúveis de S, enquanto que em solos alcalinos ou calcários pode haver o

acúmulo de sais insolúveis de S ou co-cristalizados com $CaCO_3$, os quais são pouco disponíveis plantas (Probert & Samosir, 1983).

O teor de S total nos solos pode variar de 0,002 a 3,5% (Biederbeck, 1978). Os valo mais elevados ocorrem em solos alcalinos ou calcários, principalmente em regiões secas, pelo acú lo de sulfatos; em solos não calcários o teor de S total é inferior a 0,1%.

Geralmente os solos de regiões tropicais apresentam menores teores de S total e orgân que os solos de regiões temperadas devido à maior mineralização e ao maior intemperismo, que det minam maiores perdas (Blair, 1979). Esta tendência pode ser observada no Quadro 1, onde são ap sentados valores de S obtidos em algumas regiões do Brasil e de outros países.

Por ser constituído principalmente por frações orgânicas (Quadro 1), o teor de S total solo não é um parâmetro adequado para indicar a disponibilidade para as plantas a curto prazo. tretanto pode indicar o potencial de suprimento de S pelo solo.

Quadro 1. Teores de enxofre total e orgânico na camada superficial de solos brasileiros e de outros países.

Local	Nº de amostras	S total		S orgânico			Referências
		Variação	Média	Variação	Média	%	
		- - - - - - - - -		ppm	- - - - - - - - -		
Brasil							
- Amazônia	3	34 - 139	83	33 - 137	81	98	Wang et alii (1976)
- Paraná e São Paulo	6	43 - 398	166	33 - 373	154	89	Neptune et alii (1975)
- São Paulo e Goiás	7	-	-	24 - 247	70	-	McClung et alii (1959)
- Rio Grande do Sul	16	37 - 409	235	35 - 399	229	97	Nascimento & Morelli (1980a)
"	16	92 - 557	294	90 - 521	284	97	Costa (1980)
"	8	80 - 470	298	65 - 459	282	95	Wolffenbüttel & Tedesco (1981)
"	52	20 - 527	175	17 - 519	167	95	Bissani (1985)
Iowa - EUA	6	55 - 580	319	51 - 560	308	96	Neptune et alii (1975)
Iowa - EUA	64	57 - 618	294	56 - 592	285	97	Tabatabai & Bremner (1972a)
Canadá	54	88 - 760	284	-	-	-	Bettany et alii (1973)
Malásia	13	109 - 642	322	-	-	-	Nor (1981)

Os fatores de formação do solo influenciam o teor de S total, sendo que provavelmente clima e a vegetação são os mais importantes. Biederbeck (1978) cita a seguinte ordem de importâr cia para os fatores de formação: clima > vegetação > topografia=material de origem > tempo. O mate rial de origem seria o fator mais importante em relação às formas inorgânicas de S, pois tem gran de influência sobre as propriedades físico-químicas do solo.

A maior parte do S do solo, em geral mais de 90%, encontra-se em formas orgânicas (Quadro 1). Isto é comprovado pelas altas correlações verificadas entre os teores de C orgânico ou N total e os teores de S total ou orgânico (Nascimento & Morelli, 1980a; Wolffenbüttel & Tedesco, 1981 e Bissani, 1985). Um exemplo destas correlações é mostrado na Figura 2.

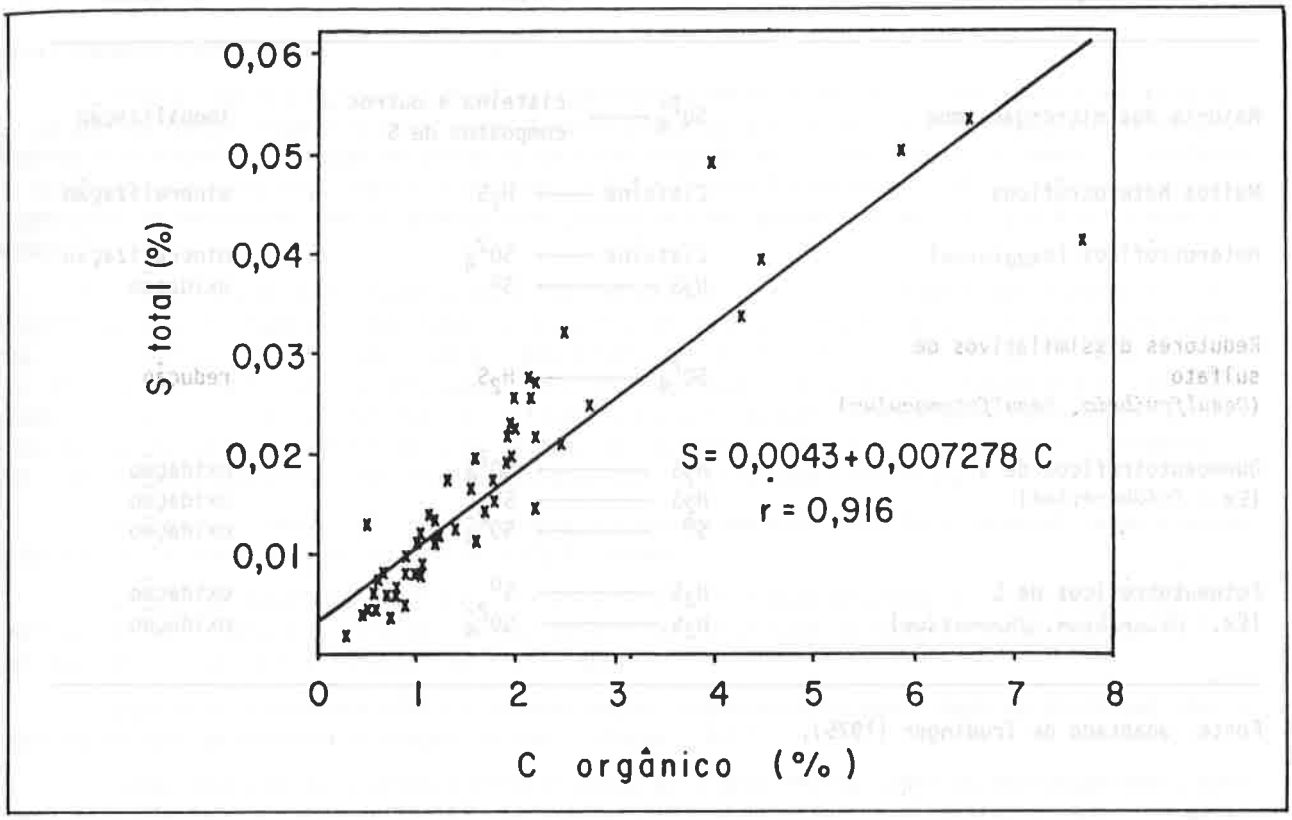


Figura 2. Relação entre os teores de carbono (C) orgânico e enxofre (S) total de 52 solos do RS (adaptado de Bissani, 1985).

A estreita relação entre o C orgânico e o S supõe uma relação C/S relativamente constante em solos de diferentes regiões climáticas, o que, entretanto, não é observado (Biederbeck, 1978). Esta variação estaria relacionada aos fatores de formação do solo. Em solos brasileiros foram verificadas as seguintes relações C/S total (médias): Paraná e São Paulo, 121:1 (Neptune et alii, 1975); Rio Grande do Sul, 112:1 (Nascimento & Morelli, 1980a); Rio Grande do Sul, 101:1 (Wolffenbüttel & Tedesco, 1981); Rio Grande do Sul, 105:1 (Bissani, 1985). A revisão bibliográfica de Biederbeck (1978) apresenta valores para a relação C/S variando de 57:1 a 271:1.

TRANSFORMAÇÕES DO ENXOFRE NO SOLO

O S do solo está sujeito a transformações microbianas, influenciadas pelas condições ambientais que afetam a composição e a atividade dos microrganismos.

Em todos os solos, em maior ou menor intensidade, ocorrem os seguintes processos (Freney & Boonjawat, 1983): a) mineralização ou decomposição de S orgânico com liberação de formas inorgânicas; b) imobilização ou conversão do S inorgânico em compostos orgânicos dos microrganismos; c) produção de sulfetos (S^{2-}) pela redução de sulfatos; d) produção de formas voláteis; c) oxidação de S elementar ou outras formas reduzidas. Estes processos estão representados na Figura 1 e as diversas formas de S e principais microrganismos envolvidos constam do Quadro 2.

Quadro 2. Principais transformações microbianas do enxofre no solo.

Organismos	Reações	Processo
Maioria dos microrganismos	$SO_4^{2-} \longrightarrow$ cisteína e outros compostos de S	imobilização
Muitos heterotróficos	Cisteína $\longrightarrow H_2S$	mineralização
Heterotróficos (*Beggiatoa*)	Cisteína $\longrightarrow SO_4^{2-}$ $H_2S \longrightarrow S^o$	mineralização oxidação
Redutores dissimilativos de sulfato (*Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*)	$SO_4^{2-} \longrightarrow H_2S$	redução
Quemoautotróficos de S (Ex.: *Thiobaccilus*)	$H_2S \longrightarrow SO_4^{2-}$ $H_2S \longrightarrow S^o$ $S^o \longrightarrow SO_4^{2-}$	oxidação oxidação oxidação
Fotoautotróficos de S (Ex.: *Chlorobium*, *Chromatium*)	$H_2S \longrightarrow S^o$ $H_2S \longrightarrow SO_4^{2-}$	oxidação oxidação

Fonte: adaptado de Trudinger (1975).

Oxidação e redução

A especificidade de atuação de grupos de microrganismos em oxidação ou redução de S depe de principalmente das condições ambientais (aeróbicas ou anaeróbicas), com variação do estado oxidação do S. Isto pode ser visualizado no Quadro 3. Algumas espécies de microrganismos, como bactéria *Thiobacillus denitrificans*, oxidam formas reduzidas a sulfato mesmo em condições de ana robiose, com redução de nitrato a N_2.

Quadro 3. Estados de oxidação do enxofre no solo.

	Anaerobiose $\rightleftharpoons$				Aerobiose
	Redução				Oxidação
Estado de oxidação	S^{2-}	S^o	S^{2+}	S^{4+}	S^{6+}
Compostos ou íons	H_2S	S	$S_2O_3^{2-}$	SO_2	SO_4^{2-}
Denominação	sulfetos	enxofre elementar	tiossulfato	dióxido de enxofre	sulfatos

Parte dos sulfetos formados são liberados na atmosfera (H_2S), onde podem ser oxidados a SO^{2-}_4. Altas concentrações de sulfetos podem ser tóxicas aos cultivos em solos alagados. Entretanto, estas são diminuídas pela oxidação de S^{2-} a S^0 e, posteriormente, a SO^{2-}_4 por algumas espécies de microrganismos, como as bactérias do gênero *Beggiatoa* (Freney & Boonjavat, 1983).

Mineralização e imobilização

A mineralização é o processo de maior importância em relação à disponibilidade para as plantas, já que as formas orgânicas constituem a maior parte do S do solo. Muitas espécies de fungos, bactérias e actinomicetos atuam no processo de mineralização do S, utilizando a matéria orgânica como substrato para seu crescimento (Alexander, 1977 e Freney & Boonjawat, 1983). Isto ocorre tanto em condições de aerobiose como de anaerobiose, tendo-se como produtos finais SO^{2-}_4 e H_2S, respectivamente.

A mineralização do S orgânico em solos bem drenados, que constituem a maior parte dos solos cultivados, é influenciada por fatores de solo e clima e pelo manejo a que os mesmos são submetidos. Os principais fatores são (Costa, 1980 e Kamprath & Till, 1983): formas de S inorgânico do solo, tipo de material orgânico adicionado ao solo, população microbiana, temperatura, aeração, umidade e pH do solo. Estes fatores são influenciados pelo manejo, sendo mais importantes os aspectos de revolvimento e cultivo do solo, adição de resíduos orgânicos e a calagem (Biederbeck, 1978). Os fatores ambientais refletem-se na população e atividade microbiana.

A fração S-O (reduzível) do S orgânico é considerada a de mais fácil mineralização e então seu teor no solo afeta as quantidades de SO^{2-}_4 liberadas.

A adição de materiais orgânicos com alta relação C/S pode provocar a imobilização de SO^{2-}_4 da solução do solo, enquanto relações baixas determinam maior taxa de mineralização dependendo do nível dos demais nutrientes (Stewart et alii, 1966).

A população microbiana afeta a mineralização, dependendo da quantidade de microrganismos e de sua capacidade em hidrolisar compostos com S (Costa, 1980).

A temperatura do solo afeta a mineralização de S pelo efeito sobre os microrganismos, sendo esta mais efetiva na faixa de 30-40°C (Alexander, 1977 e Tabatabai & Al-Khafaji, 1980). O mesmo efeito é proporcionado pela aeração e umidade. A mineralização é maior em condições de aerobiose e no solo com umidade equivalente a 60-80% da capacidade de campo (Alexander, 1977).

O pH do solo pode ser considerado o principal fator que afeta a mineralização, devido o seu marcante efeito na população e na atividade microbiana. O aumento do pH determina maior mineralização de S, principalmente em solos com maior teor de matéria orgânica (Figura 3). A faixa mais favorável à mineralização de matéria orgânica encontra-se próxima à neutralidade.

A mineralização de S no solo é maior na presença de plantas em crescimento. Isto é provavelmente devido à maior atividade microbiana na rizosfera das plantas e à excreção pelas raízes de substâncias catalisadoras da decomposição da matéria orgânica (Kamprath & Till, 1983).

Por ser um processo intensamente afetado por fatores ambientais, a mineralização de S apresenta flutuações estacionais (Blair, 1979). Em termos médios, estima-se que a taxa de mineralização encontra-se entre 1 e 2% ao ano (Kamprath & Till, 1983).

O cultivo de solos virgens, por seus efeitos nas condições de aeração, umidade e temperatura do solo e conseqüentemente na atividade microbiana, provoca a redução do teor de matéria orgânica e do S orgânico. Observa-se com o tempo a diminuição do teor de S total e orgânico no horizonte superficial e o aumento do S em horizontes subsuperficiais pelo efeito de lixiviação (Figura 4, Quadro 4). Em solos de cerrado, dados de McClung et alii (1959) indicam um decréscimo de 25 a 75% no teor de S orgânico após seu cultivo por 20 a 30 anos.

A mineralização de S orgânico, com liberação de SO^{2-}_4, pode ocorrer por processos químicos, quando o solo é submetido a tratamentos físicos, como secagem e umedecimento (Biederbeck, 1978). Este fenômeno é comprovadamente não biológico, pois é imediato e o SO^{2-}_4 é liberado em quantidades maiores daquelas obtidas pela incubação do solo sob condições adequadas para a mineralização.

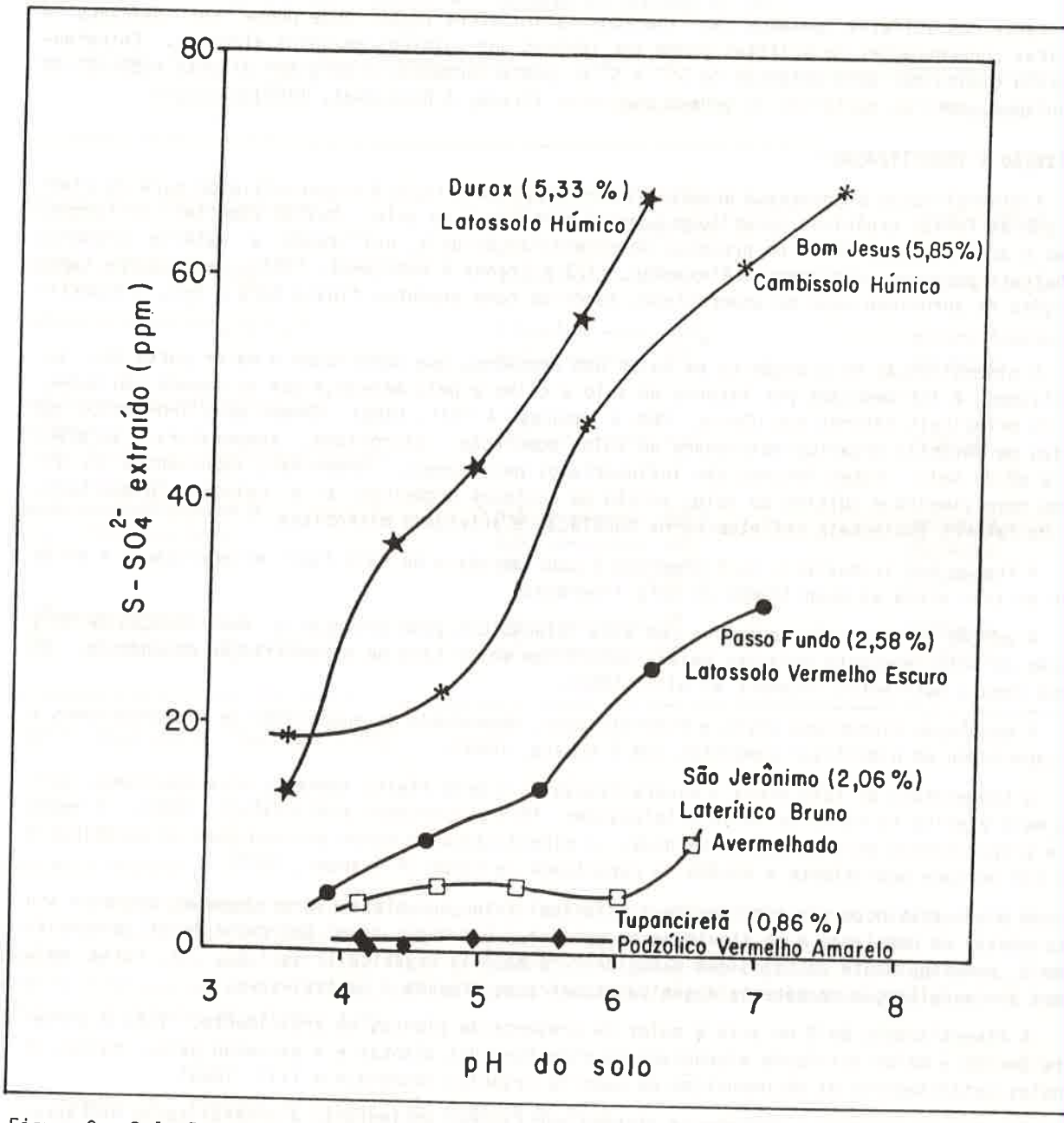


Figura 3. Relação entre o pH e o teor de sulfato extraído como uma estimativa da mineralizaçã S em solos do Rio Grande do Sul após um ano de reação com cinco níveis de $Ca(OH)_2$ (o lores entre parênteses representam o teor de matéria orgânica dos solos) (adaptado Costa, 1980).

ADSORÇÃO DE ENXOFRE NO SOLO

O íon SO_4^{2-} na solução do solo pode ser deslocado no perfil e adsorvido às superfícies partículas minerais, tais como argilas e óxidos de alumínio e ferro. A adsorção pode ocorrer em perfícies com cargas positivas (adsorção eletrostática) ou negativas (adsorção química ou espec ca), esta com características covalentes (Costa, 1980), a exemplo do que ocorre com o fósforo. tretanto, há autores que entendem esta adsorção ocorrendo somente nas superfícies com cargas pos vas (Probert & Samosir, 1983).

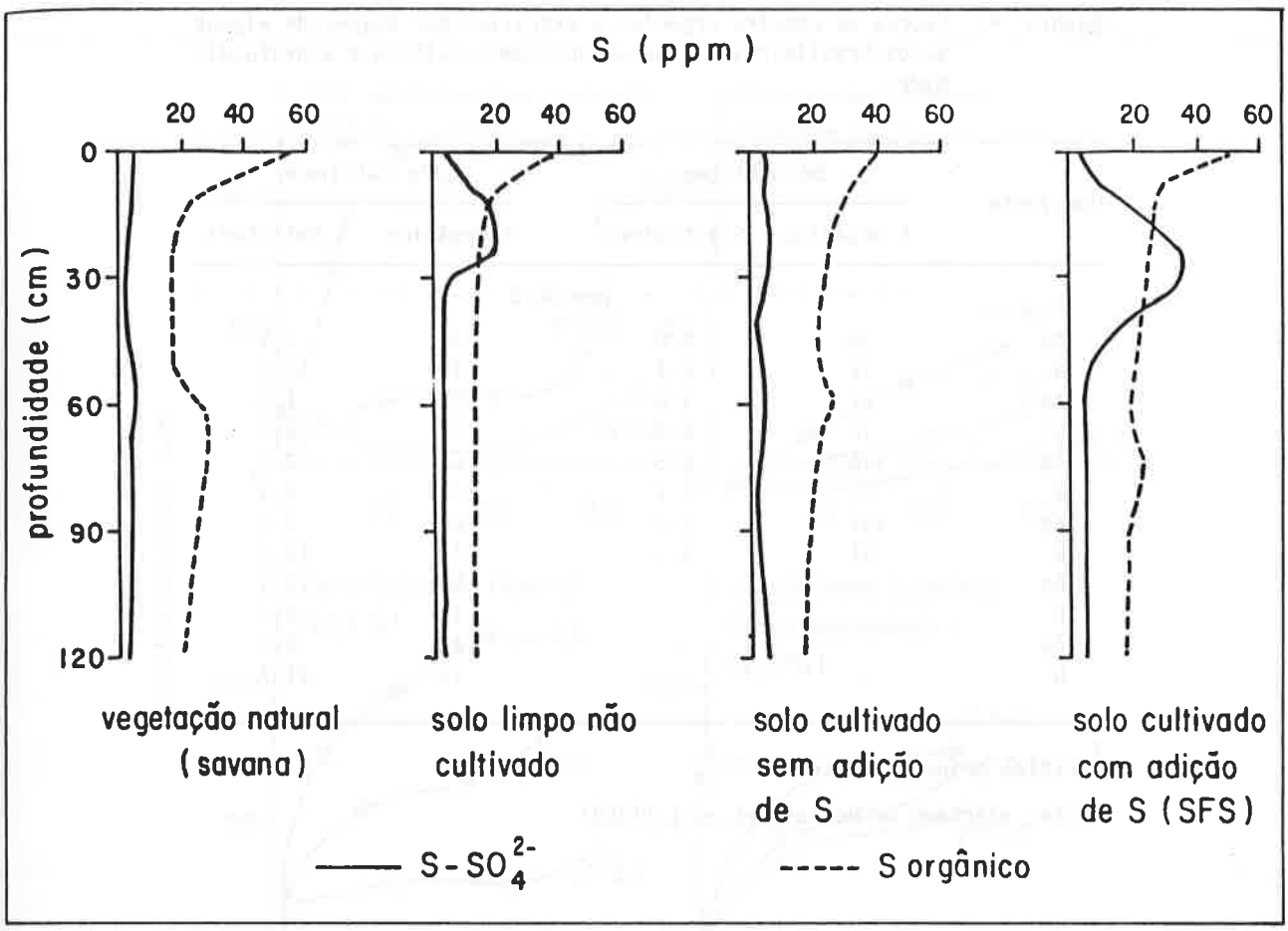
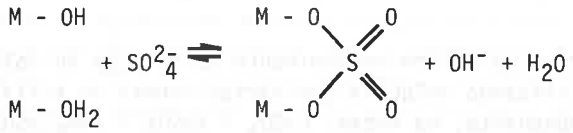


Figura 4. Teores de S-SO_4^{2-} e S orgânico relacionados à profundidade de amostragem num solo submetido a diferentes manejos durante seis anos (adaptado de Bromfield, 1972).

O processo de adsorção de SO_4^{2-} pode ser o principal controlador da disponibilidade de S às plantas, constituindo um equilíbrio relativamente rápido entre a fase sólida e a solução do solo (Blair, 1979).

Os principais fatores que afetam a adsorção de SO_4^{2-} são o pH do solo, o tipo e o teor de minerais, a competição com outros ânions pelos sítios de adsorção e tipo de cátion na solução e no complexo sortivo do solo (Costa, 1980). A adsorção é também dependente da concentração de SO_4^{2-} na solução.

O pH tem grande influência nas cargas das partículas do solo. O aumento do pH determina menor adsorção de SO_4^{2-} (Costa, 1980). Este efeito pode ser visualizado na equação abaixo, proposta para representar a adsorção de SO_4^{2-} por óxidos de Fe ou Al (M) (Parfitt & Smart, 1978):



A calagem dos solos ácidos aumenta a disponibilidade de S às plantas, principalmente pelo efeito na mineralização e na dessorção de SO_4^{2-} (Figura 5). Por outro lado, o SO_4^{2-} fica sujeito às perdas por lixiviação (Quadro 5). O deslocamento de SO_4^{2-} para camadas subsuperficiais pode impli-

Quadro 4. Teores de enxofre orgânico e extraível por NH_4OAc de alguns solos brasileiros, relacionados com o cultivo e a profundidade.

Horizonte	Solo virgem		Solo cultivado	
	S orgânico	S extraível[1]	S orgânico	S extraível
	ppm de S			
Ap	36	4,0	24	2,5
B	12	6,4	10	12,0
Ap	61	3,0	32	1,8
B	16	6,2	14	8,8
Ap	116	4,8	52	2,1
B	21	2,1	24	2,3
Ap	247	3,7	60	7,2
B	11	3,3	10	12,3
Ap	-	-	59	2,9
B	-	-	15	5,2
Ap	-	-	49	4,0
B	-	-	15	21,7

[1] Estima principalmente o $S\text{-}SO_4^{2-}$.

Fonte: adaptado de McClung et alii (1959).

car em solos deficientes em S para as plantas, dependendo das magnitudes de mineralização e de a sorção e da profundidade de aplicação dos corretivos da acidez. Este processo tende a ocorrer ma facilmente em solos com baixa capacidade de adsorção de SO_4^{2-}. A mobilidade do SO_4^{2-} no solo é i fluenciada principalmente por sua concentração na solução, reações com fase sólida e pela taxa quantidade de água percolada no perfil, conforme a Figura 6 (Korentajer et alii, 1984).

Os óxidos de Al e Fe e as argilas do tipo 1:1 (caulinita) são os constituintes do solo c apresentam maior capacidade de adsorção de SO_4^{2-}. Seu teor determina a quantidade de sítios de a sorção (Costa, 1980). Os solos de regiões tropicais apresentam, pela maior intemperização, teor mais elevados destes constituintes e geralmente mais SO_4^{2-} que solos de regiões temperadas (Neptu et alii, 1975 e Nor, 1981). Os óxidos de Al tem-se mostrado mais eficientes em adsorver SO_4^{2-} que óxidos de Fe, sendo esta reação dependente do pH do solo (Figura 7). Para solos do Rio Grande Sul, Costa (1980) verificou que o teor de óxidos de Fe + Al extraíveis por citrato, ditionito e b carbonato de sódio (CDB) foi a característica de solo que mais se relacionou com a adsorção de SO_4^{2}

A afinidade ou intensidade de adsorção de ânions pelos colóides do solo pode ser assim r presentada: fosfato > sulfato = acetato > nitrato = cloreto. O íon fosfato na solução compe com o SO_4^{2-} pelos sítios de adsorção (Figura 8). A aplicação de altas doses de P pode determina dependendo do tipo de solo, o aumento da lixiviação de SO_4^{2-} para horizontes subsuperficiais (Bro field, 1972).

A concentração e o tipo de cátion predominante na solução do solo influem na adsorção SO_4^{2-}. Chao et alii (1963), utilizando soluções com várias formas de sulfato, constataram que a a sorção depende do cátion acompanhante, na ordem: $CaSO_4$ > K_2SO_4 > $(NH_4)_2SO_4$ > Na_2SO_4. A adsorção SO_4^{2-} depende da predominância de determinado tipo de cátion no complexo de troca, observando-se seguinte ordem (Figura 9): solo saturado com Al > solo saturado com Ca > solo saturado com K > s lo saturado com Na. Estes comportamentos devem estar relacionados com o grau de interação dos c tions com as superfícies de troca, o qual é dependente da sua valência.

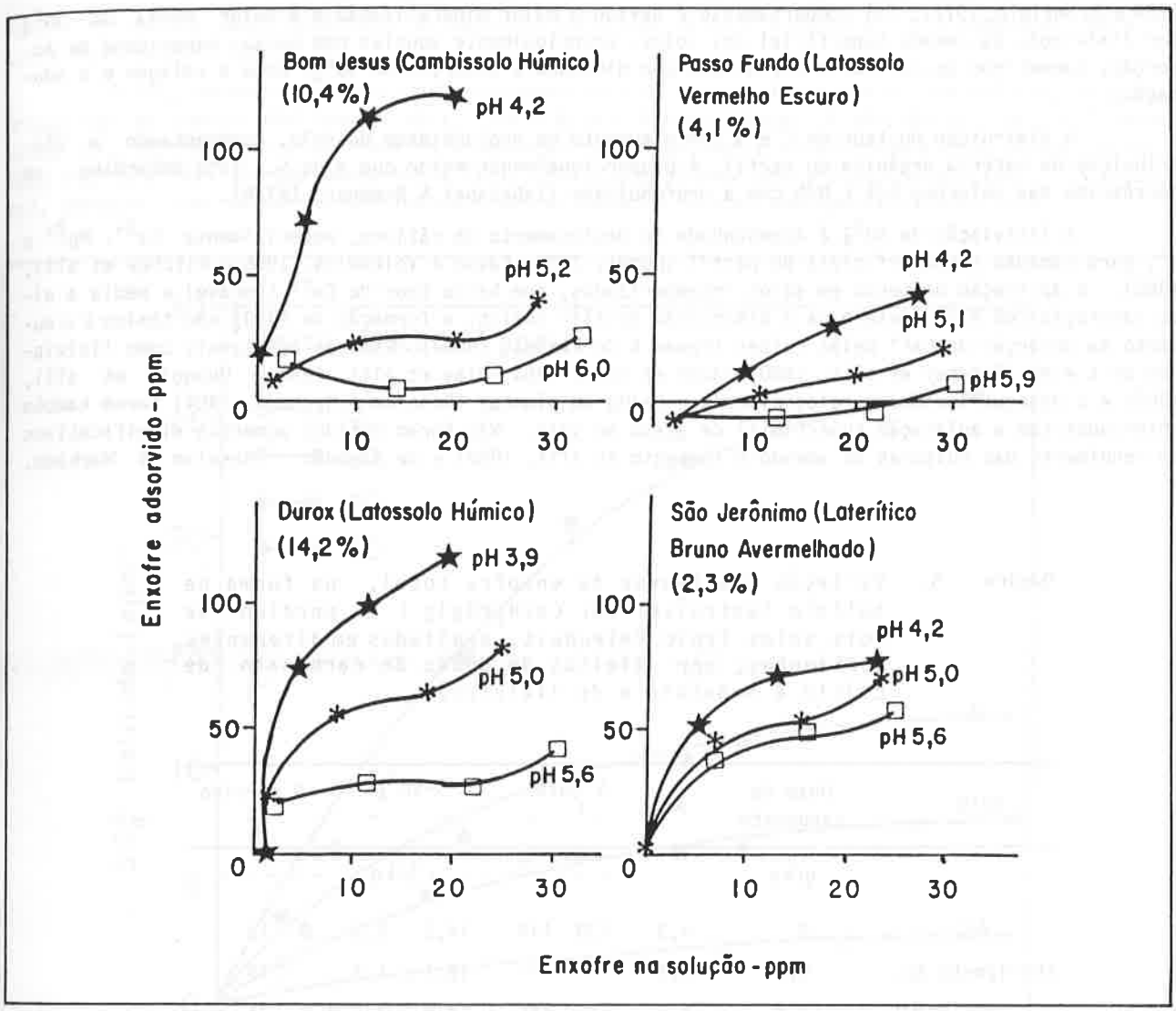


Figura 5. Enxofre adsorvido na forma de sulfato em função do teor de enxofre e do pH da solução em solos do Rio Grande do Sul (os valores entre parênteses representam a soma dos teores de óxidos de Fe e Al) (adaptado de Costa, 1980).

DISTRIBUIÇÃO DO ENXOFRE NO PERFIL DO SOLO

A distribuição do enxofre no perfil do solo varia qualitativa e quantitativamente, sendo influenciada pelo manejo do solo.

O teor de S total diminui com a profundidade, devido principalmente ao menor teor de S orgânico (Figura 4), o qual tende a representar menor proporção do S total. Concomitantemente observa-se o aumento do teor e da proporção de sulfato com a profundidade, em relação ao S total (McClung et alii, 1959; Bromfield, 1972 e Tabatabai & Bremner, 1972b), o que é devido à lixiviação de SO_4^{2-} das camadas superiores e ao aumento do teor dos constituintes do solo que o adsorvem nas camadas subsuperficiais. O padrão de distribuição de SO_4^{2-} no perfil é marcantemente influenciado pelo manejo do solo. Em solos virgens, geralmente ocorre o aumento contínuo do teor de SO_4^{2-} com a profundidade, porém com acréscimos relativamente baixos entre as camadas (Tabatabai & Bremner, 1972b). Em solos cultivados, geralmente ocorre um aumento abrupto no teor de SO_4^{2-} na camada imediatamente inferior àquela cultivada, conforme observa-se no Quadro 4 e Figura 4 (McClung et alii,

1959 e Bromfield, 1972). Tal comportamento é devido à maior mineralização e à maior perda de por lixiviação da camada superficial dos solos, principalmente aqueles com baixa capacidade de sorção, submetidos ao cultivo e a práticas que diminuem a adsorção de SO_4^{2-}, como a calagem e a bação.

A diminuição do teor de C e N com o aumento da profundidade do solo, acompanhando a tribuição da matéria orgânica no perfil, é proporcionalmente maior que a do S. Isto determina decréscimo das relações C/S E N/S com a profundidade (Tabatabai & Bremner, 1972b).

A lixiviação de SO_4^{2-} é acompanhada do deslocamento de cátions, especialmente Ca^{2+}, Mg K^+, para camadas subsuperficiais do perfil (Lopes, 1983; Pavan & Volkweiss, 1986 e Ritchey et a 1980). A aplicação de gesso em solos intemperizados, com baixo teor de Ca^{2+} trocável e média a ta saturação com Al^{3+}, determina a diminuição do Al^{3+} tóxico, a formação de $AlSO_4^+$ não tóxico e o mento da absorção de Ca^{2+} pelas raízes (Pavan & Volkweiss, 1986). Efeitos colaterais como lixi ção de K e Mg (Ritchey et alii, 1980; Pavan et alii, 1984; Dias et alii, 1984 e Quaggio et a 1982) e o desequilíbrio das relações Ca/K e Ca/Mg em plantas (Rosolem & Machado, 1984) foram tar observados com a aplicação superficial de gesso ao solo. Não foram obtidos aumentos significat no rendimento das culturas de amendoim (Quaggio et alii, 1982) e de algodão (Rosolem & Macha

Quadro 5. Variação dos teores de enxofre total, na forma de sulfato [extraível por $Ca(H_2PO_4)_2$] e perdido de dois solos Typic Paleudult, avaliados em diferentes horizontes, por efeitos de doses de carbonato de cálcio e magnésio e de lixiviação.

Solo	Dose de carbonato	pH	S total		$S\text{-}SO_4^{2-}$		S perdido
			-[1]	+	-	+	+
	g/kg		- - - - - - - g S/kg				- - - - - - -
A	0	4,3	139	114	14,2	9,5	15
(horizonte Ap,	0,5	4,7	-	-	18,1	1,3	19
0 - 20cm)	1,0	5,0	154	125	18,9	1,3	24
	1,5	5,4	149	105	20,0	2,1	29
	2,0	5,6	151	89	21,7	1,3	34
	Média		148	108	18,6	3,1	
B	0	4,5	107	65	50,7	24,1	41
(horizonte B,	1,0	6,3	102	57	53,1	3,2	64
15 - 30cm)	1,8	6,8	98	60	75,9	4,5	72
	2,5	7,0	107	37	84,2	4,8	71
	Média		104	55	65,9	9,2	

[1] - não lixiviado, + lixiviado.

Fonte: adaptado de Korentajer et alii (1983).

1984). A gessagem, prática que visa a correção do Al^{3+} tóxico em profundidade, deve ser, portanto, melhor estudada visando determinar as melhores condições de solo e culturas mais adequadas para a sua adoção generalizada.

O SO_4^{2-} adsorvido em horizontes subsuperficiais, em equilíbrio com o S da solução, pode ser disponível às plantas (McClung et alii, 1959 e Bole & Pittman, 1984). A eficiência de utilização deste SO_4^{2-} depende da profundidade de acumulação, sua magnitude e da extensão e distribuição do sistema radicular das plantas (Kamprath & Till, 1983), o qual pode ser afetado pela acidez, Al trocável, aeração, teor de outros nutrientes e outras características subsuperficiais do solo.

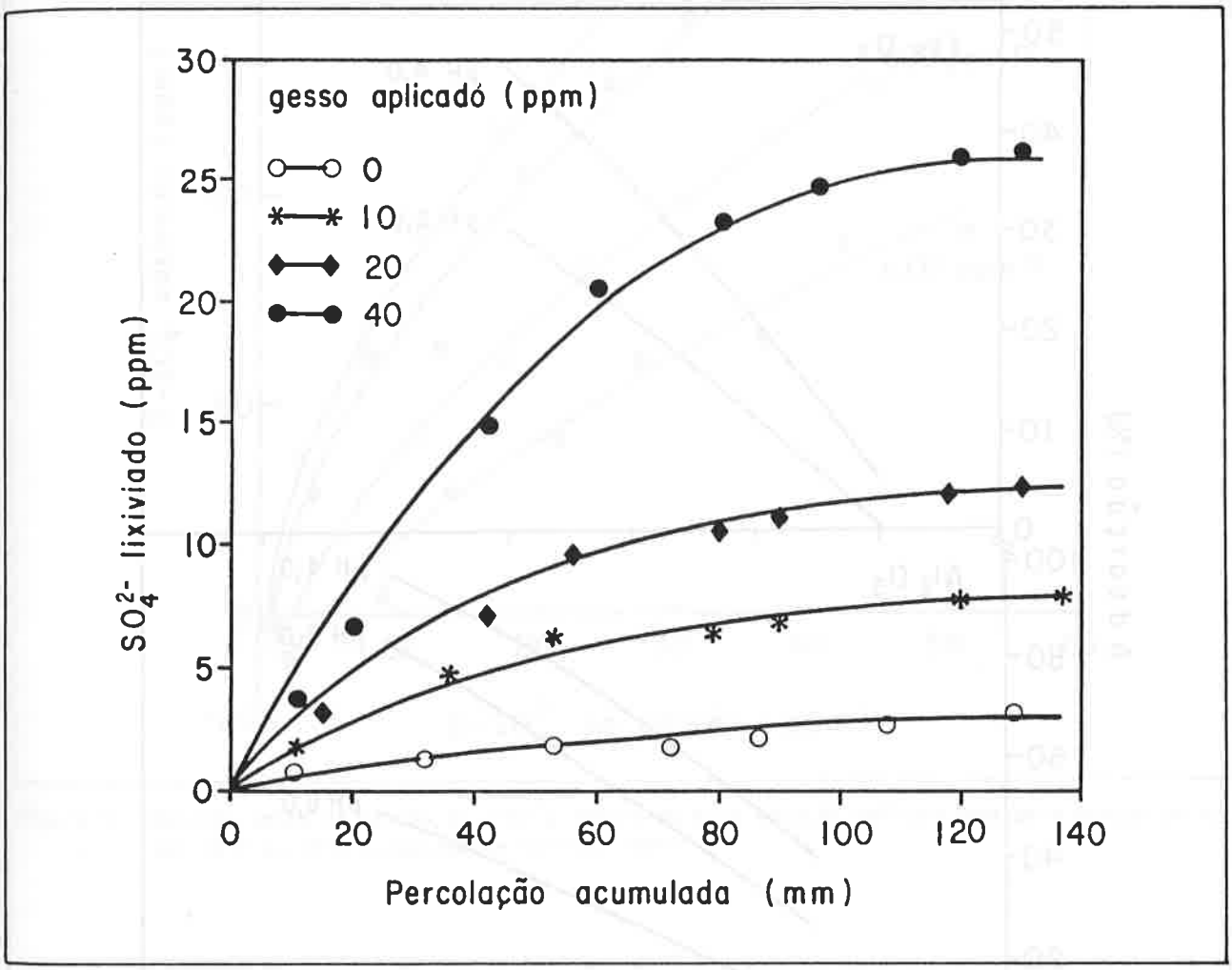


Figura 6. Perdas de sulfato por lixiviação relacionadas à aplicação de gesso ao solo e percolação com água na taxa de 6,1mm/dia. (adaptado de Korentajer et alii, 1984).

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ENXOFRE NO SOLO PARA AS PLANTAS

O enxofre disponível no solo para as plantas é aquele em formas químicas que podem ser absorvidas pelas raízes (Biederbeck, 1978). Entretanto, o conceito de disponibilidade envolve também formas de S que podem a curto ou médio prazos ser transformadas por processos físicos, químicos ou biológicos em formas que possam ser absorvidas pelas plantas.

Geralmente os métodos usados para estimar o S baseiam-se no uso de extratores quími amostras de solo coletadas antes do cultivo e são desenvolvidos em estudos que utilizam ape camada superficial do solo. Assim, não são consideradas as contribuições pela mineralização orgânico, da atmosfera e do S do subsolo, e as perdas por lixiviação que podem ocorrer dura cultivo.

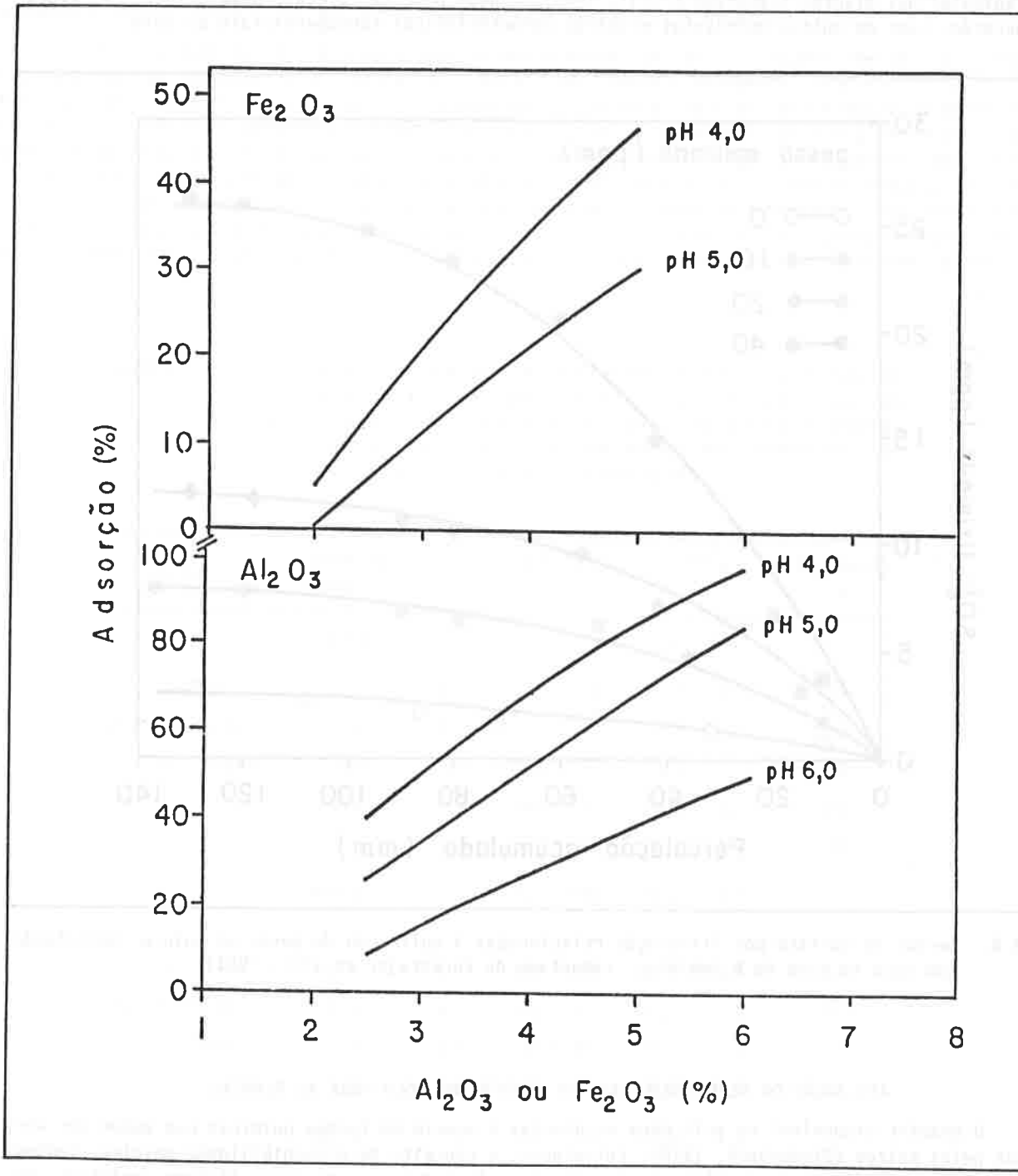


Figura 7. Relação entre os teores de óxidos de Fe ou Al e a adsorção de SO_4^{2-} num solo a parti de solução de K_2SO_4 em diferentes níveis de pH (adaptado de Chao et alii, 1964).

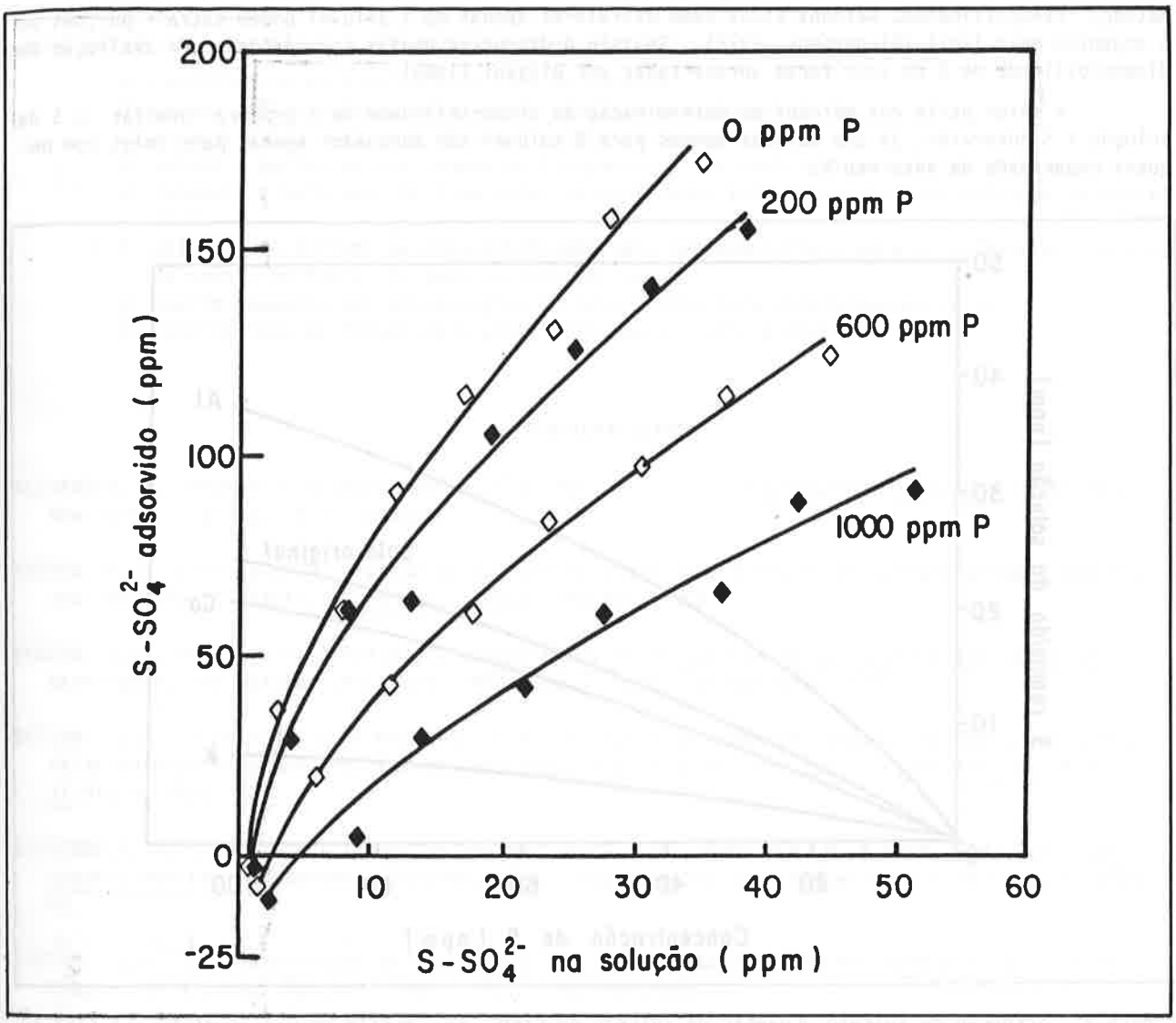


Figura 8. Relação entre os teores de $S\text{-}SO_4^{2-}$ adsorvido e na solução influenciada pela adição de doses de P ao solo (adaptado de Barrow, 1969).

A obtenção de índices de disponibilidade de S por métodos químicos compreende as etapas de extração de formas de S e sua determinação nos extratos. Alguns métodos podem apresentar boas correlações com parâmetros das plantas mesmo que se desconheça a natureza do S medido (Beaton et alii, 1968).

Os métodos químicos para avaliação da disponibilidade de S incluem extração com água, extração com sais ou ácidos, extração com resina de troca aniônica, diluição isotópica com uso de ^{35}S e a composição de plantas.

Os extratores químicos podem ser agrupados de acordo com as formas extraídas ou determinadas tendo-se os seguintes grupos: a) S em solução (água, $CaCl_2$, LiCl e NaCl); b) S em solução + S adsorvido [$Ca(H_2PO_4)_2$, KH_2PO_4, NaOAc + HOAc pH 4,8, NH_4OAc e resina de troca aniônica]; c) S em solução + S adsorvido + parte do S orgânico [$NaHCO_3$, $Ca(H_2PO_4)_2$ em ácido acético e água quente]; d) S total (digestão nítrico-perclórica). O S total é mais usado para caracterizar o solo, pois em geral não se relaciona com parâmetros das plantas. O enquadramento de cada extrator num dos grupos não é rígido, pois pouco ainda é conhecido sobre a natureza das formas extraídas por determinado

método. Exemplificando, métodos tidos como extratores apenas do S solúvel podem extrair porçõe S orgânico mais lábil (Biederbeck, 1978). Revisão e discussão amplas dos métodos para avaliaçã disponibilidade de S no solo foram apresentadas por Bissani (1985).

A maior parte dos métodos de determinação da disponibilidade de S procura avaliar o solução + S adsorvido, já que métodos apenas para S solúvel são adequados apenas para solos com quena capacidade de adsorver S.

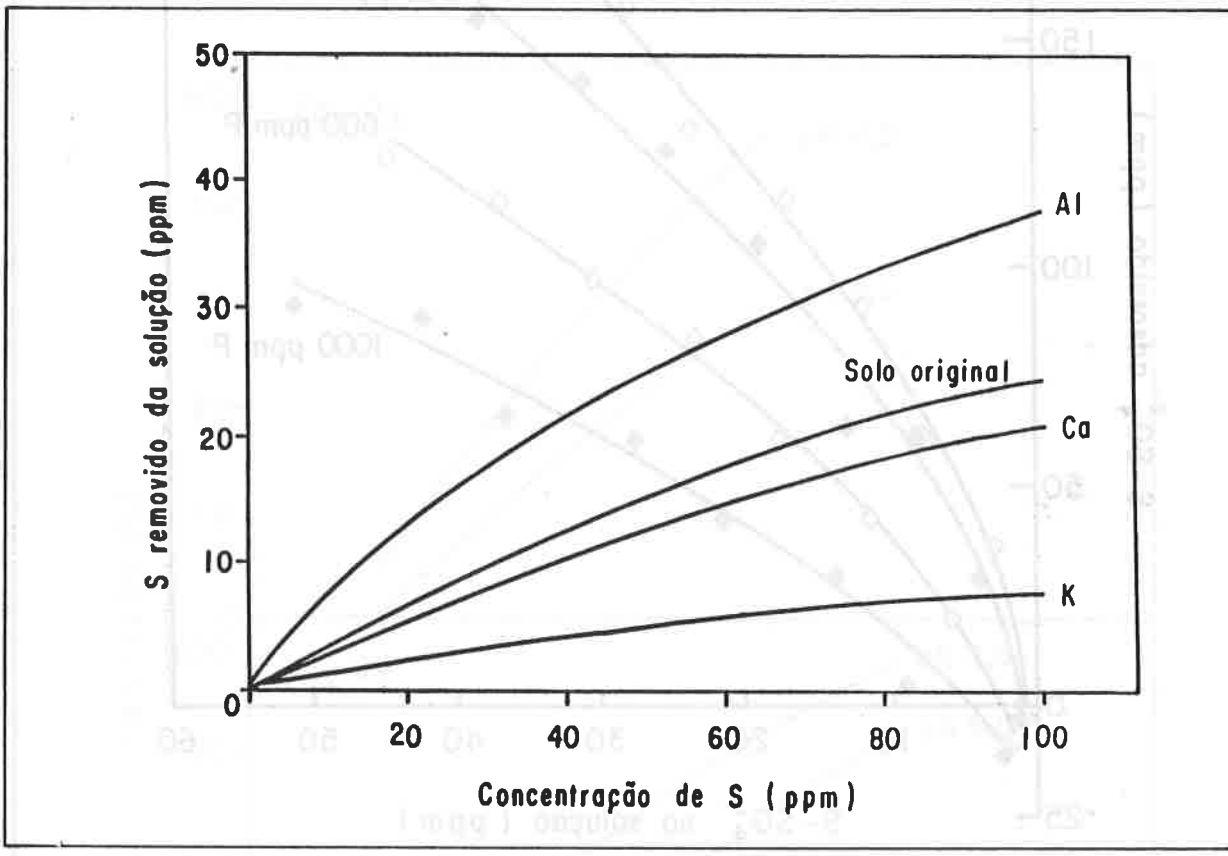


Figura 9. Adsorção de sulfato, a partir de solução de $CaSO_4$, por um solo em uma condição origina saturado com diferentes cátions (adaptado de Chao et alii, 1963).

Para as condições dos solos brasileiros poucos trabalhos têm sido desenvolvidos para a tenção de índices de disponibilidade de S para as plantas. Todos os trabalhos foram realizados vasos em casa de vegetação, utilizando a camada arável dos solos (Nascimento & Morelli, 198 Fontes et alii, 1982a; Fontes et alii, 1982b e Bissani, 1985). Dentre os extratores utilizados, que melhor se relacionaram com parâmetros das plantas foram o $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$ com 500 ppm de P, p posto por Fox et alii (1964), em solos do Rio Grande do Sul (Bissani, 1985), e a mesma solução ácido acético 2N, conforme proposição de Hoeft et alii (1973), em solos do Rio Grande do Sul e nas Gerais (Nascimento & Morelli, 1980b; Fontes et alii, 1982a e Fontes et alii, 1982b). Com as mitações inerentes, estes extratores poderiam ser adotados como índices de disponibilidade plantas. O comportamento destes extratores parece estar relacionado com as características dos los brasileiros, que em geral apresentam a maior parte do S inorgânico (SO_4^{2-}) adsorvido às par culas. O SO_4^{2-} é então deslocado pelos íons fosfato presentes nestas soluções.

NECESSIDADES DE PESQUISA

Apesar do aumento das pesquisas com S nos solos brasileiros nos últimos anos (1975 a 19

o conhecimento da dinâmica e da disponibilidade deste nutriente ainda é insuficiente. Esforços de pesquisas deverão ser concentrados nos seguintes aspectos:

a) contribuição do S do subsolo para as plantas;
b) perdas por lixiviação relacionadas com o manejo do solo;
c) mineralização real do S orgânico e fatores determinantes;
d) estudo e definição das formas de S orgânico e sua contribuição para as plantas;
e) resposta à aplicação de S em solos já utilizados intensivamente e em culturas exigentes em S;
f) obtenção de índices de disponibilidade mais representativos para os diferentes grupos de solos, em função de suas características;
g) aperfeiçoamento das metodologias de laboratório para determinações de S;
h) contribuição de formas de S atmosférico para o solo e plantas.

LITERATURA CITADA

ALEXANDER, M. Microbial transformation of sulfur. In:____. Introduction to soil microbiology. New York, J. Wiley, 1977. p.350-67.

BARROW, N.J. Effects of adsorption of sulfate by soils on the amount of sulfate present and its availability to plants. Soil Sci., 108(3):193-201, 1969.

BEATON, J.D.; BURNS, G.R. & PLATOU, J. Determination of sulphur in soils and plant material. Washington, The Sulphur Institute, 1968. 56p. (Technical Bulletin, 14).

BETTANY, J.R.; STEWART, W.B. & HALSTEAD, E.H. Sulfur fractions and carbon, nitrogen, and sulfur relationships in grassland, forest, and associated transational soils. Soil Sci. Am. Proc., 37:915-8, 1973.

BIEDERBECK, V.O. Soil organic sulfur and fertility. In: SCHNITZER. M. & KHAN, S.V., ed. Soil organic matter. Amsterdan, Elsevier, 1978. cap.6, p.273-310. (Developments in Soils Science, 8).

BISSANI, C.A. Disponibilidade de enxofre para as plantas em solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, URFGS. Fac. Agromia, 1985. 198p. Tese Mestrado.

BLAIR, G.J. Sulfur in the tropics. Muscle Shoals, The Sulphur Institute & The International Fertilizer Development Center, 1979. 69p. (Technical Bulletin, T-12).

BOLE, J.B. & PITTMAN, V.J. Availability of subsoil sulphates to barley and rapeseed. Can. J. Soil Sci., 64:301-12, 1984.

BROMFIELD, A.R. Sulphur in Northern Nigerian soils. 1. The effects of cultivation and fertilizers on total S and sulphate patterns in soil profiles. Agric. Sci., 78:465-70, 1972.

CHAO, T.T.; HARWARD, M.E. & FANG, S.C. Iron or aluminum coatings in relation to sulfate adsorption caracteristics of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 28:623-5, 1964.

CHAO, T.T.; HARWARD, M.E. & FANG, S.C. Cationic effects on sulfate adsorption by soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 27:35-8, 1963.

COSTA, C.A.S. Mineralização de enxofre orgânico e adsorção de sulfato em solos. Porto Alegre, UFRGS. Fac. Agronomia, 1980. 65p. (Tese Mestrado).

DIAS. L.E.; FERREIRA, F.A.S.; RIBEIRO, A.C. & COSTA, L.M. da. Movimentação de cálcio em colunas de solo tratados com carbono e sulfato de cálcio. Rev. Ceres, 31:407-14, 1984.

FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H. & BORGES, A.C. Disponibilidade do enxofre em três extratores químicos em latossolos de Minas Gerais. R. bras. Ci. Solo, 6:125-30, 1982a.

FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H. & BORGES, A.C. Nível crítico de enxofre em latosso e recuperação do sulfato adicionado por diferentes extratores químicos, em casa-de-vegetação R. bras. Ci. Solo, 6:226-30, 1982b.

FOX, R.L.; OLSON, R.A. & RHOADES, H.F. Evaluating the sulfur status of soils by plant and soil tests. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 28:243-6, 1964.

FRENEY, J.R. & BOONJAWAT, J. Sulfur transformations in wetland soils. In: BLAIR, G.J. & TILL, A.R., ed. Sulfur in South-East Asian and South Pacific agriculture. Armidale, The Australian Development Assistance Bureau & The Sulphur Institute, 1983. p.28-38.

GUEDES, R.M.M. Enxofre e nitrogênio na água da chuva e enxofre atmosférico na Região Metropolit de Porto Alegre (RS), Brasil. Porto Alegre, UFRGS, 1985. 117p. (Tese de Mestrado).

HOEFT, R.G.; WALSH, L.M. & KEENEY, D.R. Evaluation of various extractants for available sulfur. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 37:401-4, 1973.

KAMPRATH, E.J. & TILL, A.R. Sulfur cycling in the tropics. In: BLAIR, G.J. & TILL, A.R., ed. Sulfur in South-East Asian and South Pacific agriculture. Armidale, The Australian Development Assistance Bureau & The Sulphur Institute, 1983. p.1-14.

KORENTAJER, L.; BYRNES, B.H. & HELLUMS, D.T. Leanching losses and plant recovery from various sulfur fertilizers. Soil Sci. Soc. Am. J., 48:671-6, 1984.

KORENTAJER, L.; BYRNES, B.H. & HELLUMS, D.T. The effect of liming and leaching on the sulfur-supplying capacity of soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 47:525-30, 1983.

LOPES, A.S. Solos sob "cerrado"; características, propriedades e manejo. Piracicaba, Institut da Potassa e Fosfato & Instituto Internacional da Potassa, 1983, cap. 6, p.64-108.

McCLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.M. & LOTT, W.L. Analysis of several Brazilian soils in relation to plant responses to sulfur. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23:221-4, 1959.

NASCIMENTO, J.A.L. & MORELLI, M. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. I. Formas no solo. R. bras. Ci. Solo, 4:131-5, 1980a.

NASCIMENTO, J.A.L. & MORELLI, M. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. II. Disponibilidade. R. bras. Ci. Solo, 4:135-8, 1980b.

NEPTUNE, A.M.L.; TABATABAI, M.A. & HANWAY, J.J. Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus relationships in some Brazilian and Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39:51-5, 1975.

NOR, Y.M. Sulphur mineralization and adsorption in soils. Pl. Soil, 60:451-9, 1981.

PARFITT, R.L. & SMART, R.S.C. The mechanism of sulfate adsorption on iron oxides. Soil Sci. Soc Am. J., 42:48-50, 1978.

PAVAN, M.A., BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian oxisol. Soil Sci. Soc. Am. J., 48:33-38, 1984.

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

PROBERT, M.E. & SAMOSIR, S.S.R. Sulfur in non-flooded tropical soils. In: BLAIR, G.J. & TILL, A.R., ed. Sulfur in South-East Asian and South Pacific agriculture. Armidale, The Australian Development Assistance Bureau & The Sulphur Institute, 1983. p.15-27.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R. & RAIJ, B. van. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. R. bras. Ci. Solo, 6:189-94, 1982.

RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. & CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah oxisol. Agron. J., 72:40-4, 1980.

ROSOLEM, C.A. & MACHADO, J.R. Efeitos da calagem e gessagem na produção de algodão e na lixiviação de bases em dois latossolos. R. bras. Ci. Solo, 8:103-109, 1984.

STEWART, B.A.; PORTER, L.K. & VIETS, F.G. Effect of sulfur content of straws on rates of decomposition and plant growth. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 30:355-58, 1966.

TABATABAI, M.A. & AL-KHAFAJI, A.A. Comparison of nitrogen and sulfur mineralization in soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:1000-6, 1980.

TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. Distribution of total and available sulfur in selected soils and soils profiles. Agron. J., 64:40-4, 1972a.

TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. Forms of sulfur, and carbon nitrogen and sulfur relationships, in Iowa soils. Soil Sci., 114:380-6, 1972b.

TRUDINGER, P.A. The biochemistry of sulfur. In: McLACHLAN, K.D., ed. Sulfur in Australian agriculture. Sydney, University Press, 1975. p.11-20.

WANG, C.H.; LIEM, T.H. & MIKKELSEN, D.S. Sulfur deficiency; a limiting factor in rice production in the Lower Amazon Basin. I. Development of sulfur deficiency as a limiting factor for rice production. New York, IRI Research Institute, 1976. 46p. (Boletim Técnico, 47).

WOLFFENBÜTTEL, R. & TEDESCO, M.J. Disponibilidade de enxofre para a alfafa em oito solos do Rio Grande do Sul e sua relação com parâmetros de solo. Agron. sulriogr., 17:357-76, 1981.

CAPÍTULO 2

ENXOFRE: CRITÉRIOS DE DIAGNOSE PARA SOLO E PLANTA, CORREÇÃO DE DEFICIÊNCIAS E EXCESSOS

Victor H. Alvarez V.

RESUMO

Para caracterizar a disponibilidade do enxofre, os solos têm sido analisados com extratores que determinam, desde o enxofre prontamente solúvel, frações adsorvidas e porções orgânicas, até S total. A correlação da análise de solos com a produção vegetal e sua capacidade preditiva, freqüentemente tem sido pouco satisfatória. No Brasil é muito limitado o número de trabalhos de correlação e calibração realizados para enxofre; mesmo assim, o Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa vem utilizando uma mentalidade diferente neste tipo de estudo, ao enquadrar os trabalhos de calibração de S num esquema físico-químico. As análises do material vegetal têm determinado, preferentemente, S total e enxofre na forma de sulfato (SO^{2}_{4}). Para sua interpretação recomenda-se o uso de níveis críticos variáveis em relação aos teores de N e P, ou melhor, o uso do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS). A deficiência de S tem sido observada, cada vez com mais freqüência, para diferentes culturas, especialmente em solos sob vegetação de cerrado. Para correção desta deficiência têm sido utilizado o gesso, ou fertilizantes com enxofre, em associação ou não com a calagem. Também tem sido usado diferentes adubos orgânicos e práticas agrícolas para melhorar a disponibilidade do S para as plantas.

Termos de indexação: enxofre, métodos de análise de solos e plantas, calibração, fontes de enxofre, gesso, fertilizantes, materiais orgânicos.

SUMMARY

SULPHUR: DIAGNOSIS CRITERIA FOR SOIL AND PLANT-CORRECTION OF DEFICIENCIES AND EXCESSES

To characterize the sulphur (S) availability, the soils have to be analysed with extractant solutions which determine from the ready soluble S, adsorbed fractions and organic levels, to total S. The correlation of the soil analysis with the plant yield and the prediction capability based on the analysis results have been only a little satisfactory. In Brazil, there is only a few and limited number of work on correlation and calibration for S. However, the Soil Science Department of the University of Viçosa use another approach by considering a physical-chemistry approach to stablish a model of understanding the problem. The plant analysis has been used to determine, preferentially the total sulphur and sulfate (SO^{2}_{4}). For the plant analysis interpretation, the critical levels in relation to the levels of N and P are recomended, is other way by the "Diagnosis and Recomendation Integrated System" (DRIS). The S deficiency has been observed more frequently in different plant species

[1] Professor Adjunto do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Bolsista CNPq. CEP 36570 - Viçosa, MG.

mainly in those cultivated in "cerrado" soils. For its correction, gypsun or high sulphur fertilizers associated or not with liming have been used. Different organic fertilizers and agricultural practices to increase the sulphur availability to the plants have also been recome

Index terms: sulphur, methods of soil analysis, plant analysis, calibration, source of sulphur, gypsum, fertilizers, organic materials.

INTRODUÇÃO

Em terras agricultáveis, o enxofre encontra-se, predominantemente, na forma de co tos orgânicos e de sulfato, na solução do solo ou adsorvido no complexo sortivo do solo.

Para caracterizar o enxofre do solo, vários estudos têm sido realizados, uns dand fase às formas orgânicas, considerando a mineralização ou imobilização do S, outros estudand fenômenos de adsorção deste nutriente e os fatores que afetam esta adsorção, e aqueles que pro determinar sua disponibilidade para as culturas.

Para determinar a disponibilidade do enxofre do solo tem sido analisados solos e rial vegetal.

Na diagnose para solos, tem sido usada a extração de formas de enxofre que melho correlacionem com a produção. Reisenauer (1975) indica que os extratores mais usados podem classificados em três grupos, de acordo com as formas de enxofre removidas: 1) os que removem xofre na forma de sulfato (SO_4^{2-}) prontamente solúvel; 2) os que removem o sulfato solúvel mais ções de sulfato adsorvido e, 3) os que removem o sulfato prontamente solúvel, o adsorvido e po de enxofre orgânico.

Atualmente, o Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa tem enquadra análises de solos, para a determinação da disponibilidade de enxofre, dentro de uma conceit físico-química (Fontes *et alii*, 1982b e Alvarez V. *et alii*, 1983).

Nas análises de enxofre no material vegetal, tem sido determinado preferentemente total e o sulfato.

As fontes de enxofre para as plantas incluem o S orgânico e inorgânico do solo, xofre das águas de precipitação e irrigação, o SO_2 atmosférico e o enxofre veiculado por fer zantes e pesticidas (Jordan & Ensminger, 1958 e Reisenauer, 1975).

As deficiências constatadas para este nutriente, no período dos anos 10 e 20 dest culo foram mascaradas, posteriormente, pelo uso de superfosfato simples (Cooper, 1968) usado fonte de P. Nas décadas de 50 e 60, em diversas partes do mundo, foram reconhecidos os prob ocasionados pela deficiência de enxofre. Constatou-se que muitas das respostas obtidas com o de superfosfato eram devidas ao enxofre, componente daquele fertilizante.

No Brasil, Malavolta (1952; 1953) constatou a existência de solos com níveis baix enxofre e indicou que o uso de fertilizantes com baixas concentrações desse nutriente poderi var à sua deficiência para as culturas. McClung & Freitas (1959) e McClung *et alii* (1959) ob ram resultados favoráveis às adições de enxofre em solos de cerrados de São Paulo e Goiás, qu dicavam ser o baixo teor do fósforo e enxofre o principal fator limitante desses solos.

A deficiência de enxofre tem sido observada cada vez com mais freqüência para difer culturas, em solos sob vegetação de cerrado (Hiroce & Gallo, 1972; Fontes *et alii*, 1982a; Casa de & Souza, 1982 e Alvarez V. *et alii*, 1983). A incidência desta deficiência deve-se à pobrez tural destes solos em enxofre, aliada ao uso crescente de formulações concentradas, que prop condições para que seu aparecimento se torne mais evidente e freqüente.

Muito menos freqüente têm sido os problemas por excesso. Deficiências e excessos nutriente podem ser corrigidos pelo uso de corretivos, fertilizantes e adubos orgânicos, assi práticas que melhorem sua disponibilidade.

MÉTODOS DE ANÁLISE DO ENXOFRE DISPONÍVEL NO SOLO

A análise de solos para enxofre tem sido relativamente pouco usada. Isto porque a disponibilidade de enxofre depende da interrelação de processos químicos, físicos, físico-químicos e microbiológicos do solo, os quais são afetados por fatores climáticos, da planta e de manejo das culturas.

No Brasil, é muito limitado o número de trabalhos sobre a disponibilidade de enxofre, especialmente de estudos de correlação e/ou calibração. É necessário, portanto, uma apresentação mais abrangente da literatura existente sobre este tema.

A maior parte de enxofre absorvido pelas plantas é na forma de sulfato (SO_4^{2-}), íon que se encontra no solo em diferentes graus de disponibilidade, pois quando está na solução do solo, pode estar formando combinações pouco solúveis com alumínio e ferro, pode estar precipitado, ou ainda adsorvido.

A quantidade de sulfato em solução depende do equilíbrio entre os processos de adsorção e dessorção, de imobilização e mineralização, de absorção pelas plantas e de lixiviação (Figura 1).

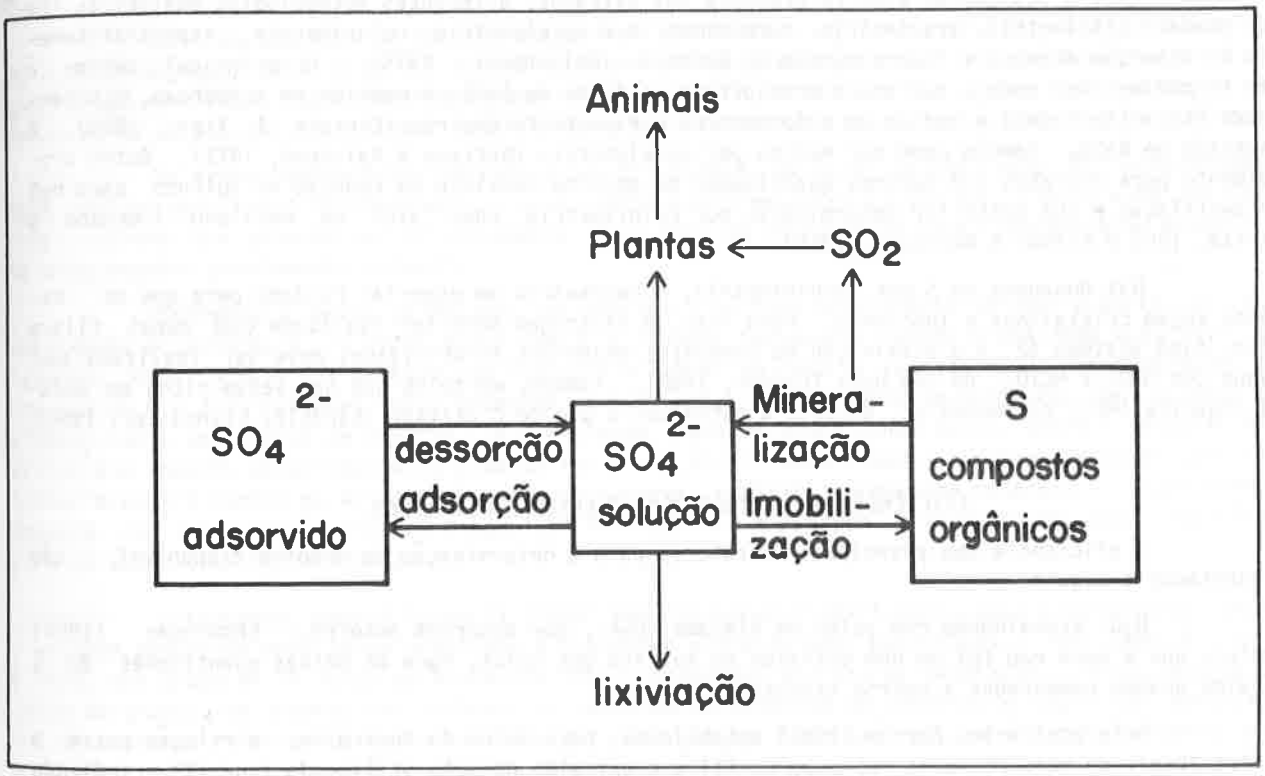


Figura 1. Equilíbrio do enxofre-SO_4 na solução do solo.

Segundo Reisenauer *et alii* (1973) e Reisenauer (1975), os extratores usados para enxofre disponível podem classificar-se nos que extraem:

a) a fração de sulfato prontamente solúvel;
b) além do sulfato prontamente solúvel, parte do sulfato adsorvido no complexo sortivo; e
c) sulfato solúvel, parte do que está adsorvido e porções do enxofre orgânico.

Os extratores usados nó primeiro grupo são: H_2O (Ensminger, 1954), $CaCl_2$ 0,01M (Williams & Steinbergs, 1959), $CaCl_2$ 0,025N (Hoeft *et alii*, 1973), $CaCl_2$ 0,15% (Williams & Steinbergs, 1959), LiCl 0,1M (Neptune *et alii*, 1975), HCl 0,1 e 0,5N (Chesnin & Yien, 1950) e HCl 0,001M (Bittencourt *et alii*, 1978).

No segundo grupo estão: $Ca(H_2PO_4)_2$, 500 ppm P (Fox *et alii*, 1964), KH_2PO_4, 100 ppm P (Ensminger, 1954), NH_4OAc 1N pH 7 (McClung *et alii*, 1959 e Spencer & Freney, 1960), 0,5N + HOAc 0,25N (Bardsley & Lancaster, 1960), NaOAc 1N pH 7 (Ensminger, 1954), NaOAc + HOAc lução de Morgan)(Chesnin & Yien, 1950), Extrator Bray 1 (Bartlett & Neller, 1960).

No terceiro grupo estão: $NaHCO_3$ 0,5M pH 8,5 (Kilmer & Nearpass, 1960) NaH_2PO_4 0,0 HOAc 2M (Cooper, 1968), $Ca(H_2PO_4)_2$, 500 ppm P + HOAc 2N (Hoeft *et alii*, 1973).

Por outro lado, vários trabalhos têm usado as determinações de enxofre do solo com dida da disponibilidade deste nutriente. Entre estas determinações tem-se: o enxofre total (tabai & Bremner, 1970), o enxofre orgânico determinado indiretamente (McClung *et alii*, 1959) o retamente (Glória *et alii*, 1969) e o enxofre de reserva (S orgânico e formas inorgânicas reduz determinado indiretamente pela diferença entre o enxofre do solo menos sulfato prontamente so e frações do adsorvido (Bardsley & Lancaster, 1960).

Além destas determinações químicas têm sido usados processos biológicos como a det nação do Valor L (Larsen, 1952 e Alvarez V. *et alii*, 1976b), do Valor A (Fried & Dean, 1952; K & Nearpass, 1960; Harward *et alii*, 1962 e Batista *et alii*, 1978), e as técnicas de incubação d lo (Barrow, 1961 e Harward *et alii*, 1962).

Para a dosagem do enxofre presente nos extratos, diferentes metodologias analítica sido usadas: titrimetria, gravimetria, turbidimetria e nefelometria, colorimetria, espectrofo tria de absorção atômica e fluorescência de Raios-X (Reisenauer, 1975). O principal méto o de turbidimetria, onde o sulfato é precipitado na forma de $BaSO_4$ e mantido em suspensão, cuja sidade ótica (turbidez) é medida em colorímetros e espectrofotômetros (Chesnin & Yien, 1950 suspensão de $BaSO_4$ também pode ser medida por nefelometria (Bettany & Halstead, 1972). Outro cedimento para extratos com menores quantidades de enxofre consiste na redução de sulfato para por destilação e sua posterior determinação por colorimetria como azul de metileno (Johns Nishita, 1952 e Kilmer & Nearpass, 1960).

Nas dosagens de S por turbidimetria, é necessário um especial cuidado para que os tratos sejam cristalinos e incolores. Para isto, a filtragem deve ser realizada com papel fi lento, tipo Whatman 42, e a eliminação de compostos orgânicos solubilizados deve ser realizada ataque com HNO_3 e $HClO_4$, ou com H_2O_2 (Cooper, 1968). Também, em solos que não sejam ricos em m ria orgânica (MO), recomenda-se, durante a extração, o uso de C ativado (Bardsley & Lancaster, 1

EFICIÊNCIA DOS EXTRATORES DO ENXOFRE DISPONÍVEL

A eficiência dos principais extratores para a determinação do enxofre disponível apresentados a seguir:

H_2O: trabalhando com solos de Alabama (USA), que adsorvem enxofre, Ensminger (1 concluiu que a água não foi um bom extrator de sulfato dos solos, face às baixas quantidades d extraído quando comparadas a outros extratores.

Pelo contrário, Barrow (1961) estabeleceu, para solos da Austrália, a relação entr enxofre absorvido pelo *Phalaris tuberosa* L. (Y) e o extraído do solo utilizando água (X), indi pela regressão: $\hat{Y} = -1,09 + 0,504\ X$, com $r = 0,976^{***}$ ($P < 0,001$). Observou ainda que, a quant de de enxofre extraída com água foi superior à absorvida pelas plantas.

Também Fox *et alii* (1964) obtiveram correlação ($r = 0,936^{***}$, $p < 0,01$), em 21 dos 24 los de Nebraska (USA) utilizados no estudo, entre o enxofre extraído com água e o absorvido alfafa, estabelecendo o nível crítico de 7,4 ppm de S para este grupo de solos.

$CaCl_2$: nos mesmos solos em que testou água como extrator, Barrow (1961), cultiva *Phalaris tuberosa* L. com adição de 0 a 40 mg sulfato/kg de solo, estabeleceu a regressão linear -0,55 + 0,942 X, com $r = 0,991^{***}$ entre o enxofre absorvido (Y) e o extraído pelo $CaCl_2$ 0,15% (Também, Cooper (1968), determinou o enxofre disponível utilizando o $CaCl_2$ 0,15% (Williams Steinberg, 1959), em 49 amostras de solos da Nova Zelândia, coletados nas parcelas da testemun em ensaios de campo, e verificou que, para este extrator, o nível crítico de S se situava em to de 6 ppm, uma vez que apenas dois solos com mais de 6 ppm de enxofre responderam à aplicação do

triente e três solos com menos de 6 ppm, não responderam. Entretanto, o autor aponta que o $CaCl_2$, como indicador para enxofre disponível, foi eficiente para um limitado número dos solos estudados.

O $CaCl_2$ tem sido usado em outras concentrações. Hoeft *et alii* (1973) estudaram a resposta da alfafa à aplicação de S em 49 solos de Wisconsin (USA) com baixa disponibilidade deste nutriente. Foram obtidas correlações baixas para o S extraído pelo $CaCl_2$ 0,025 N com o incremento relativo da produção ($\frac{Y-Y_0}{Y_0}$ x 100) de matéria seca ($r = -0,284^*$ e $p < 0,05$), com o incremento relativo do S absorvido ($\frac{S-S_0}{S_0}$ x100) pela alfafa ($r = -0,365^*$) e com incremento na produção ($Y - Y_0$) de matéria seca ($r = -0,332^*$).

Em solos da Nova Zelândia, Saunders & Cooper (1975) verificaram que a extração com $CaCl_2$ 0,01M subestimava o teor de enxofre em solos com maior capacidade de retenção de sulfatos, o que foi atribuído à não extração do sulfato adsorvido.

LiCl: é outro extrator de sulfato prontamente solúvel e foi usado por Neptune *et alii* (1975), na concentração de 0,1M, para análise de seis solos de Iowa (USA) e seis solos de São Paulo e Paraná. Nos solos do Brasil, o LiCl extraiu entre 1,4 e 9,3% (média de 4,7% = 4,2 ppm de S) do enxofre total, enquanto que o $Ca(H_2PO_4)_2$, 500 ppm P, extraiu entre 5 e 23% (média de 11% = 9,9 ppm de S) do enxofre total, indicando que parte das formas adsorvidas de S não são extraídas pelo LiCl 0,1M. Mesmo assim, se correlacionou com a produção vegetal (Tabatabai & Bremner, 1970).

HCl: as análises de enxofre disponível utilizando o HCl como extrator, nas concentrações de 0,1N (Ensminger, 1954) e de 0,1 e 0,5N (Chesnin & Yien, 1950) em solos, respectivamente, de Alabama e Nebraska (USA), apresentaram concentrações baixas e inclusive não permitiram dosagem em amostras de um subsolo de Alabama, possivelmente pela sua maior capacidade de adsorção de sulfatos.

Os teores de sulfatos extraídos com HCl 0,001M, em solos de São Paulo, e determinados pelo azul de metiltimol (Bittencourt *et alii*, 1978) variaram entre 13 (PV var. Laras) e 25 ppm de S (TRE), valores que parecem ser relativamente altos para um extrator de baixa concentração e que determina enxofre prontamente solúvel.

$Ca(H_2PO_4)_2$: entre os métodos que extraem o sulfato prontamente solúvel e parte do adsorvido há o $Ca(H_2PO_4)_2$. O $H_2PO_4^-$ troca com SO_4^{2-} ficando fortemente retido e deixando o sulfato em solução. O $Ca(H_2PO_4)_2$ foi testado por Fox *et alii* (1964) em casa de vegetação, na concentração de 500 ppm de P e duas relações solo: extrator, 1:2,5 e 1:5, em 24 solos de Nebraska, com cultivo de alfafa, com e sem adição de enxofre. A correlação, para um grupo de 22 solos, entre o enxofre extraído e o enxofre absorvido pelas plantas foi $r = 0,952^{**}$, para a média das duas relações solo: extrator e quatro cortes de alfafa. Segundo os autores, a alfafa apresentou resposta relativamente pequena nos solos onde o enxofre disponível foi superior a 7,4 ppm, a exemplo do que concluíram para os extratores H_2O e KH_2PO_4.

Entretanto, Rehm & Caldwell (1968) não constaram significância para a correlação entre o enxofre absorvido pelo sorgo granífero e o enxofre extraído pelo $Ca(H_2PO_4)_2$, 500 ppm P ($r = 0,117$), num grupo de 79 solos de Minnesota (USA), estudados em casa de vegetação. Considerando os solos em grupos, os autores verificaram que naqueles deficientes em enxofre, a quantidade absorvida foi diretamente relacionada com a extraída pelo $Ca(H_2PO_4)_2$, fato que não ocorreu para os solos com alta capacidade de suprimento de enxofre.

Em experimentos de campo, realizados em 49 locais de Wisconsin com alfafa, Hoeft *et alii* (1973) estabeleceram correlações entre o enxofre extraído e os seguintes dados de resposta à aplicação de enxofre: incremento relativo da produção ($r = -0,320^*$), incremento relativo de S absorvido ($r = -0,367^*$), incremento da produção ($r = -0,438^{**}$) e incremento do enxofre ($S - S_0$) absorvido ($r = -0,322^*$). Como estas correlações foram menores às obtidas com $Ca(H_2PO_4)_2$ + HOAc, os autores (Hoeft *et alii*, 1973) não definiram o nível crítico de enxofre para este extrator, nestes solos.

Em 12 amostras de latossolos de Minas Gerais, Fontes *et alii* (1982b) cultivaram, em casa de vegetação, o sorgo granífero com adição de enxofre (0 a 160 ppm). Através de regressão linear para o enxofre extraído pelo $Ca(H_2PO_4)_2$, 500 ppm P, em função do enxofre adicionado, em cada solo, foram obtidos coeficientes de determinação (R^2) que variaram entre 0,647 e 0,977. Em seis solos onde houve resposta ao enxofre aplicado (equações quadrática ou cúbica), foram estimados os níveis críticos, entrando na equação do enxofre recuperado em função do enxofre adicionado, com o valor de enxofre aplicado que proporcionou 90% do crescimento máximo do sorgo. Os níveis críticos de

enxofre para cada solo variaram entre 7,5 e 14,4 ppm.

KH_2PO_4: para a extração de enxofre disponível, em amostras de três solos de A Ensminger (1954) usou o KH_2PO_4 em duas concentrações 100 e 500 ppm de P. As amostras foram das em parcelas que haviam recebido, nos 20 anos anteriores, aplicações de superfosfato simp sulfato de amônio, que veicularam enxofre em quantidades variáveis entre 392 e 2926 libr (439 e 3291 kg/ha). Segundo o autor, a capacidade extratora de KH_2PO_4, nas duas concentraçõ semelhante, extraindo cerca de 5 ppm de S em amostras superficiais de solos que receberam a d xima de superfosfato, e entre 57 e 76 ppm de S nos solos que não receberam aquele fertilizar ta aparente incoerência pode ser explicada pelo aumento da lixiviação do sulfato nas doses a fosfato adicionadas.

Em 24 solos de Nebraska, Fox *et alii* (1964), utilizando a metodologia de En (1954) com KH_2PO_4, 500 ppm de P, obtiveram correlação (r = 0,932**) entre o enxofre disponí enxofre absorvido pela alfafa cultivada em vasos. Foi estabelecido, para estes solos, o nív tico de 7,4 ppm de enxofre, em função da pequena resposta da alfafa à aplicação de enxofre los com disponibilidade superior àquele valor.

Em solos de Nova Zelândia, Cooper (1968) observou que, das 49 amostras coletadas saios de campo, apenas quatro eram provenientes de solos onde não houve resposta à aplicaçã quando sua disponibilidade avaliada com KH_2PO_4, 500 ppm P, era superior à 8 ppm. Para valore riores a este, em somente três solos houve resposta. Entretanto, a mesma restrição do CaC feita para este extrator, quanto à generalização de seu uso para avaliação do enxofre disp Também Saunders & Cooper (1975) avaliaram a resposta de pastagens de Nova Zelândia à aplica enxofre. Os coeficientes de correlação entre o enxofre disponível, avaliados por diferentes tores, inclusive KH_2PO_4, 500 ppm de P, e as respectivas produções relativas de matéria seca ram entre 0,2 e 0,8, nas diversas estações e anos de avaliação, raramente apresentando sign cia. Quanto à probabilidade de estimativa de resposta da pastagem à aplicação do enxofre, o acertou em 67% dos casos para a classe de solos com 0 - 5 ppm de enxofre e em 51% para os co ppm.

NH_4OAc: McClung *et alii* (1959) cultivaram milheto em 11 amostras de solos, coleta região de Bauru e Ribeirão Preto (SP), sob vegetação de cerrado, que receberam doses crescer enxofre. A produção relativa de matéria seca tendeu a aumentar nos solos com até 10 e 12 ppm disponível, avaliado com NH_4OAc 1N pH 7. Entretanto, na análise individual dos solos, não rificada resposta significativa no crescimento, em solos com teores superiores a 6 e 7 ppm de outro lado, estes autores observaram que a produção tendeu para zero em solos com concentraçõ nores que 2 ppm de S.

Também Bardsley & Kilmer (1963), em estudo realizado com 21 experimentos de campo liaram a resposta à aplicação de enxofre de diferentes culturas comuns em cada região e const correlação (r = 0,55**) entre o enxofre extraído com NH_4OAC 1N pH 7 e a porcentagem de respos culturas. Contudo, a previsão de resposta ao enxofre adicionado em função do conhecimento do fre disponível, seria de 30,51%, valor pouco expressivo para estudos desta natureza, conforme nheceram os autores.

NH_4OAc + HOAc: em amostras superficiais de 17 solos de Mississipi (USA), Bards Lancaster (1960) não verificaram significância para a correlação entre o sulfato "solúvel" e do com NH_4OAc 0,5N + HOAc 0,25N e o enxofre absorvido pelo trevo branco. Em um grupo de 79 de Minnesota, cultivados com sorgo granífero em casa de vegetação, Rehm & Caldwell (1968) não observaram significância para a correlação entre o enxofre extraído com NH_4OAc 0,5N + HOAc e o enxofre absorvido pelo sorgo.

NaOAC + HOAc: Ensminger (1954) usou NaOAc 1N diluído em água, pH 7, e diluído em e tamponado em pH 4,8 (reagente ou extrator universal de Morgan), entre outros extratores de to, em diversos solos de Alabama, adubados anteriormente com superfosfato e sulfato de amônio resultados evidenciaram que o NaOAc-H_2O e o NaOAc-HOAc extraíram, aproximadamente, a mesma tidade de sulfato, quantidades que foram de 0 - 1 ppm de S nas amostras de solos que receberam máxima de P_2O_5, e de 61-67 ppm onde não foi aplicado superfosfato. Este fato foi observado, bém, com o uso de KH_2PO_4.

Nos testes para desenvolvimento do método turbidimétrico de sulfatos, Chesnin & Yien (1950) utilizaram como extrator de sulfato do solo, o NaOAc diluído em HOAc (extrator de Morgan), contudo, sem relacionar os resultados com resposta da planta, mas observando maior extração que com HCl 0,1 e 0,5N.

Em 12 latossolos de Minas Gerais, Fontes *et alii* (1982b) obtiveram para as regressões lineares do enxofre recuperado pelo reagente de Morgan em função do enxofre adicionado, R^2 que variaram, para cada solo, entre 0,964 e 0,995. Os níveis críticos de enxofre para proporcionarem 90% da produção máxima do sorgo granífero, nos seis solos que responderam significativamente ao enxofre aplicado, variaram de 7,5 a 12,3 ppm de S.

$NaHCO_3$: entre os extratores de enxofre prontamente solúvel, parte do adsorvido e porções de enxofre orgânico há o $NaHCO_3$ 0,5M pH 8,5 (Kilmer & Nearpass, 1960). Este extrator, por ser alcalino, solubiliza a matéria orgânica e detecta maiores teores de enxofre (Rehm & Caldwell, 1968 e Cooper, 1968) que os extratores $Ca(H_2PO_4)_2$ (Fox *et alii*, 1964) e NH_4OAc - HOAc (Bardsley & Lancaster, 1960), por incremento de porções maiores de enxofre orgânico extraídas. Para a dosagem de enxofre é necessária a destruição prévia da matéria orgânica que pode ser feita por oxidação com H_2O_2 (Cooper, 1968).

Kilmer & Nearpass (1960) observaram que, de 30 solos do sudeste dos Estados Unidos, 1/3 responderam a enxofre adicionado e eram solos que apresentaram menos que 10 ppm de S, sendo que o teor de enxofre disponível correlacionou-se (r = 0,89**) com o Valor "A". Cooper (1968), em solos de Nova Zelândia, definiu um nível crítico de 30 ppm S para pastagens. Entretanto, para solos do sudeste dos Estados Unidos, Bardsley & Kilmer (1963) determinaram uma capacidade de previsão do enxofre extraído com $NaHCO_3$ de apenas 34,74%. Também Rehm & Caldwell (1968), para a totalidade de 79 solos de Minnesota estudados, observaram que não existiu correlação (r = 0,132) entre o enxofre extraído com $NaHCO_3$ e o enxofre absorvido, mas quando os 79 solos foram reunidos em nove grupos, encontraram, para três deles, correlações significativas superiores a 0,8.

NaH_2PO_4 + HOAc: Cooper (1968), Hoeft *et alii* (1973) e Saunders & Cooper (1975) usaram NaH_2PO_4 0,03M + HOAc 2M para a determinação do enxofre disponível. Cooper (1968) analisou amostras das testemunhas de 49 experimentos com pastagens e, por comparação de suas produções com os respectivos valores de enxofre disponível, estabeleceu o nível crítico de 10 ppm de S para todos os solos. Entretanto, ao avaliar a resposta da alfafa em 49 locais de Wisconsin, Hoeft *et alii* (1973) não observaram significância para a correlação entre o enxofre extraído com NaH_2PO_4 - HOAc (Cooper, 1968) e o incremento relativo da produção de matéria seca (r = -0,192). Contudo, estes autores observaram correlações entre o enxofre disponível e o incremento relativo ao enxofre absorvido $\left(\frac{S - So}{So} \times 100\right)$ pelas plantas de alfafa (r = -0,399**) e o incremento do enxofre absorvido (S - So) (r = -0,425**).

Saunders & Cooper (1975) testaram o NaH_2PO_4 0,03M em duas concentrações de HOAc, 0,35M e 2M, em nove tipos de solos sob pastagens, na Nova Zelândia, onde realizaram 455 observações de amostras com e sem adubação com enxofre. Especificamente para o NaH_2PO_4 em HOAc 0,35M, em 92% dos solos com 0 - 5 ppm de S disponível (12 observações), houve resposta ao enxofre aplicado; com 6 - 9 ppm de S (75 observações) houve resposta em 52%, e com 10 - 15 ppm de S (124 observações) em 18%. Quanto o extrator foi NaH_2PO_4 em HOAc 2M, houve resposta em 40% dos solos na classe de 0 - 5 ppm de S disponível, em 26% na de 6 - 9 ppm e em 11% na de 10 - 15 ppm. Estes autores indicaram que o extrator NaH_2PO_4 em HOAc 2M seria preferível para solos com baixa adsorção de sulfatos e que, em solos com alta capacidade de adsorção, não extrairiam sulfato suficiente para explicar completamente sua disponibilidade.

$Ca(H_2PO_4)_2$ + HOAc: Hoeft *et alii* (1973), em experimentos de campo já descritos anteriormente, utilizaram $Ca(H_2PO_4)_2$, 500 ppm P em HOAc 2N na extração do enxofre disponível e observaram que os teores se correlacionaram com os seguintes dados de resposta ao enxofre adicionado: incremento relativo da produção de matéria seca (r = - 0,356*), incremento relativo do enxofre absorvido (r = -0,548**), incremento da produção (r = -0,387**) e incremento do enxofre absorvido (r = -0,577**). O nível crítico estabelecido para o grupo de solos foi de 6 a 10 ppm de S disponível, com um índice de acerto de resposta ou não ao enxofre adicionado de 77,6%.

Alguns trabalhos foram realizados em casa de vegetação, com solos de Minas Gerais, para avaliar a disponibilidade de enxofre extraído com $Ca(H_2PO_4)_2$ em HOAc (Hoeft *et alii*, 1973). Nestes

trabalhos, o critério de interpretação foi diferente, pois cada solo passou a ser avaliado i dualmente. Em 12 latossolos de Minas Gerais, Fontes *et alii* (1982b) obtiveram R^2 muito altos - 0,994), na regressão linear entre o enxofre disponível (recuperado) pelo $Ca(H_2PO_4)_2$ - HOAc e ção do enxofre adicionado, para cada solo. Em seis solos, onde o sorgo granífero apresentou posta curvilinear, os níveis críticos estimados variaram de 4,7 a 12 ppm de S, em função da ca dade tampão de sulfatos. Também Alvarez V. *et alii* (1983) cultivaram mudas de eucalipto, em tras de 14 solos de cerrado de Minas Gerais, que receberam de 0 a 100 ppm S. Na extração de fre usaram $Ca(H_2PO_4)_2$, 500 ppm P em HOAc 2N, em duas relações solos: extrator, 1: 2,5 e 1: 5. lores R^2 para as equações lineares para o enxofre recuperado em função do enxofre adicionado ram de 0,973 a 0,998 para a relação 1: 2,5 e de 0,925 a 0,996 para a relação 1:5. Os níveis ticos em cada solo foram de 1,8 a 14,9 ppm de S e de 15 a 23,6 ppm de S nas duas relações so trator.

Enxofre total e Enxofre orgânico: na determinação do enxofre total do solo, vária todologias têm sido propostas. As diferentes formas de enxofre são oxidadas por calcinação (Jo & Nishita, 1952), ou por calcinação com $NaHCO_3$ (Bardsley & Lancaster, 1960), ou por digestão solução de hipobromito de sódio alcalino (Tabatabai & Bremner, 1970) ou com H_2O_2 (McClung *et* 1959). Depois, o sulfato é reduzido a H_2S e dosado colorimetricamente, como azul de met (Johnson & Nishita, 1952 e Tabatabai & Bremner, 1970) ou pode ser extraído com NH_4OAc, reduz dosado pelo método de Johnson & Nishita (1952), como indicam McClung *et alii* (1959). Também fato pode ser extraído com NaH_2PO_4 0,1N + HOAc 2N e dosado turbidimetricamente (Bardsley & La ter, 1960).

O enxofre orgânico é determinado indiretamente por diferença entre enxofre total e xofre extraído com $Ca(H_2PO_4)_2$, 500 ppm P (Neptune *et alii*, 1975) ou com NH_4OAc 1N pH 7 (McClu *alii*, 1959) ou com NH_4OAc 0,5N + HOAc 0,25N (Bardsley & Lancaster, 1960). Estes autores chama esta diferença de enxofre de reserva.

Glória *et alii* (1969) determinaram o enxofre orgânico usando um método direto. A tra de solo foi queimada sob corrente de O_2 e os gases recebidos em solução oxidante; o sulfato mado foi dosado colorimetricamente pelo método do cloramilato de bário.

O enxofre orgânico correlacionou-se estreitamente com o carbono orgânico e nitro total (Harward *et alii*, 1962 e Neptune *et alii*, 1975), mas não se correlacionou com a produção getal de alfafa em 16 solos de Oregon (Harward *et alii*, 1962), nem de milheto, em solos do Pla Central do Brasil (McClung *et alii*, 1959). Contudo, Bardsley & Lancaster (1960) observaram um lação (R = 0,79**) entre o enxofre absorvido pelo trevo branco (Y) e o enxofre de reserva (X) solos de Mississipi, indicada pela regressão quadrática: $\hat{Y} = 2,98 + 0,0928\ X - 0,000106\ X^2$.

A baixa correlação entre rendimento e enxofre orgânico, pode ser devida à pequena tidade de enxofre liberada na fração orgânica do solo (McClung *et alii*, 1959; Barrow, 1961 e Ha *et alii*, 1962), pois a oxidação microbiológica é um processo extremamente lento (Hesse, 1957). tudo, o enxofre orgânico de materiais adicionados na reciclagem de solos virgens, recém-cultiv contribui significativamente com mais enxofre do que o obtido com a matéria orgânica, sendo qu entanto, este material desaparece rapidamente com os cultivos que se sucedem (McClung *et alii*, e Barrow, 1961).

METODOLOGIA DE CALIBRAÇÃO DE ANÁLISE UTILIZADA NO DEPARTAMENTO DE SOLOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Em vários trabalhos foi observado que, mesmo sendo significativas as correlações o enxofre disponível e dados de resposta das culturas, a capacidade de previsão do método é re vamente baixa, para o conjunto de solos estudados, devido à definição de um único nível critic ra todos eles. Esta capacidade aumenta quando se agrupam os solos por região (Rehm & Cald 1968), ou por textura (Bardsley & Lancaster, 1960), ou por capacidade de adsorção de sul (Saunders & Cooper, 1975).

Em nove tipos de solos de Nova Zelândia, Saunders & Cooper (1975) realizaram 455 o vações em pastagens, com e sem adubação de enxofre e avaliaram sua disponibilidade (NaH_2PO_4 + HOAc 2M) com base na porcentagem de probabilidade de correta estimativa de resposta ou não,

diferentes valores de enxofre disponível (Quadro 1). Como indicaram os autores, neste Quadro 1, observa-se que a capacidade de prever melhora quando se agrupam os solos. Nos solos de baixa adsorção de sulfatos, 80% responderam a enxofre adicionado quando apresentavam 0 - 5 ppm de S e, nos solos de alta adsorção, apenas 32% responderam nestas concentrações. Isto indica que este extrator não foi eficiente para solos com alta adsorção. Os autores chegaram a esta conclusão porque continuaram usando os mesmos valores para definir as classes de disponibilidade de enxofre. Diferente teria sido a situação, se houvessem usado valores menores. Este raciocínio é a evidência de que a forma de avaliar e interpretar os trabalhos de calibração de métodos de análise de solos, procurando níveis críticos únicos, é inadequada.

Quadro 1. Número total de observações e porcentagem de resposta à fertilização com enxofre para quatro classes de disponibilidade de enxofre extraído com NaH_2PO_4 0,03M em HOAc 2M[1].

Classe	Concentrações de enxofre	Todos os solos		Solos com baixa retenção de enxofre		Solos com alta retenção de enxofre	
		Número de observações		Número de observações		Número de observações	
		Total	Resposta	Total	Resposta	Total	Resposta
	ppm		%		%		%
Muito baixo	0 - 5	52	40	20	80	32	16
Baixo	6 - 9	161	26	85	39	76	12
Médio	10 - 15	180	11	84	19	96	4
Alto	> 15	62	6	29	7	33	6

[1] Fonte: adaptado de Saunders & Cooper (1975).

Ao nível em que se encontram as pesquisas de avaliação da disponibilidade de nutrientes, utilizando a análise de solos, não só para enxofre, mas também para fósforo, entre outros, é necessário mais que mudanças de metodologias, mudanças na mentalidade de pesquisa. Esta mudança se deu no Departamento de Solos da U.F.V., a partir do trabalho de Novais (1977) para fósforo, e prosseguiu para enxofre com base nos conceitos relacionados abaixo.

A disponibilidade de um nutriente depende da interrelação entre os fatores: Quantidade (Q), que mede a reserva lábil do nutriente para as culturas; Intensidade (I), que mede o nutriente na solução do solo; e a capacidade de reposição do nutriente de reserva lábil para a solução (capacidade tampão, CT). Também existe uma reposição, bem mais lenta, entre as formas não lábeis e lábeis de um nutriente (Figura 2).

Em relação à disponibilidade do enxofre, ocorrem estas mesmas relações entre não lábil e lábil e entre Q, I e CTS. Para o enxofre, o fator quantidade estima quanto deste nutriente está adsorvido a compostos orgânicos ou minerais, mas que pode chegar a ser absorvido pelas plantas. Determina-se o fator Q pela troca isotópica e amostragem da solução de equilíbrio após separação de fases, Valor E (Fried, 1964 e Alvarez V. *et alii*, 1976b) ou após absorção pelas plantas, Valor L (Larsen, 1952 e Alvarez V. *et alii*, 1976b) e Valor A (Kilmer & Nearpass, 1960; Harward *et alii*, 1962 e Batista *et alii*, 1978). O fator intensidade pode ser estimado como o potencial de sulfato de cálcio ($1/2\ pCa^{2+} + 1/2\ pSO_4^{2-}$). E a capacidade tampão de sulfatos, que mede a resistência do solo a deixar que se altere o enxofre na solução do solo, pela relação entre os fatores quantidade e intensidade (Accioly *et alii*, 1985). A CTS correlaciona-se estreitamente com o teor de argila,

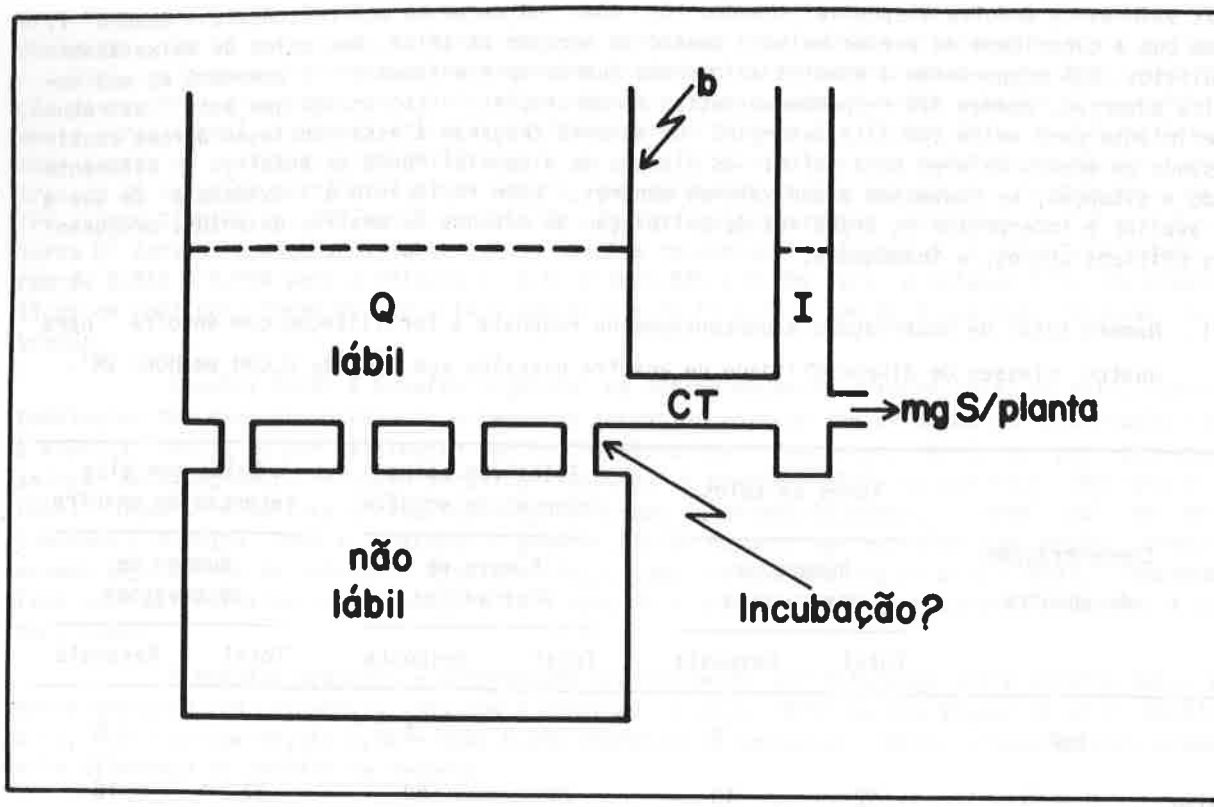


Figura 2. A disponibilidade do enxofre explicada pela interação de formas não lábil e lábil fatores quantidade (Q), intensidade (I) e capacidade tampão (CT) de sulfatos.

o equivalente de umidade, o fósforo remanescente, o enxofre remanescente, a capacidade máxi adsorção (b) de sulfatos (Accioly *et alii*, 1985 e Alvarez V., informações pessoais), e define clividade do enxofre recuperado, por um extrator, em função do enxofre adicionado (Fontes *et* 1982b e Alvarez V. *et alii*, 1983).

Talvez a reposição entre formas não lábeis e lábeis de enxofre pudesse ser estimad métodos biológicos de incubação.

O uso de um único nível crítico justifica-se para solos que apresentam a mesma dec dade para a relação S recuperado/S adicionado (Figura 3), fato que evidentemente não se cumpre petidamente, na realidade, para um grupo de solos. Por isto Fontes *et alii* (1982a, 1982b) e rez V. *et alii* (1983) determinaram as curvas de resposta do vegetal às doses aplicadas de fre para cada solo, e determinaram as regressões lineares do enxofre disponível em função do fre adicionado. De cada curva de resposta de produção se obteve a dose recomendável, que foi tituída na regressão do enxofre disponível (Y) em função do enxofre adicionado (X) para obter vel crítico (Figura 3).

Seguindo esta metodologia, em 14 solos de cerrado de Minas Gerais, Alvarez V. *et* (1983) encontraram para $Ca(H_2PO_4)_2$, 500 ppm de P em HOAc 2N, relação solo: extrator 1: 2,5, qu declividades de relação S recuperado/S adicionado variaram entre 0,038 e 0,249 gerado, com as recomendáveis, níveis críticos variando entre 1,8 e 14,9 ppm de S. Tanto as declividades com níveis críticos correlacionaram-se com equivalente de umidade, teor de argila, enxofre remane te, fósforo remanescente (determinações que estão estreitamente relacionadas com a CTS).

Usando a determinação do fósforo remanescente (P remanescente = P da solução de eq brio após 1 hora de agitação do solo com solução de $CaCl_2$ 0,01M, com 50 ppm P na relação 1c ml), foi possível estimar os níveis críticos (Ni Cri) e as declividades das relações S recuper

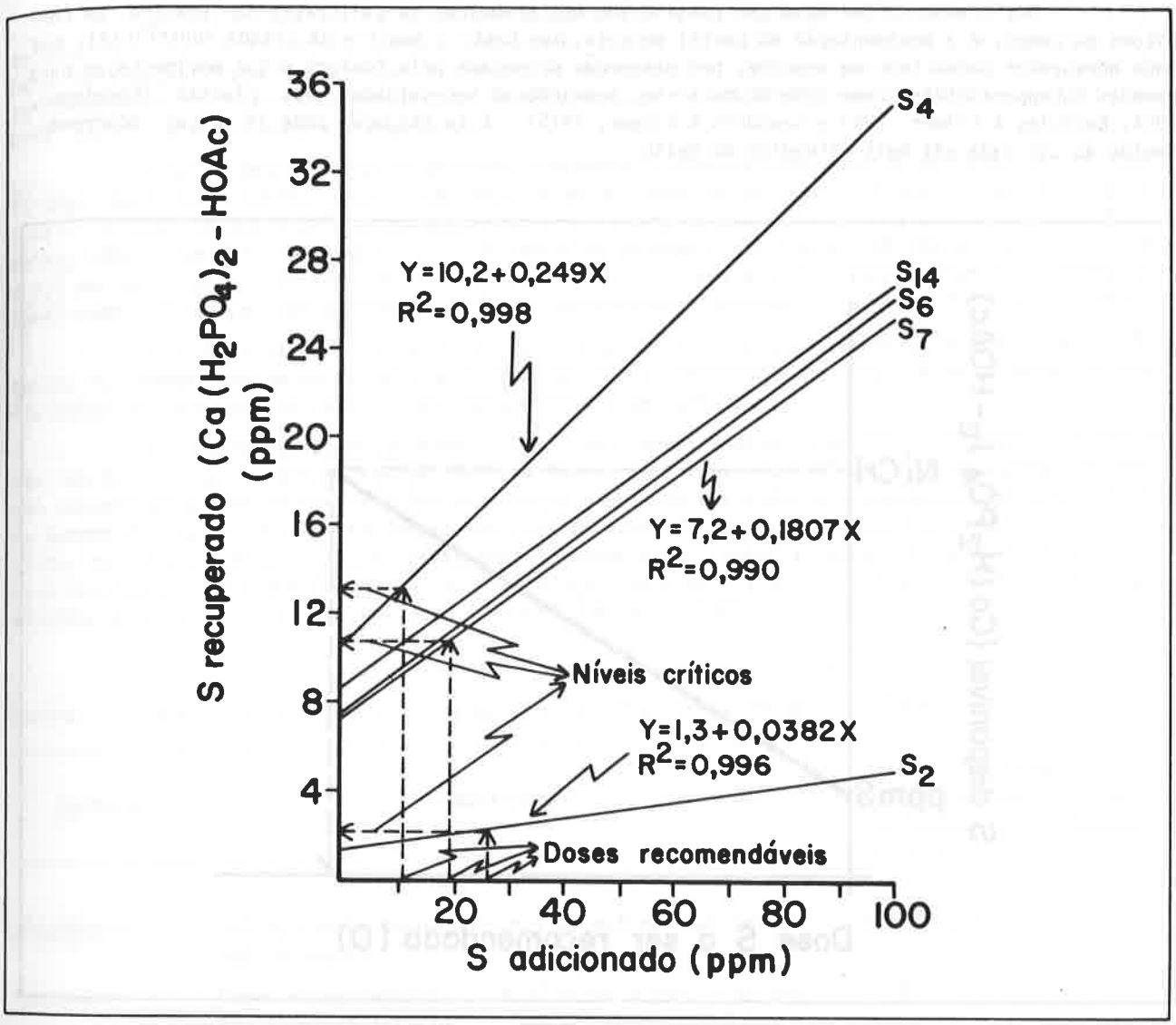


Figura 3. Determinação dos níveis críticos ao substituir as doses recomendáveis nas equações do enxofre recuperado em função do enxofre adicionado (Fonte: adaptado de Alvarez V. *et alii*, 1983).

adicionado (Δ Srp/Sad) com as seguintes equações:

$$\text{Ni Cri} = 2{,}61 + 0{,}3275 \text{ P rem} \quad (R^2 = 0{,}872^{**})$$

$$\Delta \text{ Srp/Sad} = 0{,}04 + 0{,}0059 \text{ P rem} \quad (R^2 = 0{,}966^{**})$$

Assim, com base no enxofre disponível ($Ca(H_2PO_4)_2$-HOAc) (ppm de S) e fósforo remanescente, foi possível determinar a dose (D) a ser recomendada para a produção de mudas de eucalipto (Figura 4).

Também neste trabalho (Alvarez V., informações pessoais) foi observado que a capacidade de estimar o enxofre extraído com ($Ca(H_2PO_4)_2$ - HOAc) nas testemunhas, mesmo que significativa, foi relativamente baixa ($r = 0{,}610^*$, $R^2 = 0{,}373$). Quando foi feita a correlação do enxofre disponível com o rendimento relativo, o coeficiente de correlação aumentou (RR = 100 Y_0/0,9 Ymax) ($r = 0{,}752^{**}$, $R^2 = 0{,}566$) e melhorou mais ainda quando a correlação foi entre o rendimento relativo e o teor relativo de enxofre (SR = 100 x ppm S/Ni Cri) ($r = 0{,}862^{**}$, $R^2 = 0{,}743$) (Alvarez V., informações pessoais).

Outro aspecto que deve ser considerado nos trabalhos de calibração de enxofre, e dições de campo, é a movimentação no perfil do solo. Não basta a análise da camada superficia pode apresentar baixo teor de enxofre, por dessorção provocada pelo fósforo e sua movimentaçã camadas subsuperficiais, onde pode acumular-se, suprindo as necessidades das plantas (Ensm 1954; Bardsley & Kilmer, 1963 e Saunders & Cooper, 1975). Esta situação pode já estar ocor devido ao uso cada vez mais difundido do gesso.

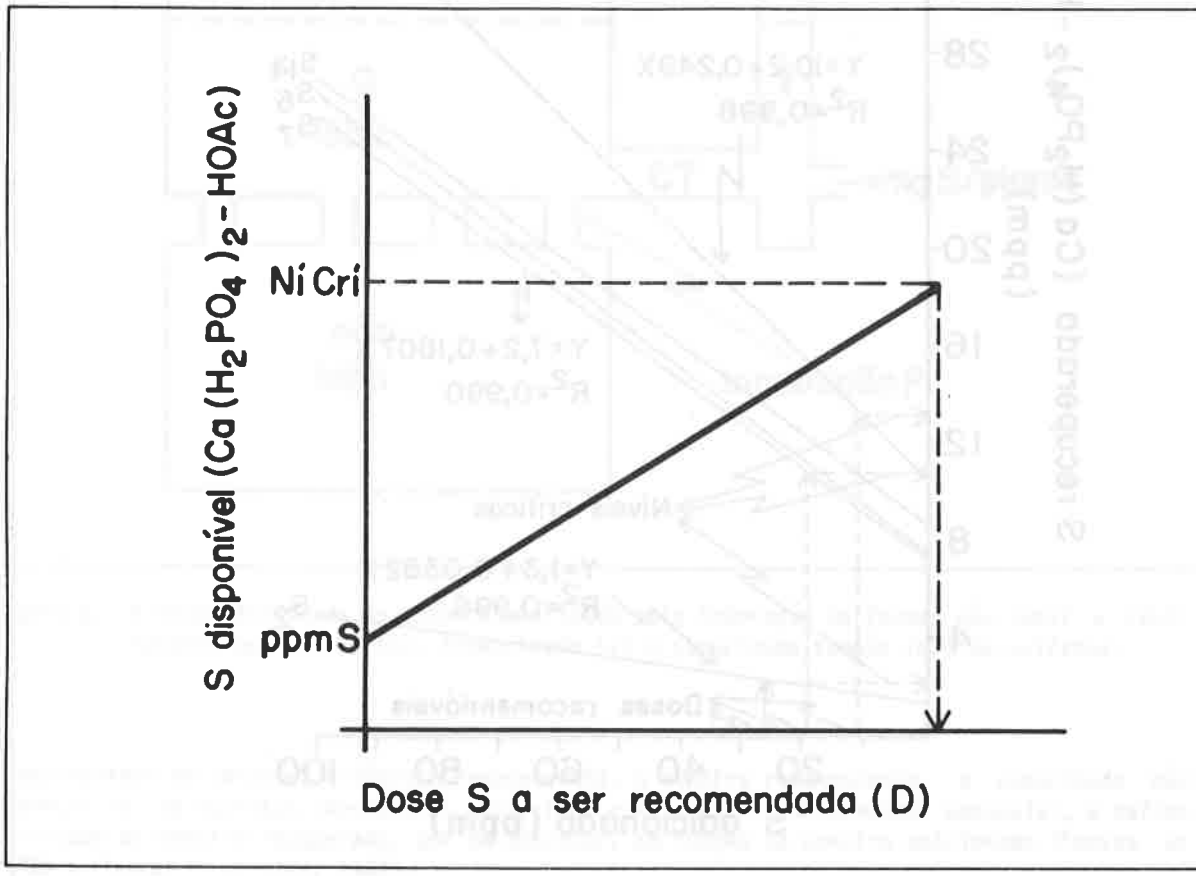


Figura 4. Determinação da dose de S a ser recomendada: $(D = \frac{NiCri - ppm\ S}{\Delta\ Srp/Sad})$

ANÁLISE DE ENXOFRE EM MATERIAL VEGETAL

A diagnose da disponibilidade do enxofre pela análise deste nutriente no material tal implica em fases de amostragem, preparo, análise química e interpretação.

A amostragem e preparo das amostras devem ser perfeitamente padronizados quanto ca, estádio da planta e tipo de material colhido, bem como o método de preparo (Chapman, 196

As análises químicas mais freqüentes de enxofre nas plantas se referem à determ de enxofre total e sulfato. O enxofre total é extraído, preferentemente, por digestão nitr clórica (Johnson & Nishita, 1952 e Blanchar *et alii*, 1965), ou por calcinação (Standfor & Lanc 1962). Para alfafa, Blanchar *et alii* (1965) demonstraram que a calcinação apresentou 1/3 a do teor encontrado por digestão nitro-perclórica. O enxofre na solução foi dosado, após red H_2S, por colorimetria do azul de metileno (Johnson & Nishita, 1952) ou por turbidimetria de tos (Blanchar *et alii*, 1965). O método de turbidimetria foi adaptado para procedimentos aut cos: Auto Analyzer (Wall *et alii*, 1980) e Sistema de Injeção em Fluxo (Krug *et alii*, 1983).

Um método rápido (3 minutos por amostra) foi apresentado por Hern (1984) para análise do enxofre total. Este método consiste em queimar a amostra a 2500°C na presença de O_2 e V_2O_5, num forno de indução, convertendo todas as formas de enxofre para SO_2, gás que foi dosado num detector infra-vermelho. Os resultados obtidos se correlacionaram (r = 0,999**) com os obtidos por gravimetria, para diferentes amostras vegetais.

A outra determinação de enxofre, comumente conhecida como enxofre na forma de "sulfato" ($S\text{-}SO_4$), para Jones (1975), preferentemente, deveria chamar-se de enxofre reduzível ou enxofre solúvel. Solúvel porque o SO_4^{2-} acumulado na planta é extraído com água fria ou quente (Johnson & Nishita, 1952), com HOAc 2% (Jones, 1975), é reduzível porque o enxofre é digerido a 115°C e reduzido a H_2S por destilação e dosado como azul de metileno (Johnson & Nishita, 1952). Tanto o enxofre solúvel como o reduzível tem apresentado valores semelhantes (Johnson & Nishita, 1952 e Jones, 1975).

O sulfato na maioria das culturas, tem apresentado valores bem menores que os de enxofre total, e, também, variam muito mais em função das doses adicionadas ao solo. Além do mais, os coeficientes de variações são maiores nas determinações de sulfato.

Dos macronutrientes, o enxofre tem sido o menos analisado em material vegetal e poucos são, no Brasil, os trabalhos onde se indiquem teores de S total ou sulfato; e praticamente não existem estudos para definir níveis críticos (alguns teores de deficiência e adequados são apresentados no Quadro 2), que evidentemente, devem ser considerados com base em condições específicas de solo, clima, cultura e manejo. Isto é, tanto mais importante para enxofre, pois a disponibilidade de outros nutrientes tem efeito marcante na concentração, seja de S total ou sulfato (Jones, 1975), por efeitos de diluição ou de concentração (Jarrell & Beverly, 1981).

Quadro 2. Teores foliares indicadores de enxofre total nas principais culturas[1/]

Cultura	Amostragem	S Total	
		Deficiente	Adequado
		---------- %	----------
Algodoeiro	Início florescimento: folhas de galhos frutíferos: 100 folhas/ha	0,17 - 0,36	0,70 - 1,20
Cacaueiro	Ramos recém maduros, 2ª e 3ª folha a partir da ponta. 100 folhas/ha (?)	0,04	0,27
Cafeeiro	Chumbinho, 3º e 4º pares de folhas a partir da ponta; ramos frutíferos, 100 folhas/ha.	0,10 - 0,15	0,16 - 0,25
Cafeeiro[2/]	$S\text{-}SO_4$, em ppm	< 200	
Cana-de-açúcar	4 meses depois de plantio, 3ª e 4ª folha a partir da ponta, porção mediana da lâmina, sem nervura, 20 folhas/ha.	0,13	0,17
Laranjeira	Primavera ou verão; folhas da primavera com 4 - 7 meses de idade, galhos frutíferos, 200 folhas/ha.	0,05 - 0,14	0,20 - 0,30
Milho	Inflorescência feminina; folhas opostas e abaixo da espiga inferior, 1/3 médio, 50 - 100 folhas/ha.	0,10	0,19
Soja	Florescimento, 2ª folha a partir da ponta, 50 - 100 folhas/ha.	?	0,25
Tomateiro	Início do florescimento, lâmina da 3ª ou 4ª folha a partir da ponta, 50 folhas/ha.	0,20	-

[1/]Fonte: adaptado de Malavolta (1980).
[2/]Fonte: adaptado de Guimarães & Ponte (1978).

Para interpretar as análises de enxofre não basta comparar o teor observado c lor considerado crítico, mas é necessário considerar o enxofre junto com o nitrogênio e pelo menos, definindo equilíbrios fisiológicos, como os apresentados para N, P e K em oliv deira por Bouat (1962).

Outra alternativa seria definir níveis variáveis que indiquem teores satisfató fósforo e enxofre, para diversos teores de nitrogênio, como os estabelecidos por Prévot & (1964) para amendoim (Figura 5).

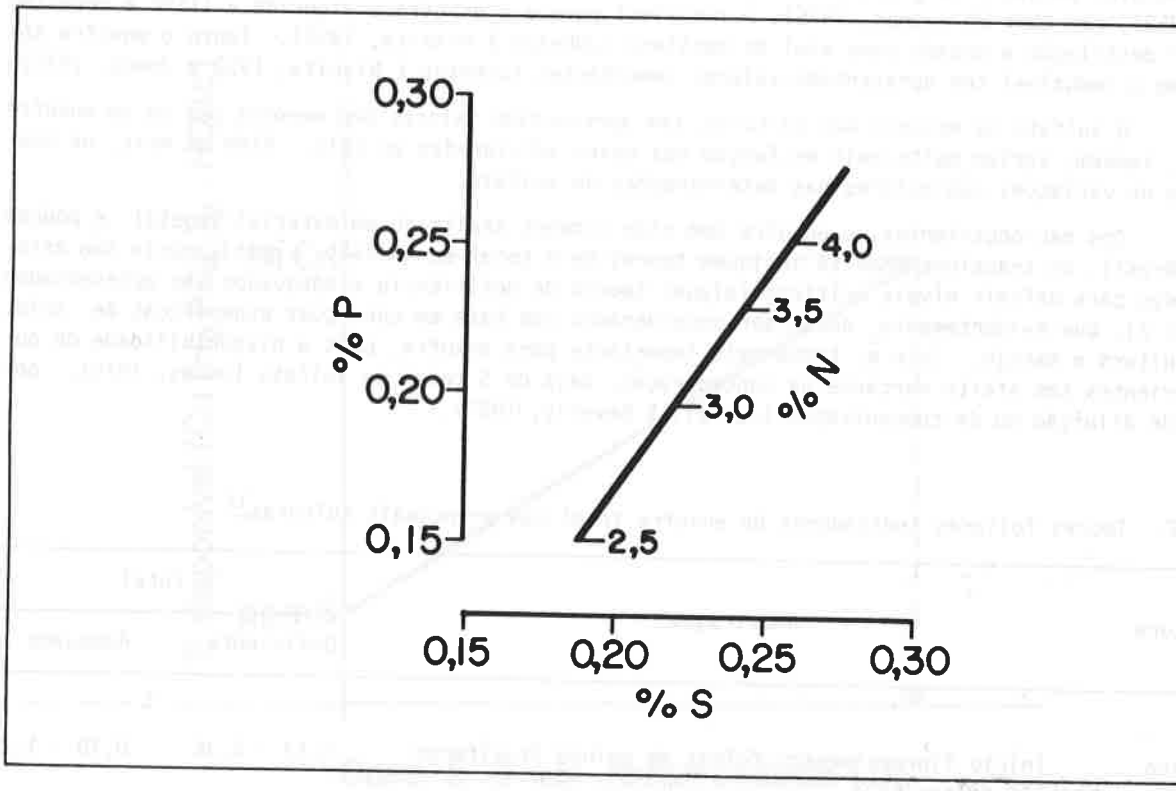


Figura 5. Teores de P e S, considerados suficientes para diversas concentrações de N para amendoim (Fonte: adaptado de Prévot & Ollaguier, 1964).

Uma nova alternativa para diagnose das deficiências minerais e desordens nutri das culturas tem sido a utilização do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), volvido por Beaufils (1957), Beaufils (1973) citado por Sumner (1978) e aperfeiçoado por (1977, 1978, 1979) e Jones (1981).

Diversos trabalhos mostraram as vantagens do DRIS sobre o uso dos níveis crítico recomendação de adubação (Sumner, 1979; Jones, 1981; Jones & Browen, 1981 e Elwali & Gascho, Estas vantagens derivam das seguintes suposições:

. Relações entre concentrações de nutrientes são melhores indicadores de deficiê excessos do que o simples teor dos mesmos.

. Algumas relações entre as concentrações de certos nutrientes são mais importan outras.

. As produções máximas são atingidas quando os valores das relações importantes perto do seu ótimo.

. Os índices DRIS podem ser calculados para cada nutriente.

O índice DRIS para qualquer nutriente na sua disponibilidade ótima é zero. Índices negativos indicam deficiência e positivos indicam excesso (Figura 6).

Com os índices DRIS os nutrientes limitantes da produção, tanto por deficiência quanto por excesso, podem ser prontamente identificados e ordenados em função de sua importância na limitação da produtividade das culturas.

Na grande maioria de trabalhos onde se utilizou o DRIS, não foi considerado o enxofre. No Brasil, o DRIS foi usado na soja para diagnose de N, P e K (Hanson, 1981), e também para soqueiras de cana-de-açúcar (Zambelo *et alii*, 1981).

O DRIS, com inclusão de enxofre, deveria ser estudado com todos os macronutrientes, ou melhor ainda, também com a inclusão de micronutrientes. Mas para exemplificar o uso do DRIS com enxofre, adaptou-se o esquema para NPK apresentado por Sumner (1977) para soja, para N, P e S (Figura 6).

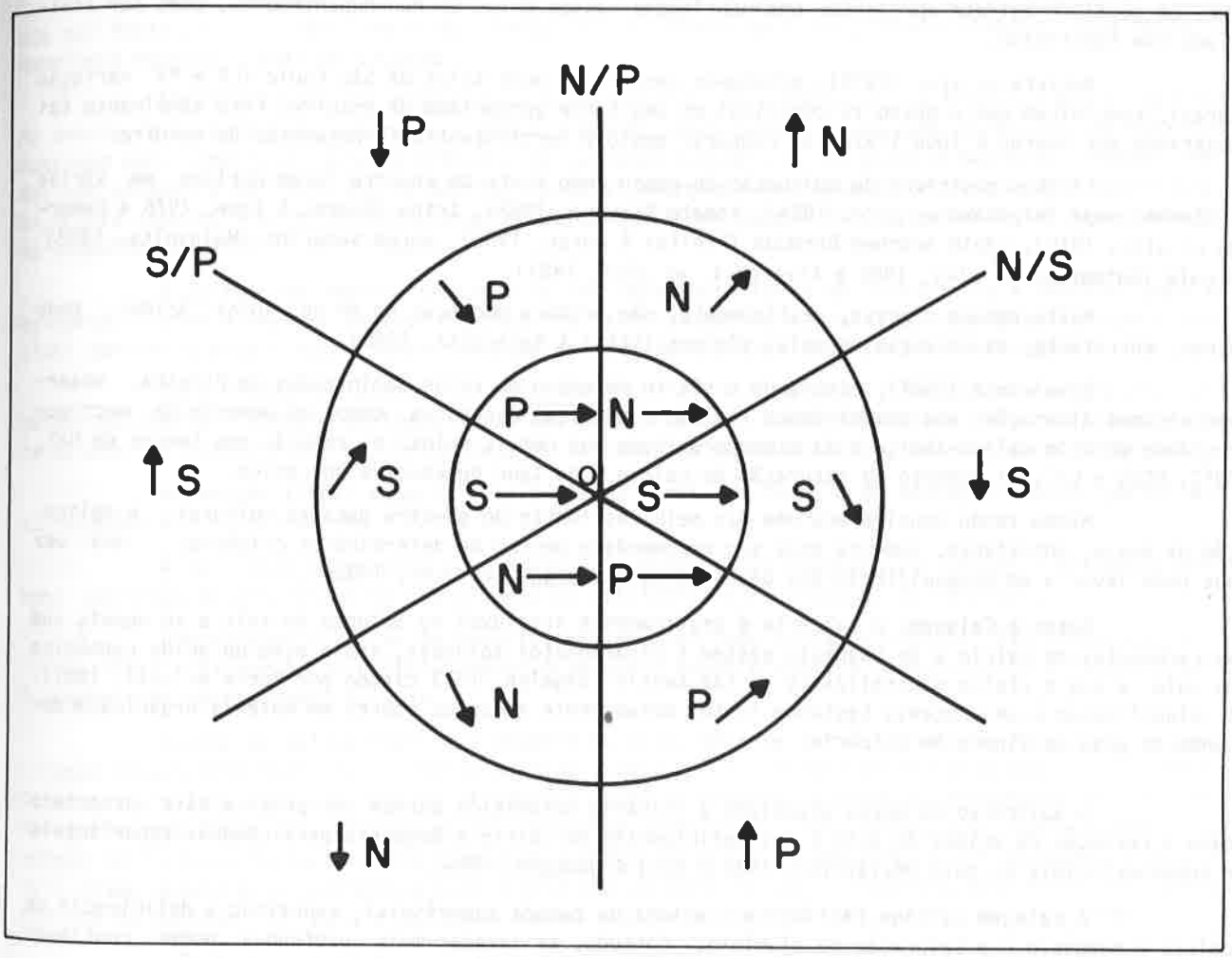


Figura 6. Balanço nutricional de N, P e S pelo DRIS, indicando os estados normal → , tendências a excesso ↗ e deficiência ↘ , excesso ↑ e deficiência ↓.

FONTES DE ENXOFRE APLICADAS AO SOLO

As fontes de enxofre adicionadas ao solo são os corretivos (gesso), fertilizantes e adubos orgânicos.

Gesso: o gesso ($CaSO_4.2H_2O$) é um composto que ocorre naturalmente, ou como subpr da fabricação de ácido fosfórico. Trata-se de um sal neutro e, como tal, não afeta diretament reação do solo. Mesmo assim, pode ser usado junto com calcário, como corretivo da acidez em fundidade, além de servir de fonte de enxofre e cálcio (Pavan *et alii*, 1982 e Raij & Quaggio, 1

A solubilidade do gesso é um fator de suma importância, quando é empregado como de cálcio e enxofre para as plantas. Apesar de ser considerado pouco solúvel (2,6 g/l a 25°C) solubilidade em água pura é 52 vezes superior à do calcário. Kiehl & Franco (1984) indicam qu solo, sua solubilidade poderá ser alterada devido à presença de íons na solução e devido à inf cia dos processos de adsorção e troca iônica. A solubilidade do gesso depende do seu grau de ra. Este fato foi evidenciado por Tanaka *et alii* (1983), em solo de cerrado de Uberaba, MG, o gesso foi incapaz de diminuir o teor de alumínio trocável, devido à granulometria grosseira do rial, impossibilitando uma rápida reação no solo.

Aloise (1976) testou o comportamento do sulfato em alguns solos de São Paulo e con que, em geral, o sulfato apresentou boa mobilidade nesses solos e, conseqüentemente, pode ser viado com facilidade.

Batista *et alii* (1978), estudando enxofre em dois solos de São Paulo (LR e PV var Laras), concluíram que o gesso se constitui em uma fonte apropriada de enxofre. Fato semelhant observado por Soares & Igue (1976) ao comparar gesso e fertilizantes fornecedores de enxofre.

Efeitos positivos da aplicação de gesso como fonte de enxofre foram obtidos em v culturas: soja (Miyasaka *et alii*, 1964), tomate (Kayama, 1968), trigo (Soares & Igue, 1976 e C go *et alii*, 1975), capim swannee-Bermuda (Freitas & Jorge, 1982), sorgo sacarino (Malavolta, e café (Guimarães *et alii*, 1983 e Alvarez V. *et alii*, 1987).

Muito embora o gesso, praticamente, não promova mudanças no pH de solos ácidos, atuar, entretanto, na correção de solos sódicos (Vitti & Malavolta, 1985).

Cavalcante (1984), estudando o efeito do gesso em solos salinizados da Paraíba, vou algumas alterações nas propriedades físicas e químicas dos solos, como: a) aumento da ma rosidade do solo salino-sódico e da microporosidade dos demais solos; b) redução dos teores d CO^{2-}_3, HCO^-_3 e Cl^-; c) aumento da saturação de cálcio e do teor de enxofre dos solos.

Mesmo sendo considerada uma das melhores fontes de enxofre para as culturas, a a ção de gesso, entretanto, somente pode ser recomendada dentro de determinados critérios, um que pode levar a um desequilíbrio das bases do solo (Quaggio *et alii*, 1982).

Gesso e Calagem: o calcário é praticamente insolúvel na solução do solo e só depo os carbonatos de cálcio e de magnésio passam à bicarbonatos solúveis, sob a ação do ácido car do solo, é que o efeito neutralizante se faz sentir (Vageler, 1933 citado por Ponte *et alii*, A solubilização é um processo bastante lento, notadamente em solos pobres em matéria orgânica pende do grau de finura do calcário.

A aplicação de gesso associado a calcário dolomítico parece ser prática mais apro para a correção da acidez do solo e das deficiências de cálcio e magnésio para camadas superf e subsuperficiais do solo (Malavolta, 1983 e Raij & Quaggio, 1984).

A calagem corrige facilmente a acidez da camada superficial, reduzindo a deficiê cálcio e magnésio e a saturação de alumínio. Contudo, as camadas mais profundas podem co com excesso de alumínio prejudicando o desenvolvimento das raízes e afetando a produção.

Com relação a este problema, Alves (1984) verificou que o uso combinado de calcár mercial, calcário micropulverizado e gesso foi eficiente em promover o aumento do teor de trocável nas camadas inferiores do solo, sendo este aumento acompanhado de reduções marcant saturação de alumínio. Neste trabalho, foi observado uma diferença em profundidade dos efeit corretivos empregados, sendo o calcário responsável pelas modificações ocorridas até a profu de de 40 cm e o gesso produzindo seus efeitos nas camadas mais profundas. Os efeitos obser no entanto, foram altamente dependentes da quantidade aplicada na superfície. Não foram obse modificações significativas nos teores de potássio e magnésio trocáveis do solo, confirmando

veniência da utilização do gesso em associação ao calcário. No entanto, Quaggio *et alii* (1982) relataram que a aplicação do gesso com o propósito de melhorar as condições de acidez na subsuperfície, deve ser feita sempre associada com doses elevadas de calcário para prevenir o desequilíbrio de bases na camada arável.

Freire *et alii* (1984) afirmam que a combinação de gesso com o calcário, além de eliminar o efeito negativo do alumínio trocável nas camadas mais profundas, também fornece enxofre às plantas e recomendam, para o cafeeiro, a combinação de calcário dolomítico e gesso, de maneira que 25 a 50% do recomendado entre como gesso.

Para a seringueira, Coqueiro (1984) verificou que não houve diferença para produção de matéria seca entre as duas proporções de calcário com gesso (33% calcário e 67% gesso; 67% calcário e 33% gesso), porém, ambas as proporções foram, aparentemente, superiores ao calcário ou gesso aplicados isoladamente.

Resultados bastante promissores da aplicação de gesso combinado à calcário foram obtidos por Ponte *et alii* (1980) em arroz; Ponte *et alii* (1981) em trigo; Santos (1982b), com soja, e Rosolem & Machado (1984) em algodão.

Fertilizantes: dos produtos contendo enxofre, os principais, no Brasil, são o sulfato de amônio, o superfosfato simples e o gesso, havendo ainda tendência de aumento do uso de fosfatos naturais parcialmente acidulados (FNPA) e de sulfatos solúveis de potássio e magnésio. Podem, ainda, ser citados o sulfonitrato de amônio, em geral empregado em misturas terciárias e o superfosfato trinta (duplo). As principais coracterísticas químicas desses fertilizantes foram apresentadas no trabalho de Vitti *et alii* (1984).

O sulfato de amônio constitui-se em importante fonte de nitrogênio e enxofre para as culturas. Estes elementos exercem funções tão relacionadas no metabolismo das plantas que é possível definir o estado nutricional com base na relação dos seus teores na matéria seca.

Para estudar os efeitos de doses e fontes de enxofre sobre o rendimento de algumas culturas, Malavolta (1984a) utilizou o sulfato de amônio como fonte de enxofre. Os resultados revelaram efeitos bastante satisfatórios para as culturas de capim colonião, colza e sorgo sacarino.

Malavolta (1982) sugeriu que, de forma geral, na fórmula de adubação sejam garantidas as relações N/S = 5/1 ou P_2O_5 = 7/1 a 10/1.

A aplicação balanceada de nitrogênio e enxofre foi relatada por Janzen & Bettany (1984) como condição da eficiência na assimilação de nutrientes e na produção de sementes.

Com relação à adição de superfosfato simples como fonte de enxofre, Mascarenhas *et alii* (1967, 1974) e Hiroce & Gallo (1972) observaram que o enxofre contido no superfosfato atendia perfeitamente às necessidades da soja.

Quando se aplica fósforo e enxofre no solo, deve-se ter o cuidado de equilibrar as quantidades desses dois nutrientes. Nesse sentido, Cravo *et alii* (1985) verificaram que, com aumento da dose de fósforo para uma dose relativamente baixa de enxofre, a produção de matéria seca foi menor que quando foram aplicadas doses mais elevadas de enxofre. Isto indica que, com o aumento da adição de fósforo, há necessidade também de aumento da adição de enxofre, a fim de manter o equilíbrio ótimo desses dois nutrientes para a produção de matéria seca. Resposta semelhante foi obtida num LVd de Machado, MG, para o estabelecimento e produção de café (Alvarez V. *et alii*, 1987).

Segundo Malavolta (1984b), as culturas de tabaco, batata, videira, frutas tenras, hortaliças, flores, árvores coníferas e culturas oleaginosas têm respondido bem à aplicação de sulfato de potássio como fonte de enxofre.

Fertilizantes e Calcário: a prática da adubação tem o objetivo de aumentar a concentração dos nutrientes na solução do solo, sempre que esta concentração seja baixa ou que as reações de transferência da fase sólida apresentem velocidades limitantes.

A aplicação de corretivos da acidez procura neutralizar o excesso de alumínio (Al^{3+}) ou manganês (Mn^{2+}) trocáveis, aumentar a disponibilidade de diversos nutrientes e garantir a saturação de bases adequadas para o desenvolvimento das plantas.

A calagem favorece a disponibilidade de enxofre para as plantas. Este fato foi e ciado por Elkins & Ensminger (1971), que constataram uma diminuição na retenção do enxofre e zão do aumento de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) no solo. Martini & Mutters (1984) também obse um aumento significativo na disponibilidade de enxofre quando foram aplicadas ao solo 2 $CaCO_3$/ha. Contudo, a aplicação de 6 t/ha reduziu significativamente a disponibilidade de en Em solos de São Paulo, Paraná e Minas Gerais, Neptune *et alii* (1975) e Alvarez V. *et alii* (observaram que houve aumento da disponibilidade de enxofre pela ação da calagem, obtendo efei sitivo na absorção de S pelas plantas.

A adubação fosfatada é indispensável, na maioria dos casos, para que se obtenha produções de soja, sendo que em combinação com a calagem, a adubação fosfatada torna-se mais ciente. Hiroce & Gallo (1972) observaram que a melhor resposta da soja ao superfosfato simpl devida ao enxofre do fertilizante.

Pearson *et alii* (1962) mostraram que aplicações de doses elevadas de sulfato de a em associação à calagem, resultaram na adsorção de sulfato nas camadas subsuperficiais do sol

Trabalho realizado no Centro de Pesquisas Agropecuária do Cerrado da Empresa Bras de Pesquisa Agropecuária (1979) mostrou que o gesso do superfosfato simples favoreceu a ação tralizadora de calcário no solo abaixo da camada arável.

Adubos Orgânicos: a incorporação de resíduos de plantas ou animais ao solo, norma é seguida por uma seqüência de reações que variam de acordo com a população microbiana e das ções de umidade, temperatura e aeração do solo. Tendo condições favoráveis para a atividade biológica, se processa uma rápida decomposição do material incorporado. A velocidade de deco ção está relacionada com características do material, tais como relação C:N, teor de materia lulósicos e tamanho de partículas (Alexander, 1977 e Kiehl, 1985).

Os estercos são os mais antigos e populares adubos, possuindo papel importante n senvolvimento da agricultura. A prática de confinar animais possibilita ao agricultor arm grandes quantidades de esterco, que, após o processo de fermentação, podem ser utilizados com bos (Kiehl, 1985).

Os resíduos animais apresentam uma composição química muito variada em função de res como a espécie animal, a raça, a dieta, o processo digestivo, o manejo, o método de colet mazenagem do resíduo (Fonte-not *et alii*, 1983 e Kiehl, 1985). Como, freqüentemente, se têm cido das concentrações de nutrientes secundários e de micronutrientes nas fontes orgânicas informação se tem do enxofre nos estercos. O esterco de galinha que, em geral, é dos mais ri nutrientes, apresentou 0,55% de enxofre (Holanda, 1981) (Quadro 3).

Em geral, as concentrações de enxofre nos estercos variam entre 0,045 e 0,26% (Be *alii*, 1961, citados por Tisdale & Nelson, 1970).

As pesquisas sobre o uso de adubos orgânicos não apresentam informação da influên enxofre nas respostas das plantas.

A digestão anaeróbica de resíduos agrícolas em biodigestores, para a produção de gás, apresenta como um dos subprodutos um efluente, o biofertilizante.

Em função das inúmeras variáveis que atuam na composição química dos estercos e do tos vegetais, a composição do biofertilizante é muito variada (Quadro 3).

Valente (1985), estudando os efeitos de doses de biofertilizantes sobre as caract ticas químicas do solo, verificou aumentos nos valores do pH, do fósforo e potássio disponíve magnésio trocável, do nitrogênio total e do carbono orgânico. Aumentos de produção de grãos téria seca de feijão foram obtidos com doses de até 200 m^3/ha, enquanto que doses de 400 a 600 proporcionaram um efeito depressivo na germinação, para ambos os efluentes.

Os processos de beneficiamento de couros utilizados pelos curtumes produzem efl considerados altamente tóxicos e, portanto, poluidores. As pesquisas nesta área visam buscar ções que possam evitar o caráter poluidor, bem como o aproveitamento racional deste efluente.

Santos (1982a) cita uma tecnologia desenvolvida em São Paulo, onde o efluente é s do em duas partes: uma considerada muito tóxica, rica em cromo (Cr), e outra chamada de lodo.

Quadro 3. Composição média de diferentes fontes orgânicas de enxofre.

Material	N	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	S	Citação
	----------	----------	----------	%	----------	----------	
Esterco Galinha	3,60	1,50	2,60	2,00	0,50	0,55	Holanda (1981)
Biofertilizante:							
Suínos	2,86	3,32	1,87	3,01	1,88	0,60	Valente (1981)
Bovinos	1,61	0,33	2,33	0,50	0,53	0,45	Valente (1985)
Lodo de Curtume	6,70	0,06	0,16	3,64	0,18	1,43	Santos (1982a)
Torta de Filtro Rotativo:							
A[1/]	0,70	1,15	0,36	3,50	0,20	0,10	Ribeiro *et alii* (1979)
B[2/]	0,31	1,83	0,07	0,70	0,06	0,05	Penso *et alii* (1979)
Vinhaça:							
A	0,16	0,03	0,78	0,37	0,09	0,27	Glória (1975)
B	0,12	0,02	0,78	0,26	0,06	0,21	Glória (1975)

[1/] Com fosfato de Patos.
[2/] Com fosfato de Araxá.

diferentes tratamentos, estes efluentes tornam-se aproveitáveis para fins agrícolas. O lodo apresentou uma boa composição química (Quadro 3).

Resultados experimentais do emprego deste efluente na agricultura são escassos, no entanto, Santos (1982a) cita alguns cafeicultores do Estado de São Paulo que já o utilizaram, misturando com palha de café, com resultados satisfatórios.

As tortas vegetais são normalmente misturadas com fertilizantes e depois aplicadas diretamente ao solo.

A torta de filtro rotativo é composta por resíduos resultantes da purificação do caldo da cana-de-açúcar e apresenta uma composição química muito variável, mas normalmente com elevado teor de cálcio (Ribeiro *et alii*, 1979 e Kiehl, 1985) (Quadro 3).

Pesquisas envolvendo a mistura de torta de filtro com fosfato de Patos (Penso *et alii*, 1979) ou apatita de Araxá (Ribeiro *et alii*, 1979) ou fontes de nitrogênio (Albuquerque & Marinho, 1979), de uma maneira geral, mostraram resultados satisfatórios.

Castro & Godoy (1979), estudando o efeito da substituição da torta de mamona pela torta de filtro rotativo na complementação da adubação mineral da cana, concluíram que 3 t de torta de filtro/ha podem ser utilizadas no sulco de plantio em substituição a 1 t de torta de mamona/ha.

Após um tratamento, a vinhaça pode ser utilizada na agricultura, pois possui considerável teor de matéria orgânica e apreciáveis quantidades de nutrientes (Quadro 3).

Devido a sua composição química, foi observado que a incorporação da vinhaça pode provocar um aumento no pH, bem como nos teores de K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis (Nunes e 1981).

À semelhança da torta de filtro, alguns trabalhos mostraram resultados positivo tura da vinhaça com fosfatos naturais (Glória & Mattiazzo, 1976 e Penso *et alii*, 1979).

Marinho *et alii* (1982) verificaram também um efeito positivo da vinhaça e da mineral na produção de açúcar. Entretanto, na ausência de fertilizantes, as doses de vinha lizadas (0, 45, 90 e 135 m^3/ha), foram insuficientes para promoverem o máximo de produção.

Lodo de esgotos e lixo fermentado são outras fontes orgânicas de enxofre usadas cultura.

PRÁTICAS PARA AUMENTAR A DISPONIBILIDADE DO ENXOFRE NOS SOLOS

Segundo Alexander (1977), nem todas as reações do solo são enzimáticas e, muita individuais, não são biológicas. No solo, sulfetos, enxofre elementar e tiosulfatos podem tamente oxidados quimicamente. Entretanto, a oxidação microbiológica é muito mais rápida q condições são favoráveis. Elevada acidez é requerida para a dissolução da pirita, mas, a tempo, esta mesma acidez diminui a tendência de oxidação a sulfato (Burns, 1967). Desta fo te processo químico tem pouca importância no aumento da disponibilidade do enxofre.

As bactérias do gênero *Thiobacillus* são os principais microorganismos do solo de oxidar o enxofre. Algumas espécies podem oxidar o enxofre elementar e o sulfeto a quando o pH do solo está neutro ou levemente alcalino (Alexander, 1977). Desta feita, práti visam elevar o pH do solo podem proporcionar uma maior disponibilidade de sulfatos para as (Vavra & Frederick, 1952 e Nelson, 1964).

A mineralização do enxofre do humus é normalmente lenta (Hesse, 1957) e insu para satisfazer as necessidades das plantas (McClung *et alii*, 1959 e Barrow, 1961). A liber enxofre imobilizado no humus tende a ser maior na presença de O_2, sendo este processo fa com o aumento da temperatura e pela calagem (Alexander, 1977).

Barrow (1961) observou, em solos da Austrália, que períodos prolongados de seca seguidos por um incremento do crescimento das plantas, e que esse resultado, ao menos em pa deveu ao aumento na mineralização do enxofre orgânico. Por outro lado, Kittams (1963) citad Burms (1967) observou baixa taxa de oxidação de enxofre em solos com baixo nível de umidade, melhor taxa de oxidação era obtida com níveis próximos à capacidade de campo.

Para aumentar a oxidação do solo, sucessivas movimentações como a aração e a g podem reduzir o teor de enxofre orgânico, por um incremento na mineralização e conseqüente mento do enxofre disponível (McClung *et alii*, 1959 e Tisdale & Nelson, 1970).

Um aspecto interessante na adsorção de sulfatos diz respeito ao papel desempenha matéria orgânica e pelos óxidos de ferro e alumínio. Chao *et alii* (1962) observaram uma sig tiva queda na adsorção de sulfatos quando se retirava a matéria orgânica de um solo. Entretan servaram ainda, em outros solos com diferentes conteúdos de óxidos de ferro e alumínio que rada de matéria orgânica proporcionou leve aumento na adsorção de sulfatos, ao passo que a r dos óxidos de ferro e alumínio proporcionaram acentuada redução na capacidade de adsorção d fre. Este leve aumento na adsorção de enxofre pela eliminação de matéria orgânica, segundo (1984), pode ter sido causada pelos sítios de adsorção que se tornaram disponíveis e que, an mente, estavam bloqueados por um revestimento de matéria orgânica.

Solos continuamente cultivados, em comparação com pastagens, apresentaram menor do de enxofre orgânico (McLaren & Swifi, 1977). Comparando as frações orgânicas de um solo vado durante 65 anos, com uma pastagem próxima, Bettany *et alii* (1980) verificaram conteúdos res de matéria orgânica no solo cultivado. Por outro lado, ao comparar o decréscimo dos te enxofre orgânico com os de carbono e nitrogênio, verificaram menor decréscimo para o enxofre nico. Tal fato sugeriu que o enxofre orgânico foi mais resistente à mineralização.

Com relação ao efeito da temperatura do solo sobre a atividade dos microorganism

promovem a oxidação do enxofre orgânico, existe um consenso em torno da afirmativa de que baixas temperaturas reduzem sua atividade, uma vez que a faixa ideal estaria em torno de 27 a 40°C (Burns, 1967 e Tisdale & Nelson, 1970).

Técnicas que visam aumentar o pH do solo parecem estar relacionadas com o aumento da mineralização do enxofre orgânico (Burns, 1967). Nelson (1964) observou que, com o aumento do pH do solo para valores acima de 5, ocorreu um aumento de até três vezes na mineralização do enxofre.

Um outro reflexo importante da calagem é que esta, além de aumentar a atividade de Ca^{2+}, liberando CO_2, pode também decrescer a atividade do SO_4^{2-} e do H^+ pela precipitação de $CaSO_4$ e formação de H_2O (Burns, 1967). A formação de $CaSO_4$ ocasionou uma melhor movimentação de cálcio e enxofre pelo perfil do solo e, conseqüentemente, melhor aproveitamento destes nutrientes pelo sistema radicular das plantas (Dias *et alii*, 1984 e Korentaser *et alii*, 1984).

Como a oxidação do enxofre orgânico é feita por microorganismos, Burns (1967) e Tisdale & Nelson (1970) relataram aumento no teor de enxofre oxidado decorrente da inoculação destes microorganismos ao solo. Entretanto, esta prática não tem sido empregada em escala comercial, uma vez que este aumento torna-se insignificante quando as condições ambientais são satisfatórias para o desenvolvimento dos microorganismos nativos (Tisdale & Nelson, 1970).

Em regiões onde a poluição atmosférica com SO_2 causa injúrias às plantas, quando em concentrações altas, nos solos deve estar oxidando-se a sulfato e lixiviando bases. Nestas regiões a primeira providência seria a calagem, mesmo que em doses muito pequenas para garantir às mínimas condições de vida à vegetação natural.

NECESSIDADES DE PESQUISA

Estudar a movimentação do enxofre no perfil, em solos com diferentes características mineralógicas, físicas e químicas.

Estudar os processos de adsorção e dessorção no solo e os fatores que afetam estes processos.

Estudar a capacidade de mineralização de compostos orgânicos com enxofre, da matéria humificada e dos resíduos orgânicos incorporados ao solo.

Calibrar, para diferentes culturas, métodos de análises de solos para enxofre disponível, considerando amostras de diferentes profundidades e a necessidade de estabelecer níveis críticos variáveis em função da capacidade tampão de sulfatos (CTS) e de suas possíveis estimativas analíticas.

Definir critérios para estimar nos solos a necessidade de calagem e de gessagem para diferentes culturas, bem como qual a melhor proporção das misturas destes corretivos.

Estimar os índices do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) para interpretação das análises foliares de enxofre em relação a outros nutrientes.

Estudar as interações de enxofre com outros nutrientes, ao nível de química e de físico-química de solos.

Estudar a cinética de absorção de enxofre em diferentes culturas e de como outros nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, influenciam neste processo.

CONCLUSÕES

Os trabalhos de fertilidade de solos em diferentes culturas têm demonstrado ser freqüente a deficiência de enxofre em solos do Brasil, especialmente em solos sob vegetação de cerrado.

Existe pouca informação em relação à química de enxofre em solos do Brasil. A falta de trabalhos de calibração não permite definir níveis críticos para análises de solos, apesar de existirem várias alternativas muito promissoras para análise de enxofre.

Existem evidências de que se consegue melhor capacidade preditiva da disponibilidade de enxofre na análise de solos quando se determinam níveis críticos variáveis em função da CTS.

Níveis críticos de enxofre considerados isoladamente na diagnose foliar não têm pacidade preditiva, porque o teor de enxofre varia muito, dependendo de processos de dilu concentração.

As deficiências facilmente podem ser corrigidas com uso de fertilizantes que enxofre ou com gesso agrícola. Também, o uso de práticas adequadas podem melhorar a dispon de de enxofre nos solos.

LITERATURA CITADA

ACCIOLY, L.J. de O.; DAL BÓ, M.A.; ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Método para determinaç potencial de sulfato em solos. R. bras. Ci. Solo, 9:103-106, 1985.

ALBUQUERQUE, G.A.C. & MARINHO, M.H. Influência da torta de filtro sobre a adubação nitroge cana-de-açúcar. Brasil Açucareiro, 93:38-43, 1979.

ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. 2 ed. New York, John Wiley, 1977. 467p

ALOISE, A.M. Comportamento do sulfato em alguns solos do Estado de São Paulo. Piracicaba, Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", 1976. 72p. Tese Mestrado.

ALVAREZ V., V.H.; BRAGA, J.M.; ESTEVÃO, M. de M. & PINTO, O.C.B. Equilíbrio de formas dis de fósforo e enxofre em dois latossolos de Minas Gerais. I. Equilíbrio fósforo-enxofre. Experientiae, 221:1-29, 1976a.

ALVAREZ V., V.H.; ESTEVÃO, M. de M.; BRAGA, J.M. & PINTO, O.C.B. Equilíbrio de formas disp de fósforo e enxofre em dois latossolos de Minas Gerais. II. Formas isotopicamente troc fósforo e enxofre. Experimentiae, 22(12):293-328, 1976b.

ALVAREZ V., V.H.; FREIRE, F.M. & GUIMARÃES, P.T.G. Concentrações relativas ótimas de nitro fósforo e enxofre, na adubação do cafeeiro, num Latossolo Vermelho-escuro de Machado, MG Pesq. agropec. bras., 22(2):145-152, 1987.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. de. Níveis críticos de enxofr de cerrado para crescimento de mudas de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA 19, Curitiba, PR, 1983. Resumos... Campinas, SBCS, 1983. p.85-86.

ALVES, H.M.R. Alterações de características químicas em profundidade pela aplicação superf calcário e gesso em um Latossolo Vermelho-amarelo câmbico distrófico textura média fase Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1984. 84p. Tese Mestrado.

BARDSLEY, C.E. & KILMER, V.J. Sulfur supply of soils and crops yield in the Southeastern U States. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 27:197-199, 1963.

BARDSLEY, C.E. & LANCASTER, J.D. Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in s Soil Sci. Soc. Am. Proc., 24:265-268, 1960.

BARROW, N.J. Studies on mineralization of sulphur from soil organic matter. Aust. J. Agri 12:306-319, 1961.

BARTLETT, F.D. & NELLER, J.R. Turbidimetric determination of sulfur in soil extracts. Soi 90:201-204, 1960.

BATISTA, L.F.; BITTENCOURT, V.C. & CORDEIRO, D.A. Disponibilidade de enxofre em dois solos de São Paulo (Latossolo Roxo e Podzólico Vermelho-amarelo variação Laras) pela técnica da diluição isotópica. R. bras. Ci. Solo, 2:189-193, 1978.

BEAUFILS, E.R. Pesquisa de uma exploração racional de Hévea após um diagnóstico fisiológico demorado sobre a análise mineral de diversas partes da planta. Fertilité, 3:27-38, 1957.

BETTANY, J.R. & HALSTEAD, E.H. An automated procedure for the nephelometric determination of sulfate in soils extracts. Can. J. Soil Sci., 52:127-129, 1972.

BETTANY, J.R.; SUGGAR, S. & STEWART, J.W.B. Comparison of the amounts and forms of sulfur in soil organic matter fractions after 65 years of cultivation. Soil Sci. Am. J., 44:70-75, 1980.

BITTENCOURT, V.C.; BATISTA, L.F.; GURGEL, M.N. & CORDEIRO, D.A. Determinação do enxofre trocável no solo pelo método colorimétrico do azul de metiltimol. R. bras. Ci. Solo, 2:184-189, 1978.

BLANCHAR, R.W.; REHM, G. & CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acid. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 29:71-72, 1965.

BOUAT, A. A adubação da oliveira. Fertilité, 10:13-26, 1962.

BURNS, G.R. Oxidation of sulphur in soils. Washington. The Sulphur Institute, 1967. 41p. (Technical Bulletin, 13).

CAMARGO, C.E.O.; VEIGA, A.A.; PESSINI, A.L. & MONTEIRO, D.A. Adubação do trigo. VII. Experiências com N, P, K e S em diferentes tipos de solos do Estado de São Paulo. Bragantia, 34:273-286, 1975.

CASAGRANDE, J.C. & SOUZA, O.C. de. Efeito de níveis de enxofre sobre quatro gramíneas forrageiras tropicais em solos sob vegetação de cerrado do Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. Pesq. agropec. bras., 17:21-25, 1982.

CASTRO, L.J. & GODOY, O.P. Uso da torta de filtro no sulco de plantio de cana-de-açúcar. Brasil Açucareiro, 94:66-76, 1979.

CAVALCANTE, L.F. Efeito do fosfogesso em solos salinizados de Paraíba cultivados com feijão vigna (*Vigna unguiculata* L. WALP). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", 1984. 94p. Tese Mestrado.

CHAO, T.T.; HARWARD, M.E. & FANG, S.C. Soil constituents and properties in the adsorption of sulfate ions. Soil Sci., 94:276-286, 1962.

CHAPMAN, H.D. Techniques proposées pour le prélèvement et la manutention des échantillons foliaires. Fruits, 19:367-377, 1964.

CHESNIN, L. & YIEN, C.H. Turbidimetric determination of available sulfates. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 15:149-151, 1950.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 3º Aproximação. Belo Horizonte, MG. EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUARIA DE MINAS GERAIS, 1978. 80p.

COOPER, M. A comparison of five methods for determining the sulphur status of New Zealand soils. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 9, Adelaid, 1968. Transactions... Adelaide, International Society os Soil Science, 1968, v. 2. p.263-271.

COQUEIRO, G.R. Efeito do fosfato de Araxá, calcário e gesso sobre o desenvolvimento de plan seringueira (*Hevea* spp) em casa de vegetação. Lavras, Escola Superior de Agricultura de 1984. 83p. Tese Mestrado.

CRAVO, M. da S.; BRAGA, J.M.; AMARAL, F. de A.L. do & ALVAREZ V., V.H. Efeitos de interaçãc x enxofre sobre a produção de matéria seca e sobre os níveis críticos de P e S no solo e plantas de soja (*Glycine max* L.), em solos com e sem calagem. Rev. Ceres, 32:12-30, 1985

DIAS, L.E.; FERREIRA, F.A.S.; RIBEIRO, A.C. & COSTA, L.M. da. Movimentação de cálcio em col solo tratadas com carbonato e sulfato de cálcio. Rev. Ceres, 31:407-414, 1984.

ELKINS, D.M. & ENSMINGER, L.E. Effect os soil pH on the availability of adsorbed sulfate. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 35:931-934, 1971.

ELWALI, A.M.O. & GASCHO, G.J. Soil testing, foliar analysis, and DRIS as guides for sugarca fertilization. Agron. J., 76:466-470, 1984.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório anual de 1977/78. Brasília, 1979. p.49-51.

ENSMINGER, L.E. Some factors affecting the adsorption of sulfate by Alabama soils. Soil Sc Soc. Am. Proc., 18:259-264, 1954.

FONTENOT, J.P.; SMITH, L.W. & SUTTON, A.L. Alternative utilization of animal wast. J. Anir Science, 57:221-233, 1983.

FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & BORGES, A.C. Disponibilidade do enxofre er extratores químicos em latossolos de Minas Gerais. R. bras. Ci. Solo, 6:125-130, 1982a.

FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & BORGES, A.C. Nível crítico de enxofre em los e recuperação do sulfato adicionado por diferentes extratores químicos em casa de ve R. bras. Ci. Solo, 6:226-230, 1982b.

FOX, R.L.; OLSON, R.A. & RHOADES, H.F. Evaluating the sulfur status of soils by plant and tests. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 28:243-246, 1964.

FREIRE, F.M.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. & MELLES, C. do C.A. Calagem, gessagem e do cafeeiro. Belo Horizonte, EPAMIG, 1984. 20p. (Boletim Técnico, 11).

FREITAS, L.M.M. de & JORGE, J. de P.N. Respostas de capim-swannee-bermuda à aplicação de n nio, fósforo e enxofre em região de cerrado. R. bras. Ci. Solo, 6:195-202, 1982.

FRIED, M. "E", "L" and "A" values. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 8, Buchare 1964. Transactions... Bucharest, Publishing House of the Academy of The Socialist Repub Romania, 1964. v.4., p.29-39.

FRIED, M. & DEAN, L.A. A concept concerning the measurement of available soil nutrients. Sci., 73:263-271, 1952.

GLÓRIA, N.A. da; CATANI, R.A. & VITTI, G.C. Determinação do enxofre orgânico do solo pelo colorimétrico do cloranilato de bário. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", 26:191-201, 1969.

GLÓRIA, N.A. da & MATTIAZZO, M.E. Efeito da matéria orgânica na solubilização de fosfatos II. Efeito de resíduos de usinas de açúcar e destilarias (bagaço de cana, torta de filtr nhaça). Brasil Açucareiro, 88:386-395, 1976.

GUIMARÃES, P.T.G.; MELLES, C. do C.A.; FREIRE, F.M. & PONTE, A.M. da. Influência do gesso e do calcário como corretivos e fornecedores de cálcio e enxofre para o cafeeiro. In: CONGRESSO BRASIELIRO DE PESQUISA CAFEEIRA, 10, Poços de Caldas, MG, 1983. Resumos... Rio de Janeiro, IBC/CERCA, 1983. p.164-165.

GUIMARÃES, P.T.G. & PONTE, A.M. da. Adubação do cafeeiro, Inf. Agropec., 4:20-36, 1978.

HANSON, R.G. DRIS evaluation of N,P,K Status of determinent soybeans in Brazil. Commun. in Soil Sci. Plant Anal., 12:933-948, 1981.

HARWARD, M.E.; CHAO, T.T. & FANG, S.C. The sulfur status and sulfur supplying power of Oregon soils. Agron. J., 54:101-106, 1962.

HERN, J.L. Determination of total sulfur in plant material using an automated sulfur analyzer. Commun. in Soil Sci. Plant. Anal., 15:99-107, 1984.

HESSE, P.R. Sulfur and nitrogen changes in forest soil of East Africa. Plant and Soil, 9:86-96, 1957.

HIROCE, R. & GALLO, R.J. Efeito do enxofre na produção de soja. Bragantia, 31:XI-XII, 1972. (Nota, 3).

HOEFT, R.G.; WALSH, L.M. & KEENEY, D.R. Evaluation of various extractants for available soil sulfur. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 37:401-404, 1973

HOLANDA, J.S. Utilização de esterco e adubo mineral em quatro seqüências de culturas em solo de Encosta Basáltica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia. 1981. 67p. Tese Mestrado.

JANZEN, H.H. & BETTANY, J.R. Sulfur nutrition of rapeseed: I. Influence of fertilizer nitrogen and sulfur rates. Soil Sci. Soc. Am. J., 48:100-112, 1984.

JARREL, W.M. & BEVERLY, R.B. The diluition effect in plant nutrition studies. Adv. Agron., 34: 197-224, 1981.

JOHNSON, C.M. & NISHITA, H. Microestimation of sulfur in plant materials, soils, and irrigation waters. Analytical Chemistry, 24:736-742, 1952.

JONES, M.B. Plant assays for the recognition of sulphur deficiency. In: McLACHLAN, K.D. ed. Sulphur in Australian Agriculture. Sidney, University Press, 1975. p.175-181.

JONES, C.A. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. Commun. in Soil Sci. Plant Anal., 12:785-794, 1981.

JONES, C.A. & BOWEN, J.E. Comparative DRIS and crop log diagnosis of sugarcane tissue analyses. Agron. J., 73:941-944, 1981.

JORDAN, H.V. & ENSMINGER, L.E. The role of sulfur in soil fertility. Adv. Agron., 10:407-433, 1958.

KAYAMA, M. Efeitos de diversos tipos de calcário e sua compatibilidade com bórax e gesso na produção do tomateiro (*Lycopersicum esculentum*, MILL). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1968. 58p. Tese Mestrado.

KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba, Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KIEHL, J.C. & FRANCO, O. Efeito do gesso industrial sobre alguns componentes da fertilidad lo. O solo, 76:11-16, 1984.

KILMER, V.J. & NEARPASS, D.C. The determination of available sulfur in soils. Soil Sci. S Proc., 24:337-340, 1960.

KORENTASER, L.; BYRNES, B.H. & HELLUMS, D.T. Leaching losses and plant recovery from varic sulfur fertilizers. Soil Sci. Soc. Am. J., 48:671-676, 1984.

KRUNG, F.J.; ZAGATTO, E.A.G.; REIS, B.F.; BAHIA FILHO, O.; JACINTHO, A.O. & JORGENSEN, S.S. Turbidimetric determination of sulphate in plant digests and natural waters by flow inje analysis with alternating streams. Analytica Chimica Acta, 145:179-187, 1983.

LARSEN, S. The use of ^{32}P in studies on the uptake of phosphorus by plants. Plant and Soi 1-10, 1952.

McCLUNG, A.C. & FREITAS, L.M.M. de. Sulfur deficiency in soils from brazilian campos. Ecc 40:315-317, 1959.

McCLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.M. de & LOTT, W.L. Analyses of several brazilian soils in rela plant responses to sulfur. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23:221-224, 1959.

McLAREN, R.G. & SWIFI, R.S. Changes in soil organic sulphur fractions due to long term cultivation of soils. J. Soil Sci., 28:445-453, 1977.

MALAVOLTA, E. Estudos químicos agrícolas sobre o enxofre. Anais Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiróz", 9:39-130, 1952.

MALAVOLTA, E. Efeitos do enxofre e boro e da inoculação em alfafa. Anais da Associação Br de Química, 12:137-150, 1953.

MALAVOLTA, E. Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras. 2.ed. Piraci Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1980. 91p. (Boletim nico, 4).

MALAVOLTA, E. Nitrogênio e enxofre nos solos e culturas brasileiras. São Paulo, SN Centro Pesquisa e Promoção de Sulfato de Amônio, 1982. 52p. (SN Boletim Técnico, 1).

MALAVOLTA, E. A prática da calagem. 3.ed. Sorocaba, Mineradora Pagliato, 1983. 43p. (Bo Técnico, 2).

MALAVOLTA, E. Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico. I. coloniáo. II. Colza. III. Sorgo sacarino. Sao Paulo, SN Centro de Pesquisa e Promoção Sulfato de Amônio, 1984a. 60p. (SN Boletim Técnico, 3).

MALAVOLTA, E. Adubação e calagem em citrus. Piracicaba, Potafós. 1984b. 8p. (Informaçõ agronômicas, 27).

MARINHO, M.L.; ALBUQUERQUE, G.A.C. & ARAÚJO FILHO, J.T. Efeito de doses de vinhaça e aduba neral sobre a cana-soca em dois solos de Alagoas. Brasil Açucareiro, 99:39-50, 1982.

MARTINI, J.A. & MUTTERS, R.G. Effect of liming and fertilization on sulfur availability, m and uptake in cultivated soils of South Carolina. Soil Sci., 138:403-410, 1984.

MASCARENHAS, H.A.A.; KIIHL, R.A.S. & NAGAI, V. Aplicação de enxofre em soja cultivada em L Vermelho-escuro fase arenosa, de cerrado. Bragantia, 33:58-59, 1974.

MASCARENHAS, H.A.A.; MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S. & YGUE, I. Adubação de soja. VI. Efeitos do enxofre e de vários micronutrientes (Zn, Cu, B, Mn, Fe e Mo) em Latossolo Roxo com vegetação de cerrado. Bragantia, 26:373-379, 1967.

MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S. & MASCARENHAS, H.A.A. Adubação da soja. III. Efeito de NPK, do enxofre e de micronutrientes em solo de arenito Botucatu, com vegetação de cerrado. Bragantia, 23: 65-71, 1964.

NELSON, L.E. The effect of pH on the acetate-soluble sulfur content of a mayhew soil in Mississippi before and after incubation. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 28:290-291, 1964.

NEPTUNE, A.M.L.; TABATABAI, M.A. & HANWAY, J.J. Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus-sulfur relationships in some brazilian and Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39:51-55, 1975.

NOVAIS, R.F. Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soil. Raleigh. North Carolina State University, 1977. 153p. Tese Doutorado.

NUNES, M.R.; VELLOSO, A.C.X. & LEAL, J.R. Efeito da vinhaça nos cátions trocáveis e outros elementos químicos do solo. Pesq. agropec. bras., 16:171-176, 1981.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Toxicity of aluminum to coffee in ultisols and oxisols amended with $CaCO_3$, $MgCO_3$ and $CaSO_4.2H_2O$. Soil Sci. Soc. Am. J., 46:1201-1207, 1982

PEARSON, R.W.; ABRUNA, F. & CHANDLER, J.V. Effect of lime and nitrogen applications on downward movement of calcium and magnesium in two tropical soils of Puerto Rico. Soil Sci., 93:77-82, 1962.

PENSO, J.J.A.; BRAGA, J.M. & THIÈBAUT, J.T.L. Avaliação da solubilidade do fosfato de Patos. III. Mistura com torta de filtro e vinhaça. Rev. Ceres, 29:516-525, 1979.

PONTE, A.M. da; MORAIS, O.P. de; GUIMARÃES, P.G.; PAULA, M.B. de & SOUZA, R.A. de. Influência do gesso e do calcário na fertilidade dos solos para duas cultivares de arroz de sequeiro. Estudo preliminar. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte. Projeto arroz; relatório 77/78. Belo Horizonte, 1980. p.145-154.

PONTE, A.M. da; MORAIS, O.P. de; SOUZA, M.A. de; GUIMARÃES, P.T.G. & SOUZA, R.A. de. Interação entre níveis de calagem, níveis de gessagem e duas profundidades de incorporação dos corretivos no desenvolvimento e produção do trigo (*Triticum aesturim* L.) cultivar 'BH-1146' em solo de cerrado. Resultados preliminares. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte. Projeto trigo; relatório 77 /78. Belo Horizonte, 1981. p.66-75.

PRÉVOT, P. & OLLAGNIER, M. La carence en soufre de l'arachide en Afrique. Agrochimica, 8:210-221, 1964.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R. & RAIJ, B. VAN. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. R. bras. Ci. Solo, 6:189-194, 1982.

RAIJ, B. VAN & QUAGGIO, J.A. Uso eficiente de calcário e gesso na agricultura. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, DF. 1984. Anais... Brasília, EMBRAPA, 1984. p.323-347.

REHM, G.W. & CALDWELL, A.C. Sulfur supplying capacity of soil and the relationship to soil type. Soil Sci., 105:355-361, 1968.

REISENAUER, H.M. Soil assays for the recognition of sulphur deficiency. In: McLACHLAN, K.D. ed. Sulphur in Australian agriculture. Sydney, University Press, 1975. p.182-187.

REISENAUER, H.M.; WALSH, L.M. & HOEFT, R.G. Testing soils for sulphur, boron, molybdenum, a chlorine. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D. eds. Soil testing and plant analysis., Madiso Soil Sci. Soc. Amer., 1973. p.173-200.

RIBEIRO, A.C.; GURGEL, M.N.A.; THIÈBAUT, J.T.L. & BITTENCOURT, V.C. Torta de filtro rotativ fertilizante, em misturas com apatita de Araxá, superfosfato simples e vinhaça. I. Incub das misturas. R. bras. Ci. Solo, 3:178:181, 1979.

ROSOLEM, C.A. & MACHADO, J.R. Efeito da calagem e gessagem na produção de algodão e na lixi de bases em dois latossolos. R. bras. Ci. Solo, 8:103-109, 1984.

SANTOS, A.C. dos. Produção de fertilizantes orgânicos a partir do tratamento de efluentes d tume. In: COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, Piracicaba, SP. 1982. Anais São Paulo, Companhia de Produção de Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de São Pa 1982a. p.233-236.

SANTOS, P.R.R.S. Influência do gesso na fertilidade dos solos de cerrado para duas cultivar soja. Interação entre níveis de calagem, níveis de gessagem e cultivares. In: EMPRESA D PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte. Projeto soja; relatório 77/79. Horizonte, 1982b. P.80-84.

SAUNDERS, W.M.H. & COOPER, D.M. Evaluation of soil and plant analysis to determine sulphur of New Zealand soils. In: McLACHLAN, K.D. ed. Sulphur in Australian agriculture. Sydne University Press, 1975. p.188-195.

SINGH, B.R. Sulfate sorption by acid florest soils: II. Sulfate adsorption isotherms with a without organic matter and oxides of aluminum and iron. Soil Sci., 138:294-297, 1984.

SOARES, E. & IGUE, T. Estudo comparativo entre fertilizantes fornecedores de enxofre. Brag 35:5-10, 1976.

SPENCER, K. & FRENEY, J.R. A comparison of several procedures for estimating the sulphur st of soil. Aust. J. Agr. Res., 11:948-959, 1960.

STANFORD, J.O. & LANCASTER, J.D. Biological and chemical evaluation of the readily availabl sulfur status of Mississippi soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 26:63-65, 1962.

SUMNER, M.E. Preliminary N, P, and K foliar diagnostic norms for soybeans. Agron. J., 69:2 1977.

SUMNER, M.E. A new approach for predicting nutrient needs for increased crop yields. Fert. solutions, 22:68-78, 1978.

SUMNER, M.E. Interpretation of foliar analysis for diagnostic purposes. Agron. J., 71:343- 1979.

TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. An alkaline oxidation method for determination of total sul soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 34:62-65, 1970.

TANAKA, R.T.; PONTE, A.M. da; MORAIS, O.P. de & CASTILLO, J.A.B. Influência do gesso na fer dos solos de cerrado para duas cultivares de arroz (*Oriza sativa* L.) de sequeiro. Result de 1978/79 e 1979/80. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS, Belo Horizon Projeto arroz; relatório 78/80. Belo Horizonte, 1983. p.199-214.

TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Barcelona, Montaner Simon, 1970. 760p.

VALENTE, C.F. Efeitos do biofertilizante, em diferentes níveis de adubação química, sobre o solo e sobre a produção de feijão cultivado em casa de vegetação. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 1985. 47p. Tese Mestrado.

VAVRA, J.P. & FREDERICK, L.R. The effect of sulphur oxidation on the availability of manganese. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 16:141-144, 1952.

VITTI, G.C. & MALAVOLTA, E. Fosfogesso - Uso Agrícola. In: MALAVOLTA, E., coord. Seminário sobre corretivos agrícolas. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.161-201.

VITTI, G.C.; MALAVOLTA, E. & COUTINHO, E.L.M. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados e portadores de enxofre. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, DF, 1984. Anais... Brasília, EMBRAPA, 1984. p.205-253.

WALL, L.L.; GEHRKE, C.W. & SUZUKI, J. An automated turbidimetric method for total sulfur in plant tissue and sulfate sulfur in soils. Commun. in Soil Sci. Plant Anal., 11:1087-1103, 1980.

WILLIAMS, C.H. & STEINBERGS, A. Soil sulphur fractions as chemical indices of available sulphur in some Australian soils. Aust. J.Agr. Res., 10:340-352, 1959.

ZAMBELLO JR., E.; HAAG, H.P. & ORLANDO FILHO, J. Aplicação do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) em soqueiras de cana-de-açúcar para diferentes épocas de amostragem foliar. Boletim Técnico do Planalsucar, 3:5-32, 1981.

CAPÍTULO 3

RESPOSTAS DE CULTURAS ANUAIS E PERENES À APLICAÇÃO DE ENXOFRE

Godofredo C. Vitti[1]
Euripedes Malavolta[2]
Manoel E. Ferreira[1]

RESUMO

O enxofre, assim como o cálcio e o magnésio, embora seja denominado de macronutriente secundário, é um elemento que as plantas necessitam em quantidades relativamente grandes. Apesar disto, a legislação brasileira sobre fertilizantes não faz exigências quanto à presença obrigatória desses elementos nas formulações. A situação tende a se agravar ainda mais com o aumento significativo de matérias primas isentas deste nutriente nas formulações de fertilizantes, tais como: uréia, fosfatos de amônio (MAP e DAP) e superfosfato triplo. Além disso, há fatores que também têm contribuído para o aumento da incidência de deficiência desse elemento em nossas culturas, tais como: os baixos teores de enxofre no perfil do solo explorado pelas raízes das plantas (predominantemente oxissolos e ultissolos), a prática de uma agricultura mais evoluída, baseada em altas produções com colheitas intensivas e variedades melhoradas, as perdas de sulfato por lixiviação e acentuadas pelas práticas de calagem e fosfatagem, a prática de queimadas para uso de novas áreas, limpeza de pastos e colheita de cana-de-açúcar, causando volatilização do enxofre contido no material vegetal. Em vista do exposto, pode-se inferir que está havendo uma grande defasagem entre o enxofre fornecido e o exigido pelas culturas e, conseqüentemente, o potencial total do sistema agrícola do País não está sendo atingido. Convém, pois, considerar ou ter em mente que as necessidades em enxofre das culturas poderão ser satisfeitas desde que se inclua uma fonte desse elemento no programa anual de adubação. Esta fonte, dependendo do manejo e de outros fatores, poderá ser o sulfato de amônio, o superfosfato simples, o sulfato duplo de potássio e magnésio, um fosfato natural parcialmente acidulado, ou o gesso agrícola, aplicado em doses variando entre 20 e 40 kg/ha de enxofre.

Termos de indexação: enxofre, deficiência de enxofre, enxofre contido em fertilizantes, culturas.

SUMMARY

THE EFFECT OF SULPHUR APPLICATIONS ON ANNUAL AND PERENNIAL CROPS

Sulphur, calcium and magnesium, although required in relatively large amounts by most crops are classified as a secondary macronutrients. The Brazilian police for fertilizers, does not demand the addition of these elements in the granular fertilizers. Therefore, as long as products such as urea, ammonium phosphates and triple superphosphate are used in compound, mixed or complex fertilizers, there is a trend of a increasing depletion of our soils. There are other reasons

[1] Professor do Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, CEP 14870, Jaboticabal, SP.

[2] Centro de Energia Nuclear da Agricultura, CENA/USP, CEP 13400, Piracicaba, SP.

which contribute towards the increase of sulphur deficiency under Brazilian conditions: the sulphur content in the profile exploited by the root system chiefly in Oxisols and Ultisols shift in the direction of more intensive agricultural practices part of which is the use hi yielding varieties, loss of sulfate by leaching due to high usage of limestone and phosphat fertilizers, the use of fire for clearing new areas, clearing pasture land from weeds, and harvested of sugar cane which cause loss of sulphur by volatization. It is inferred theref that the gap between sulphur needs and sulphur additions in the Brazilian agricultural prac widening which prevents the production potential from being reached. The requirement of th can be met by the introduction of a sulphur, containing product in the fertilization progra year. Depending of management, crop and other factors several options do exist: ammonium s simple superphosphate, potassium magnesium sulfate, partially acidulated rock phosphate, phosphogypsum, applied to supply between 20 and 40 kg of sulphur per hectare.

Index terms: sulphur, sulphur deficiency, sulphur containing fertilizers, crops.

INTRODUÇÃO

À medida que aumenta a pressão demográfica, as vastas áreas de oxissolos e ultisso dos e de baixa fertilidade da América Tropical, cerca de 850 milhões de hectares, exercem p da vez mais relevante na produção de alimentos e fibras, sendo que no Brasil essas áreas cerca de 68% da área total (Cocharane, 1982). Dentre os nutrientes, segundo Sanches & (1981), a deficiência de enxofre (S) atinge 50% da área total dos solos da América Tropical los sob vegetação de cerrado do Brasil, segundo Malavolta (1981), a ocorrência de deficiên em culturas anuais e perenes, ocupa o valor seis, considerando uma escala arbitrária de 1 a de 1 indica que de cada 10 culturas, uma apresenta deficiência de enxofre (portanto valor s dica que de cada 10 culturas, seis apresentam deficiência de enxofre). Esse fato já havia servado há muito tempo por McClung et alii (1959a) em experimento no qual onde o enxofre aplicado, em solos do planalto central brasileiro, o crescimento das plantas era apenas de do obtido quando um fertilizante completo era empregado.

Assim, o baixo teor desse elemento no perfil do solo explorado pelas raízes das aliado ao aumento considerável do uso de adubos simples e de fórmulas de adubação concentra macronutrientes primários (N-P_2O_5-K_2O), são os fatores mais importantes para explicar o au deficiência de enxofre, limitando a produção e afetando a qualidade de nossas culturas.

Malavolta (1984) estimou o déficit entre a entrada (adubação) e saída (exportaçã colheitas, lixiviação e erosão) de enxofre, em 100 mil toneladas e, em um milhão de tonelad ferença existente entre o que se deveria usar e o que se usa no País.

O ENXOFRE NA PLANTA

O enxofre nas plantas forma subtâncias determinantes da qualidade do produto, dese do funções vitais, sobretudo no metabolismo das albuminas e nas reações enzimáticas (Ensminger, 1958; Allaway & Thompson, 1966; Beaton, 1966 e Coleman, 1966). Assim, esse nut componente dos aminoácidos essenciais, cistina e metionina, os quais, segundo Miller & (1963), são fatores limitantes na dieta humana. Além disso, o enxofre está ligado às v biotina e tiamina, sendo esta última um problema nutricional crítico em países que têm como alimentação o arroz. O enxofre também é componente da acetil-CoA, composto que representa nervoso no ciclo de Krebs, influenciando portanto todo o metabolismo de gorduras e carboi enxofre participa também da composição de óleos livres de nitrogênio (N) (bissulfeto de al plantas bulbosas (cebola, alho) e de essências que contém N (glucosídeos) nas crucíferas. E mento atua na ativação de enzimas proteolíticas, como a ficinase (figo), bromelina (abacaxi paina (mamão), e faz parte das ferredoxinas, complexos enzimáticos envolvidos na fotossíntes fixação do N_2. Por último, os grupos sulfidrilos (-SH) do tecido vegetal parecem aumentar tência da planta ao frio e à seca.

Analisando as funções do enxofre, observa-se que o mesmo está intimamente ligado ao lismo do nitrogênio, convertendo-o de N não protéico em proteína, sendo inclusive utilizada

ção N/S do vegetal para avaliar o seu estado nutricional. Assim, as leguminosas, como possuidoras de altos teores de proteínas, exigem quantidades mais elevadas de enxofre para o seu desenvolvimento, tendo ainda nestas plantas, papel na formação e desenvolvimento dos nódulos, bem como no processo de fixação de N_2 (Vitti & Novaes, 1986).

As quantidades de enxofre requeridas pelos vegetais e seu teor (0,02 a 1,8% da matéria seca) nas diversas espécies e partes da planta, muitas vezes ultrapassam as quantidades requeridas de fósforo. Como exemplo pode-se citar algumas culturas como algodão, cana-de-açúcar, feijão, batatinha, café e abacaxi, algumas gramíneas forrageiras (colonião e napier) e diversas hortaliças (alho, cebola, couve-flor, repolho, ervilha, espinafre, nabo e tomateiro).

No Quadro 1, adaptado de Malavolta (1980), são apresentadas as exigências em enxofre de algumas culturas de interesse econômico.

Quadro 1. Quantidades de enxofre extraída pelas principais culturas.

Cultura	Colheita	Parte da Planta	S
	--- t/ha---		- kg/ha-
Arroz	4,0	Total	11
Milho	6,4	Total	44
Trigo	3,0	Total	14
Sorgo	2,5	Total	7
Cana	100	Colmos + Folhas	58
Batatinha	40	Tubérculos + Ramos	38
Algodão	1,3	Total	33
Amendoim	3	Total	24
Feijão	1	Total	25
Soja	3	Total	23
Café	2 (coco)	Total	27
Cacau	1	Amêndoas	3
Fumo	15	Folhas	-
Abacaxi	50000 pés/ha	Total	41
Laranja	6 caixas/pé (200 pés/ha)	Frutos	15
Maçã	15	Total	-
Colonião	13	Total	45
Napier	25	Total	75
Tomate	41	Total	28

Fonte: adaptado de Malavolta (1980).

RESPOSTAS DAS CULTURAS À APLICAÇÃO DE ENXOFRE

Culturas Anuais

As pesquisas têm mostrado efeitos positivos da aplicação de enxofre em leguminosas (soja, feijão), em gramíneas (arroz, trigo, milho, sorgo sacarino, cana-de-açúcar), e em outras famílias como as Malváceas e Cruciferas (algodão e colza). Essas respostas foram verificadas principalmente em solos sob vegetação de cerrado e com baixo teor de matéria orgânica, ou em áreas de cerrado em que nos cultivos iniciais, se usou adubação concentrada em N-P_2O_5-K_2O.

Com relação às respostas de leguminosas à aplicação de enxofre, Hiroce & Gallo (197 ficaram efeitos altamente positivos ao gesso, contido no superfosfato simples, na produção em um Latossolo Roxo distrófico. Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 2, i aumentos da ordem de 49% na produção de grãos dessa leguminosa com a utilização de 60 kg/ha No Quadro 3 está apresentado o resumo de resultados da aplicação de S, na forma de gesso, (Miyasaka et alii, 1964; Mascarenhas et alii, 1974 e Mascarenhas et alii, 1976) e feijão (nhas et alii, 1976 e Vitti et alii, 1982). Em todos os ensaios o gesso foi aplicado no s semeadura, observando-se efeitos positivos da sua aplicação. Campos (1985) estudou o efeit fato de amônio, sulfato duplo de potássio e magnésio (K-Mag) e gesso (como fontes de enxo produção e em outras características agronômicas da soja, em um solo sob vegetação de cerra cém desbravado de Conceição das Alagoas, MG. Os resultados obtidos estão apresentados no Q tendo a adubação sulfatada proporcionado aumentos na produção de grãos da ordem de 12 e 24 pectivamente, nos anos agrícolas 1982/83, com a cultivar IAC-9 e 1983/84, com a cultivar IA 2º ano de cultivo foi também avaliada a porcentagem de óleo no grão, tendo sido verificado médio de 11% com a adição de enxofre na adubação.

Quadro 2. Teores médios de N, P, K, Ca, Mg e S, nas folhas de soja e produções médias, em função das doses de superfosfato simples aplicado no solo (Ipuã, SP, 1972).

Doses de SPS	Teor médio do elemento na MS						Produção
	N	P	K	Ca	Mg	$S\text{-}SO_4$	
kg/ha	%					ppm	kg/ha
0	3,48	0,32	2,71	1,04	0,48	545	1734 a
500	3,63	0,32	2,74	1,00	0,47	626	2580 b
1000	3,72	0,32	2,74	0,97	0,49	790	2634 b

Fonte: adaptado de Hiroce & Gallo (1972).

Com relação às respostas das gramíneas ao enxofre, McClung et alii (1959b), em en casa de vegetação, utilizando milhete comum (*Penisetum glaucum* L.) como planta indicadora, caram respostas máximas ao emprego de 20 kg/ha de S em dezenove casos testados, exceção qu utilização da camada arável dos solos tipo Bauru de Araçatuba e Matão, SP (áreas 4 e 5), e kg/ha de S foi superior (Quadro 5). Por outro lado, observa-se que houve resposta à aplica gesso no horizonte A de todos os solos estudados, enquanto que no horizonte B a mesma foi com o tipo de solo, indicando lixiviação de S do horizonte A para o B.

Na cultura do arroz, em solos de várzea, com 5 a 8% de matéria orgânica da Bacia d Amazonas no Estado do Pará, Wang et alii (1976) verificaram que produções no primeiro ano a de 5 a 8 t/ha de grãos com a utilização de quantidades moderadas de N-P-K. Entretanto, es duções, após duas a três colheitas, declinavam para 1 a 3 t/ha de grãos. Após uma série de vações de campo, ensaios de casa de vegetação e análise de laboratório, verificaram que o p fator nutricional que estava causando a queda pronunciada de produção era o enxofre (Quadr deficiência de enxofre era facilmente corrigida pela aplicação de gesso ou de sulfato de a cobertura na dose de 24 kg/ha de S (Figura 1), com as produções de grãos voltando a ser d t/ha. Tanaka et alii (1983), em ensaio instalado em um Latossolo Vermelho amarelo, de Pat MG, com arroz IAC-47 e IAC-25, estudaram a influência da aplicação de doses de um calcário tico (0, 2,7 e 5,4 t/ha) e de gesso, nas mesmas doses, aplicados a lanço antes do plantio. sultados obtidos (Quadro 7) revelaram efeitos significativos dos níveis de gessagem e de Interação significativa foi detectada entre gessagem e cultivar, sendo que somente a cultiva

Quadro 3. Efeitos da aplicação de gesso na produção de grãos de soja e feijão em solos do Estado de São Paulo[1].

Tipo de Solo	Cultura[1]	Produção			
		+Gesso	-Gesso	Diferença	Referências
		---------- kg/ha ----------			
Latossol Roxo	Soja	1789	1306	+483	Adaptado de Mascarenhas et alii (1976)
Latossol Vermelho amarelo fase arenosa	Soja	1608	1258	+350	
Latossol Vermelho escuro fase arenosa	Soja	1616	1130	+426	
Arenito Botucatu	Soja	1608	1258	+350	adaptado de Miysaka et alii (1964)
Podzólico Vermelho amarelo Var. Laras	Feijão	2216	1961	+255	adaptado de Mascarenhas et alii (1976)
	Feijão	872	550	+322	
Latossol Vermelho escuro fase arenosa	Feijão	1699	1104	+595	adaptado de Vitti et alii (1982)

[1] Em todos os ensaios foi utilizado 100 kg/ha de gesso, exceção ao último no qual foi empregado 250 kg/ha.

respondeu, de forma quadrática, aos níveis de gesso, enquanto que para a cultivar IAC-25 não houve influência deste corretivo. Provavelmente, o efeito benéfico do gesso foi devido ao suprimento de enxofre e de cálcio, pois o solo apresentava baixos teores desses nutrientes e a saturação de alumínio era considerada baixa.

Na cultura do trigo, a deficiência de S, além de afetar a produção e o valor nutricional (diminuição dos aminoácidos essenciais metionina e cistina, com aumento do ácido aspártico), deve afetar também a extensibilidade da massa. Esse fato é devido aos radicais sulfidrilos (-SH) e dissulfeto (S-S) serem indispensáveis para se obter uma boa panificação. Assim, a deficiência de S determinará a produção de pães menores, com textura granulada, massa mais rija e miolo mais firme e pesado, e o pão envelhecerá mais rapidamente (Wrigley et alii, 1984). No Brasil, respostas significativas e positivas ao uso de enxofre na cultura do trigo foram obtidas por Soares & Igue (1976) com a cultivar IRN 526-63, em ensaios conduzidos em casa de vegetação, em dois Latossolos Vermelho escuro orto, coletados nos municípios de Itapetininga (3 ppm de S-SO_4^{2-}) e de Capão Bonito, SP (6 ppm de S-SO_4^{2-}). Esses autores realizaram estudo comparativo entre fertilizantes fornecedores de S (sulfato de amônio, superfosfato simples, gesso e flor-de-enxofre), observando, no geral, que o gesso foi a fonte com melhor desempenho, principalmente quando comparada com o enxofre na forma elementar (Quadro 8). Camargo et alii (1975), com a cultivar IR-526-63, em Latossolo Vermelho escuro orto, recém desbravado, de Itaberá, SP, (2% de carbono orgânico), verificaram que a produção de grãos, com a utilização de 60-60-30-0 kg/ha, respectivamente de N-P_2O_5-K_2O-S, foi de 66 kg/ha, enquanto que com a adição de 40 kg/ha de S (gesso), a produção passou para 251 kg/ha. Esses mesmos autores, em um solo de Itararé, com elevada acidez, alto teor de matéria orgânica (5,7% de M.O.), obtiveram produção de grãos, no tratamento sem enxofre, de 251 kg/ha, e no tratamento com adição de 40 kg/ha de S, na forma de gesso, de 1.058 kg/ha de grãos. Caetano (1985), avaliou os efeitos de

Quadro 4. Médias gerais da produção de grãos de soja, anos agrícolas 1983/84 e 1984/85, e da porcentagem de óleo nos grãos, ano agrícola 1984/85, num solo de cerrado em Conceição das Alagoas, MG.

Tratamentos[1]	Produção de Grãos		Produção de Óleo
	1983/84 (IAC-9)	1984/85 (IAC-8)	1984/85 (IAC-8)
	------kg/ha------		---%---
Sem enxofre	2096	2108	20,55
Sulfato de Amônio I	2382	2594	22,77
Sulfato de Amônio II	2353	2619	22,85
K-Mag I	2360	2505	22,06
K-Mag II	2551	2728	22,84
Gesso I	2125	2574	23,04
Gesso II	2306	2624	22,86
Testemunha x fatorial (Teste F)	26,39**[2]	25,20*	26,26**
dms Fontes	111,15	-	-
dms Doses	75,15	-	-

1/ I e II, respectivamente 20 e 40 kg/ha de S.

2/ * e **, significativo respectivamente ao nível de 5 e 1% de probabilidade.

Fonte: adaptado de Campos (1985).

fontes (sulfato de amônio, K-Mag e gesso) nas doses de 0, 20 e 40 kg/ha de S, na cultivar de Anahuac, em Latossolo Vermelho escuro textura média, em Santa Ernestina, SP, anteriormente c do com cana-de-açúcar. O autor verificou que o fornecimento de S influenciou significativam produção de grãos, tendo as fontes anteriormente citadas promovido aumentos em relação à tes (sem S), respectivamente, de 25,0, 19,0 e 32% (Quadro 9), sendo a dose de 20 kg/ha de S suf para promover as maiores produções no presente ensaio.

Na cultura de milho estão sendo testados os efeitos do fornecimento de S (sulfato nio, K-Mag e gesso), na cultivar Dina-10, em Latossolo Vermelho escuro, textura média, de B ro e de Jaboticabal, SP. A dose de 20 kg/ha de S (informação pessoal)*, nas três fontes util foi suficiente para promover maiores produções de grãos (Quadro 10).

Malavolta et alii (1982), na cultura de cana-de-açúcar, compararam a eficiência de fato natural parcialmente acidulado (FAPS) com a do superfosfato simples (SPS) e a do fosf Araxá (FA). Os dados obtidos mostraram que o FAPS possibilitou uma produção que não diferi tisticamente da obtida com o SPS, sendo superior ao FA como fonte de P_2O_5 (Figura 2). Entr através dos dados de diagnose foliar observou-se que o FAPS e o SPS funcionaram tanto como f P, como de S, tendo o teor de S da folha apresentado melhor correlação com a produção do que (Figura 3).

* J. GIBRAN, 1986, informação pessoal.

trigo
ultiva-
ente a
temunha
iciente

de amô-
ebedou-
izadas,

um fos-
ato de
u esta-
etanto,
fonte de
o de P

Quadro 5. Efeito da aplicação de enxofre, na forma de gesso, sobre a produção de milhete comum, em experimentos de vasos (Matão, SP, 1959).

Tipo de solo e localização	Cobertura Vegetal	Horizonte	Produção de matéria seca	
			Sem S	Com S[1]
			------ g/vaso-------	
Bauru 1 (Lins)	Mata	Ap	6,7	25,7**[2]
		B	12,0	24,0
	Cafezal	Ap	2,5	16,8*
		B	18,0	20,9^{ns}
Bauru 2 (Marília)	Mata	Ap	4,6	22,2**
		B	7,1	12,6^{ns}
	Cafezal	Ap	2,2	12,5*
		B	10,7	10,9^{ns}
Bauru 3 (Marília)	Mata	Ap	8,3	29,8**
		B	1,1	19,0**
	Cafezal	Ap	1,3	20,9**
		B	0,9	13,1*
Terra Roxa (Ribeirão Preto)	Mata	Ap	13,9	23,3*
		B	6,0	19,9*
	Cafezal	Ap	12,1	14,8^{ns}
		B	19,6	19,2^{ns}
Bauru 5 (Matão)	Pasto	Ap	2,6	28,0**
		B	8,6	19,7**
	Cafezal	Ap	4,3	20,3**
		B	24,5	19,5^{ns}
Campo Cerrado (Goiás)	Campo	Ap	0,1	13,8**

1/ Médias de todos os tratamentos que receberam enxofre.

2/ * e ** significativo respectivamente ao nível de 5 e 1%.

ns não significativo.

Fonte: adaptado de McClung et alii (1959b).

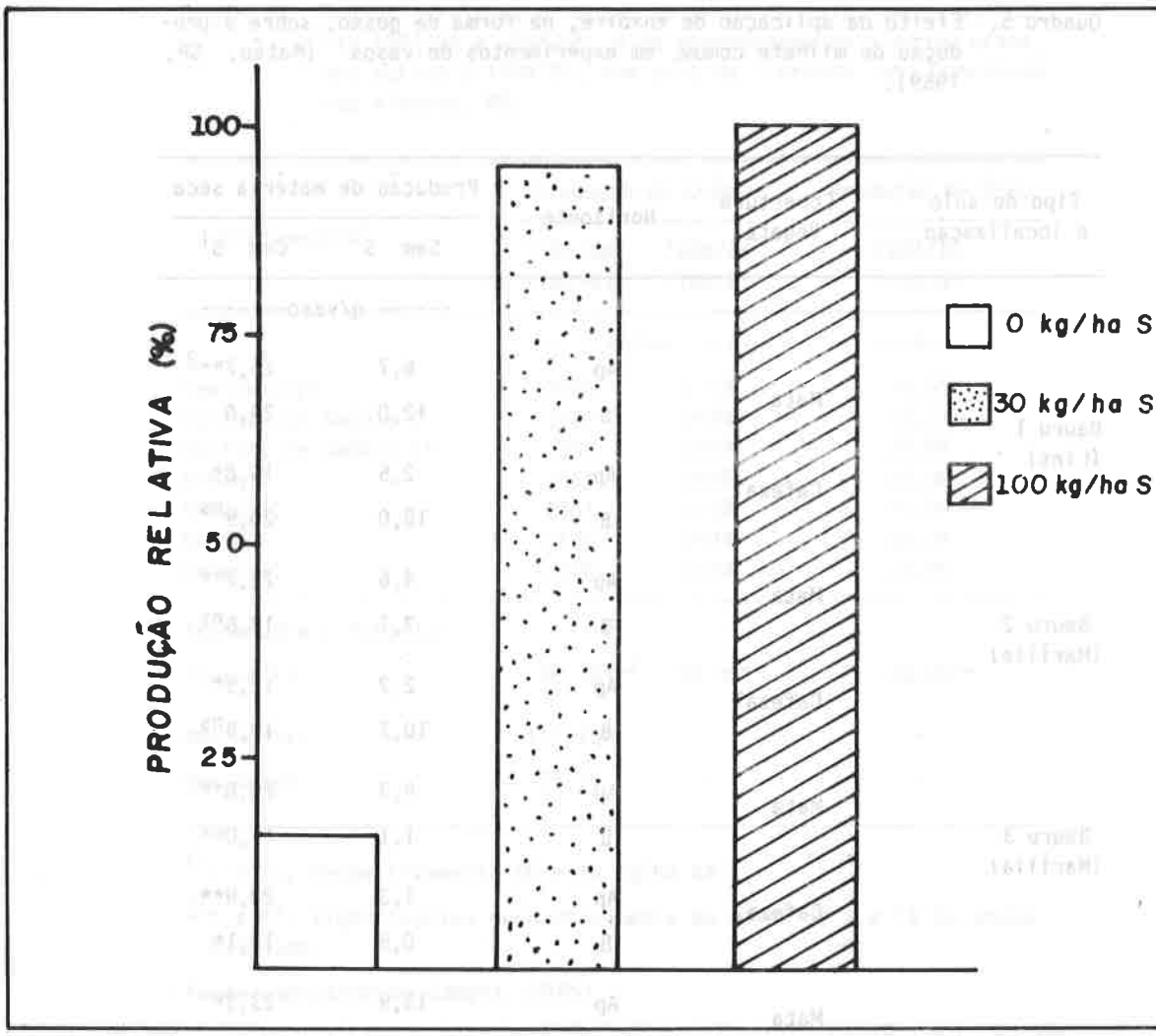


Figura 1. Efeito do enxofre, contido no gesso agrícola, na produção de arroz irrigado, em Pará. Fonte: adaptado de Wang et alii (1976).

A importância do enxofre no aumento de rendimento da cultura do algodão (*Gossypium* L.) tem sido demonstrada em inúmeros ensaios. Freitas et alii (1960), em um Latossolo Roxo rado de São Joaquim da Barra, SP, utilizando diferentes doses de N, P e K e dose constan (30 kg/ha), na forma de gesso, e calcário dolomítico, verificaram, em primeiro lugar, resp calcário e ao enxofre (Figura 4). McClung et alii (1961), em solos sob vegetação de cerrad gião de Orlândia, SP, verificaram que o enxofre ocupou o segundo lugar como fator de aument dução (perdendo apenas para o calcário). Como fonte de enxofre foi utilizado o gesso em c des equivalentes a 30 kg/ha de S (Quadro 11). Mikkelsen et alii (1963) conduziram cerca de rimentos de campo em diversos locais, de solo sob vegetação de cerrado na região de Orlândi verificando respostas significativas ao S em quase todos os locais, sendo superadas apena respostas ao calcário e ao potássio. A adição de enxofre na dose de 30 kg/ha chegou a dup produção em alguns casos. Recentemente, Silva et alii (1980) conduziram durante quatro an colas com algodão, ensaios de competição de misturas contendo ou não enxofre, com a cultiva em um Latossolo Roxo distrófico de Guaíra, SP. Foram utilizados como fontes de N, P, K, o de amônio, salitre do Chile, nitrato de amônio, superfosfato simples, superfosfato triplo e de potássio. O efeito do enxofre foi evidente desde o primeiro ano, aumentando com o tempo efetivação da calagem. As maiores produções foram obtidas com o uso de superfosfato sim plantio e com sulfato de amônio em cobertura. Girotto (1985), em Latossolo Roxo de cerrad

Quadro 6. Resposta do arroz IR-8 a um fatorial N, P e S medida 14 dias após as aplicações dos tratamentos em condições de vasos, com solos do Baixo Amazonas (Belém, PA, 1976).

Tratamentos	Produção de perfilhos	Altura de plantas
	--nº/vaso--	----cm---
Testemunha	4,7	29,6
N	4,7	31,0
P	8,6	43,6
S	12,3	47,3
NP	8,0	39,3
NS	12,3	46,3
PS	13,7	46,0
NPS	14,7	46,3

Fonte: adaptado de Wang et alii (1976).

Quadro 7. Produção média de arroz (kg/ha) em função de níveis de Calagem (C), Níveis de Gessagem (G) e de duas cultivares (Patrocínio, MG, 1983).

	C_0[1]		C_1		C_2		Média Gessagem	Média Gessagem dentro da IAC-47
	IAC-47	IAC-25	IAC-47	IAC-25	IAC-47	IAC-25		
	kg/ha							
G_0[1]	1.517	1.871	2.096	1.750	2.250	1.942	1.904b	1.954b[2]
G_1	2.108	1.696	3.004	2.196	2.673	1.863	2.257a	2.595a
G_2	2.267	1.650	2.829	2.050	2.613	1.908	2.215a	2.569a
$\bar{M}$ Cultivar	1.964	1.739	2.643	1.990	2.512	1.904	-	-
$\bar{M}$ Calagem	1.852b		2.317a		2.208a			

1/ Quantidade de calcário, C_0, C_1 e C_2, respectivamente 0, 2,7 e 5,4 t/ha. Quantidade de gesso, G_0, G_1 e G_2, respectivamente 0, 2,7 e 5,4 t/ha.

2/ Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente, ($p \leq 0,05$).

Fonte: adaptado de Tanaka et alii (1983).

Quadro 8. Produções médias de matéria seca e de espigas de trigo IRN 526-63 em ensaios casa de vegetação em dois Latossolos Vermelho escuro orto (Itapetininga e C Bonito, SP, 1976).

Tratamentos[1]	Itapetininga		Capão Bonito	
	Matéria seca	Espiga	Matéria seca	Esp
	g/vaso			
NPK	16,3	9,7	12,5	6
NPK S_1 + SA	30,7	22,7	27,7	21
NPK S_2 + SA	32,5	24,0	29,5	23
NPK S_1 + SS	32,0	23,8	30,0	25
NPK S_2 + SS	36,0	26,8	29,2	21
NPK S_1 + G	31,5	25,0	27,6	22
NPK S_2 + G	31,3	28,0	29,8	23
NPK S_1 + FE	31,8	24,8	37,7	21
NPK S_2 + FE	30,7	23,2	27,5	21
NPK + Calagem (CAL)	28,2	14,8	17,8	13
NPK S_1 + CAL + SA	42,8	34,8	44,7	39
NPK S_2 + CAL + SA	43,7	36,7	44,7	41
NPK S_1 + CAL + SS	46,0	37,5	43,7	40
NPK S_2 + CAL + SS	47,7	41,0	46,3	41
NPK S_1 + CAL + G	45,2	38,7	42,7	38
NPK S_2 + CAL + G	47,8	35,8	44,2	39
NPK S_1 + CAL + FE	43,2	35,5	41,3	38
NPK S_2 + CAL + FE	42,2	34,2	39,0	34

1/ N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente, 2,0, 3,0 e 1,6 g/vaso. S_1 e S_2, 0,5 e 1,0 g de S/vaso

Fontes: S.A. - Sulfato de amônio
SS - Superfosfato simples
FE - Flor-de-enxofre
G - Gesso
CAL - Calagem

Fonte: adaptado de Soares & Igue (1976).

gião de Ituverava, SP, estudou o emprego de fontes de enxofre (sulfato de amônio, K-Mag e ge cultura de algodão, cultivar IAC-17, tendo verificado aumento médio de 11% na produção, com desse nutriente (Quadro 12).

Na cultura da colza (*Brassica napus* L. oleifera) Malavolta et alii (1984) verificar postas altamente significativas à aplicação do enxofre em dois cultivos sucessivos realizac Latossolo Roxo de Jaboticabal, SP, conforme dados apresentados no Quadro 13.

Culturas Perenes

A cultura perene mais estudada no país em termos da utilização de gesso é, sem dúvic ma, a do café. Lott et alii (1960), em ensaios em vasos, utilizando-se de um solo de campo de Anápolis, obtiveram aumento no peso fresco da planta, bem como na porcentagem relativa de tas normais (sem folhas cloróticas), com a aplicação de enxofre, na forma de gesso, conforme sentado no Quadro 14. Os citados autores verificaram também, em ensaio de campo em um solo tura franco arenosa do grupo Bauru inferior, um aumento no teor de $S\text{-}SO_4^{2-}$ das folhas, bem c redução na porcentagem de folhas cloróticas pelo emprego de doses crescentes de gesso, confo dos do Quadro 15.

Freitas et alii (1972), num Latossolo Vermelho amarelo textura argilosa (0,9% C 5,0, 3,0 ppm $S\text{-}SO_4^{2-}$) de Matão, SP, verificaram os efeitos do emprego anual de doses de gesso

Quadro 9. Médias gerais da produção de grãos, teores de S e relações N/S da parte aérea e dos grãos de trigo Anahuac (Santa Ernestina, SP, 1985).

Tratamentos	Produção	Concentração de S		N/S	
		Parte aérea	grãos	Parte aérea	grãos
	kg/ha	--------- %	---------		
Sem enxofre	1716	0,18	0,13	17	16
Sulfato de amônio I	2121	0,23	0,17	12	13
Sulfato de amônio II	2158	0,24	0,16	12	13
K-Mag I	2076	0,25	0,15	11	15
K-Mag II	1994	0,27	0,16	11	13
Gesso I	2248	0,23	0,15	12	14
Gesso II	2292	0,23	0,17	13	14
Testemunha x fatorial (Teste F)	50,41**[2]	33,90**	24,30**	36,82**	22,29**
dms Fontes	139,08	0,03	-	-	-
dms Doses	-	-	-	-	-

1/ I e II, respectivamente 20 e 40 kg/ha de S

2/ **, significativo ao nível de 1% de probabilidade

Fonte: adaptado de Caetano (1985).

didas em duas aplicações (outubro e fevereiro) por um período de 10 anos. A utilização de 67,2 kg/ha de S resultou num aumento de 82% de café beneficiado (Quadro 16), assim como um aumento de $S\text{-}SO_4^{2-}$ no teor foliar, tendo sido encontrado o valor de 200 ppm como indicativo de adequada nutrição sulfatada (Figura 5).

Os efeitos da utilização de gesso aplicado na cova foram mostrados por Freire et alii (1984), em um ensaio instalado em um Latossolo Vermelho fase cerrado de Patrocínio, MG. Previamente, foi feita uma calagem em área total com 4,0 t/ha de calcário dolomítico e, na cova, além da adubação NPK para todos os tratamentos, testou-se doses de diversos materiais e de combinações de gesso, calcário e esterco de curral. Os resultados da primeira produção de café beneficiado são apresentados no Quadro 17, onde se verifica uma superioridade dos tratamentos que receberam gesso na cova. O efeito foi atribuído, principalmente, à movimentação do cálcio, com maior exploração do solo em profundidade pelas raízes e também, pela presença do enxofre. Guimarães et alii (1983), visando verificar os efeitos corretivos do gesso e do calcário nas camadas subsuperficiais do solo e o valor fertilizante do gesso como fornecedor de enxofre e de cálcio para o cafeeiro, instalaram um ensaio num Latossolo Roxo distrófico de São Sebastião do Paraíso, MG. As quantidades de calcário (0, 750, 1500 e 3000 kg/ha) e de gesso (0, 1290 e 2580 kg/ha) foram aplicadas à lanço antes do plantio do café. Os resultados do primeiro biênio de produção são apresentados no Quadro 18, onde se verifica que na necessidade normal de calagem (1500 kg), onde os teores de Ca já eram fornecidos em grande parte pelo calcário, a produção de café passou de 29,81 (0 kg/ha de gesso) para 41,05 sacas

Quadro 10. Efeito de fontes de doses de enxofre na produção de grãos de milho DINA-10 em dois locais do Estado de São Paulo (Jaboticabal e Bebedouro, SP, 1986).

Tratamentos[1]	Jaboticabal		Bebedouro	
		Prod. Relativa		Prod. Relativa
	kg/ha		kg/ha	
1. Sem enxofre	4877	100,0	7060	100,0
2. Sulfato de Amônio I	5564	114,1	7868	111,4
3. Sulfato de Amônio II	5531	113,4	7610	107,8
4. K-Mag I	5253	107,7	7964	112,8
5. K-Mag II	5235	107,3	7434	105,3
6. Gesso I	5614	115,1	8056	114,1
7. Gesso II	5109	104,8	7250	102,7

1/ I e II - respectivamente 20 e 40 kg/ha de S.

Fonte: adaptado de J. Gibran, informação pessoal.

(2580 kg/ha de gesso), ou seja, 11,24 sacas a mais, correspondentes basicamente a efeitos d fre. Os resultados médios de cinco anos desse experimento, segundo Guimarães*, são apresen Quadro 19, onde se observa novamente efeito altamente benéfico do gesso, como fonte de en cálcio. Nadai (1985) estudou o efeito de doses e fontes de enxofre (sulfato de amônio, K-M so) na cultura de café Mundo Novo, linhagem LCP-379-19 num solo Podzolizado Lins e Marília, Lins de ocorrência em Olímpia, SP, durante quatro anos agrícolas. Os resultados estão na F mostrando que a dose de 20 kg/ha de S promoveu, em relação à testemunha, porcentagem de aum produção de grãos de café em coco de 60,7, 33,0 e 23,0%, respectivamente, nas formas de su amônio, K-Mag e gesso.

CONCLUSÕES

Em vista do exposto na presente revisão podem ser tiradas as seguintes conclusões:

- a ocorrência de deficiência de enxofre no Brasil, limitando a produção e afetando a qual culturas é uma realidade;
- a intensidade dessa deficiência tende a aumentar devido, principalmente, à utilização de concentrados em macronutrientes primários e à exploração de solos com baixo teor de enx perfil explorado pelas raízes;
- as necessidades de enxofre das culturas anuais e perenes, no país, poderão ser satisfeita que seja fornecido, pelo menos uma vez, no programa regular de adubação, uma fonte de nit fósforo ou de potássio que contenha esse nutriente;

* GUIMARÃES, P.T.G. 1986 - Comunicação Pessoal.

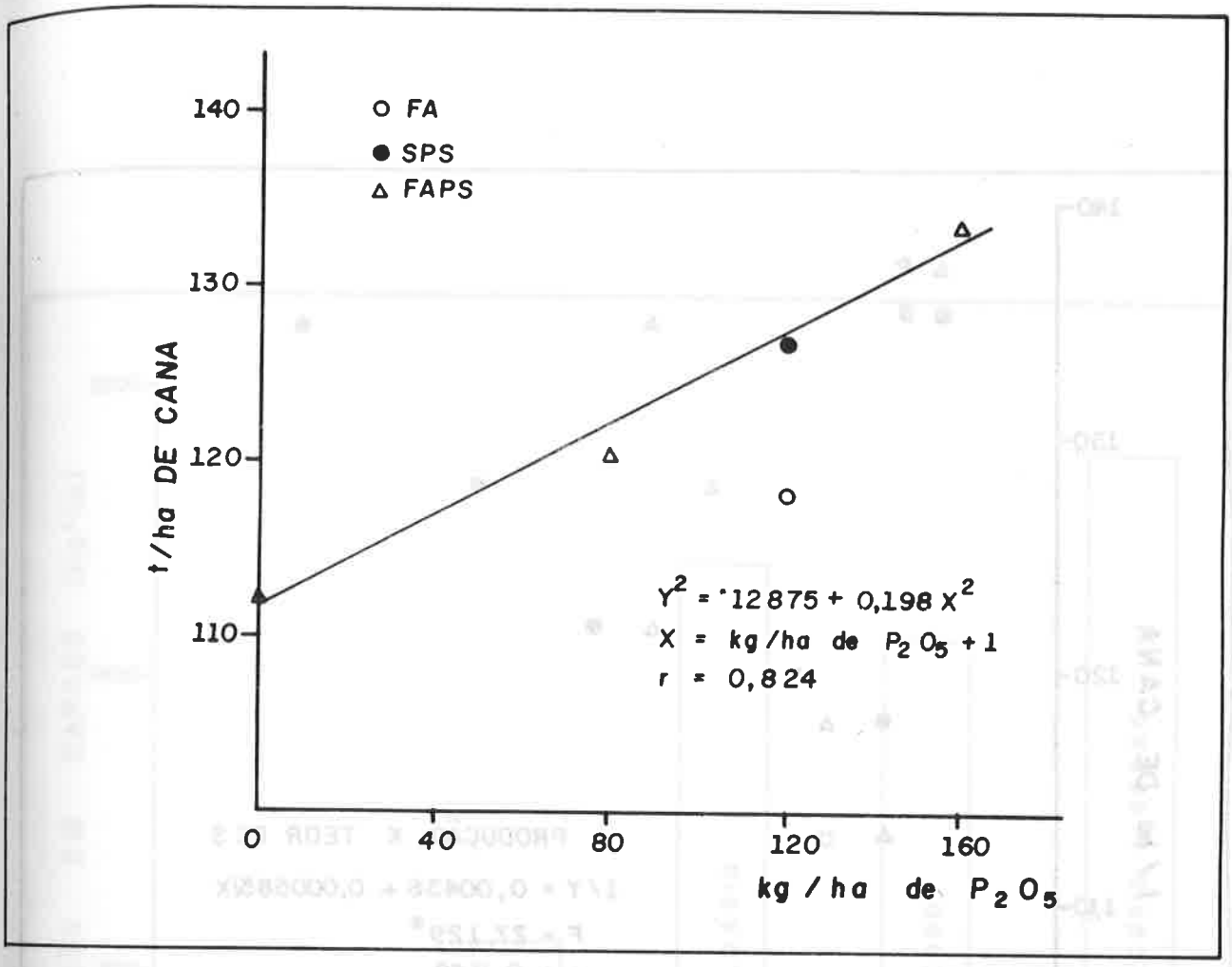


Figura 2. Efeito de fontes e doses de fósforo na cultura da cana-de-açúcar (cana-planta). Fonte: adaptado de Malavolta et alii (1982).

- dentre as fontes de enxofre atualmente disponíveis no mercado, poderá ser utilizado o sulfato de amônio (24% S e 21% N), o superfosfato simples (12% S e 20% P_2O_5), o sulfato duplo de potássio e magnésio (22% S, 22% K_2O e 18% MgO) ou um fosfato natural parcialmente acidulado (6% S e 26% P_2O_5 total), ficando a escolha na dependência do menor custo dos elementos solúveis fornecidos.
- nos casos em que nenhum dos adubos nitrogenados, fosfatados ou potássicos contenham enxofre, pode-se empregar o gesso agrícola (15-16% S) como fonte desse nutriente, em doses correspondentes ao intervalo de 20 a 40 kg/ha de S.

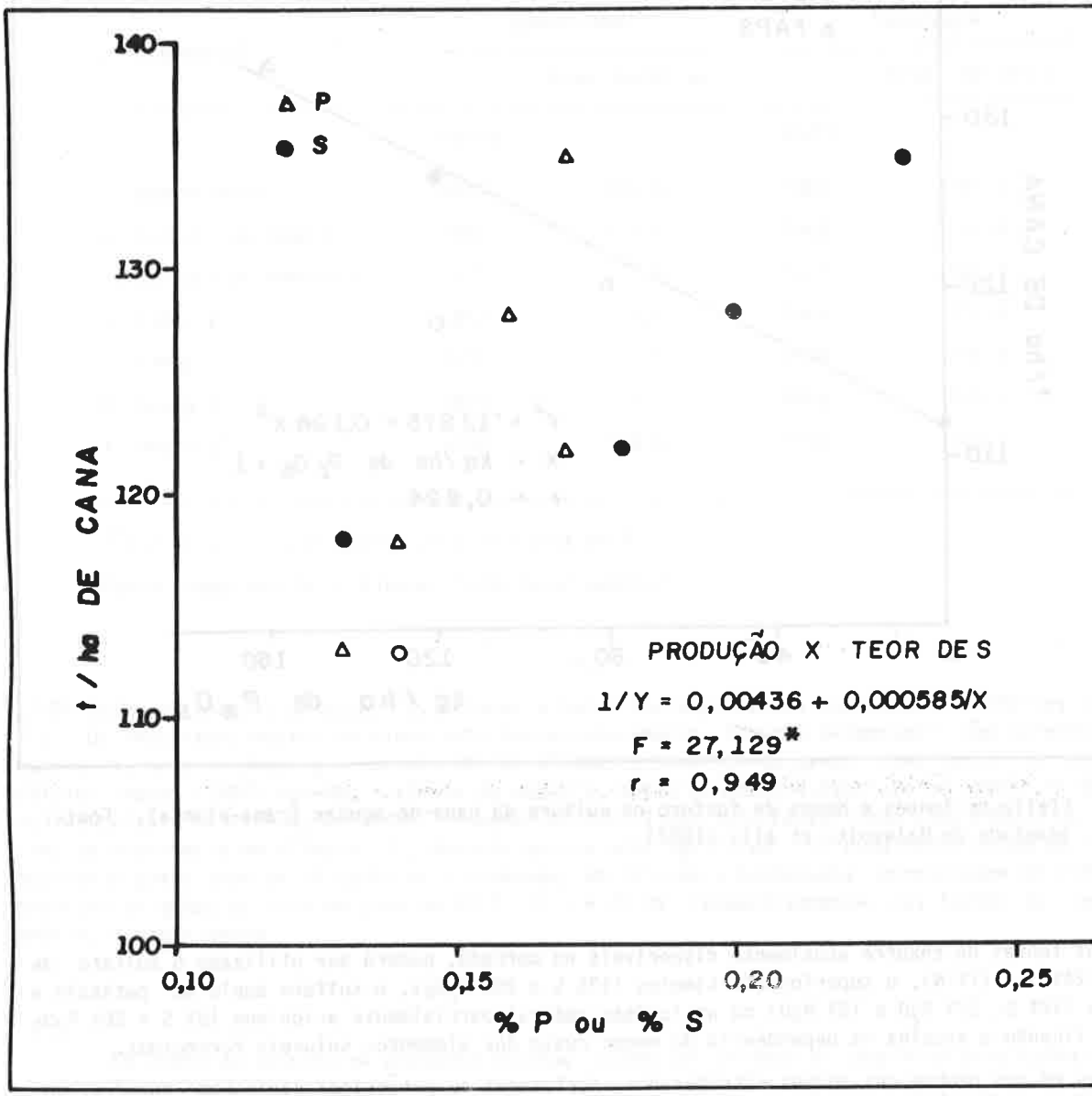


Figura 3. Relação entre teores de P e S em folhas de cana-de-açúcar e produção de colmos. adaptado de Malavolta et alii (1982).

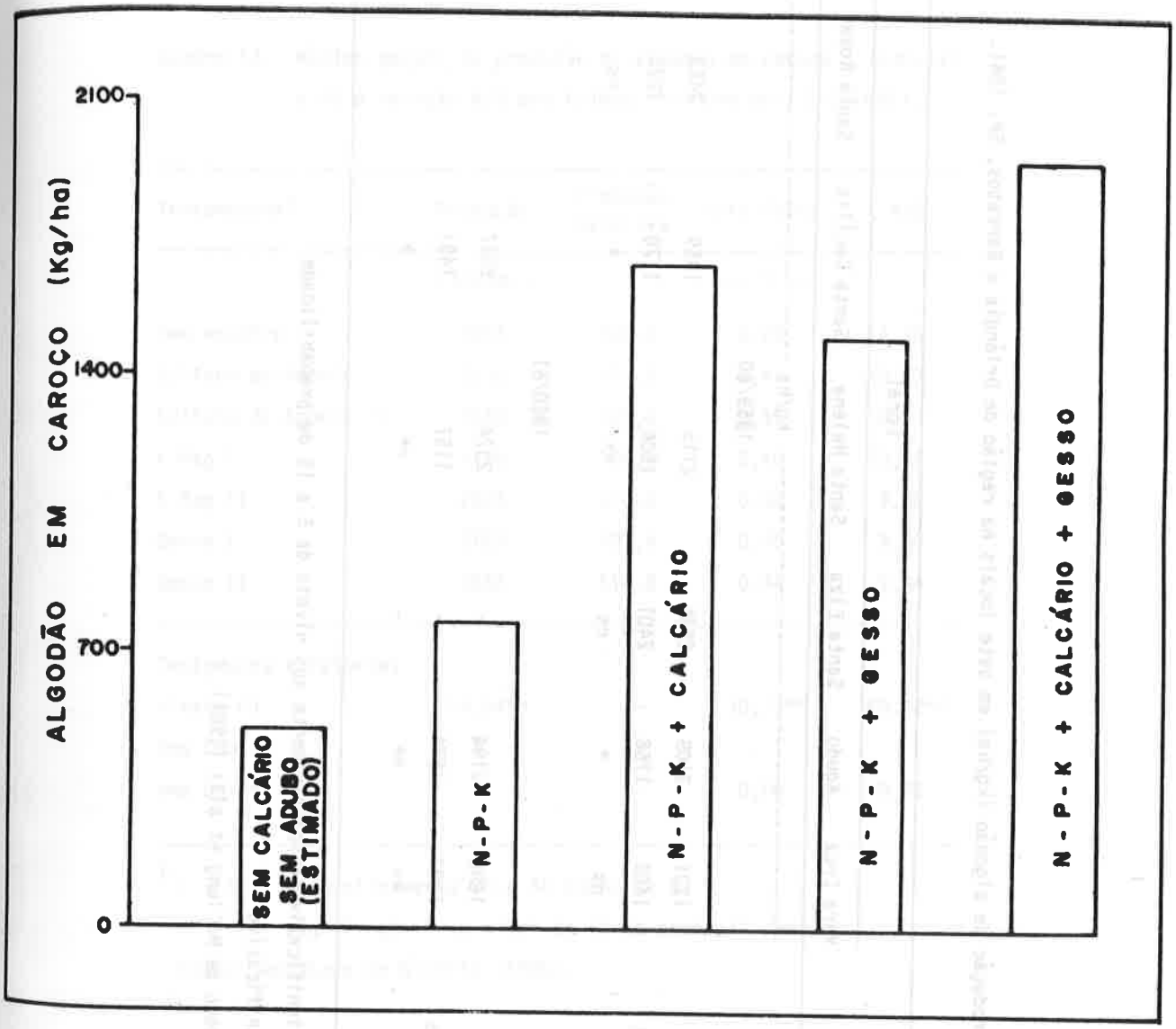


Figura 4. Produção de algodão em campo cerrado de São Paulo em tratamentos de adubação e calagem. Fonte: adaptado de Freitas et alii (1960).

Quadro 11. Produção de algodão (kg/ha) em sete locais na região de Orlândia e Barretos, SP. 1961.

Tratamento	Local						
	Vera Cruz	Agudo	Santa Elza	Santa Helena	Santa Cecília	Santa Rosa	Invernada
	kg/ha						
				1959/60			
Completo	1201	2109	2886	2115	1359	2453	1478
Ausência de S	1405	1768	2401	1506	1178	2222	1251
dms	ns	*	ns	**	*	ns	ns
				1960/61			
Completo	1898	2194	-	2324	2037	-	-
Ausência de S	1287	1574	-	1157	1491	-	-
dms	**	**	-	**	*	-	-

1/ * e ** - significativo respectivamente aos níveis de 5 e 1% de probabilidade

ns - não significativo

Fonte: adaptado de McClung et alii (1961).

Quadro 12. Médias gerais da produção de algodão em caroço (IAC-17) e %S e relação N/S das folhas (Ituverava, SP, 1985).

Tratamentos[1]	Produção	Produção Relativa	S na folha	N/S
	--kg/ha--		---- %----	
Sem enxofre	2014	100,0	0,29	14,36
Sulfato de Amônio I	2236	111,0	0,41	10,53
Sulfato de Amônio II	2328	115,6	0,49	8,53
K-Mag I	2176	108,0	0,40	10,58
K-Mag II	2228	110,6	0,46	9,08
Gesso I	2163	107,4	0,45	9,59
Gesso II	2232	110,8	0,44	9,44
Testemunha x fatorial (Teste F)	14,54**	-	30,73**	69,42**
dms Fontes	-	-	-	-
dms Doses	-	-	0,04	0,88

1/ I e II - respectivamente 20 e 40 kg/ha de S.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

Fonte: adaptado de Girotto (1985).

Quadro 13. Médias gerais da produção de grãos de colza de dois cultivos sucessivos num Latossolo Roxo de Jaboticabal, SP. 1984.

Tratamentos[1]	1º Cultivo		2º Cultivo	
	Absoluto	Relativo	Absoluto	Relativo
	(kg/ha)	(%)	(kg/ha)	(%)
Sem enxofre	942	100	480	100
Sulfato de Amônio I	1135	120	679	142
Sulfato de Amônio II	1615	171	831	173
K-Mag I	1061	113	563	117
K-Mag II	1118	119	689	144
Gesso I	1059	112	665	139
Gesso II	1103	117	574	120
Testemunha x fatorial (Teste F)	37,86**	-	13,24**	-
dms Fontes	91,16	-	119,87	-

1/ I e II (1º Cultivo) - respectivamente 30 a 60 kg/ha de S e I e II (2º Cultivo) - respectivamente 20 e 40 kg/ha de S.

Fonte: adaptado de Malavolta (1984).

Quadro 14. Efeito da aplicação de gesso no crescimento de plantas de café em solo de campo cerrado (Anápolis, GO, 1960).

Doses de S	Peso fresco médio por planta	Plantas normais
kg/ha	------- g --------	------ % ------
0	22	16
20	104	76
200	137	100

Fonte: adaptado de Lott et alii (1960).

Quadro 15. Teor de enxofre - sulfato em folhas de cafeeiro adubados com gesso. (Anápolis, GO, 1960).

Doses de S	$S-SO_4$	Folhas Cloróticas
--kg/ha--	ppm	----%----
0	126	40
10	381	11
20	724	4
40	784	3

Fonte: adaptado de Lott et alii (1960).

Quadro 16. Resposta do cafeeiro a doses de enxofre, como gesso, em kg/ha de café beneficiado, média de 8 produções (Matão, SP, 1972).

Doses de S	Produção média
-- kg/ha--	----kg/ha----
0	1345
16,8	2079
33,6	2386
67,2	2446
134,5	2214

Fonte: adaptado de Freitas et alii (1972).

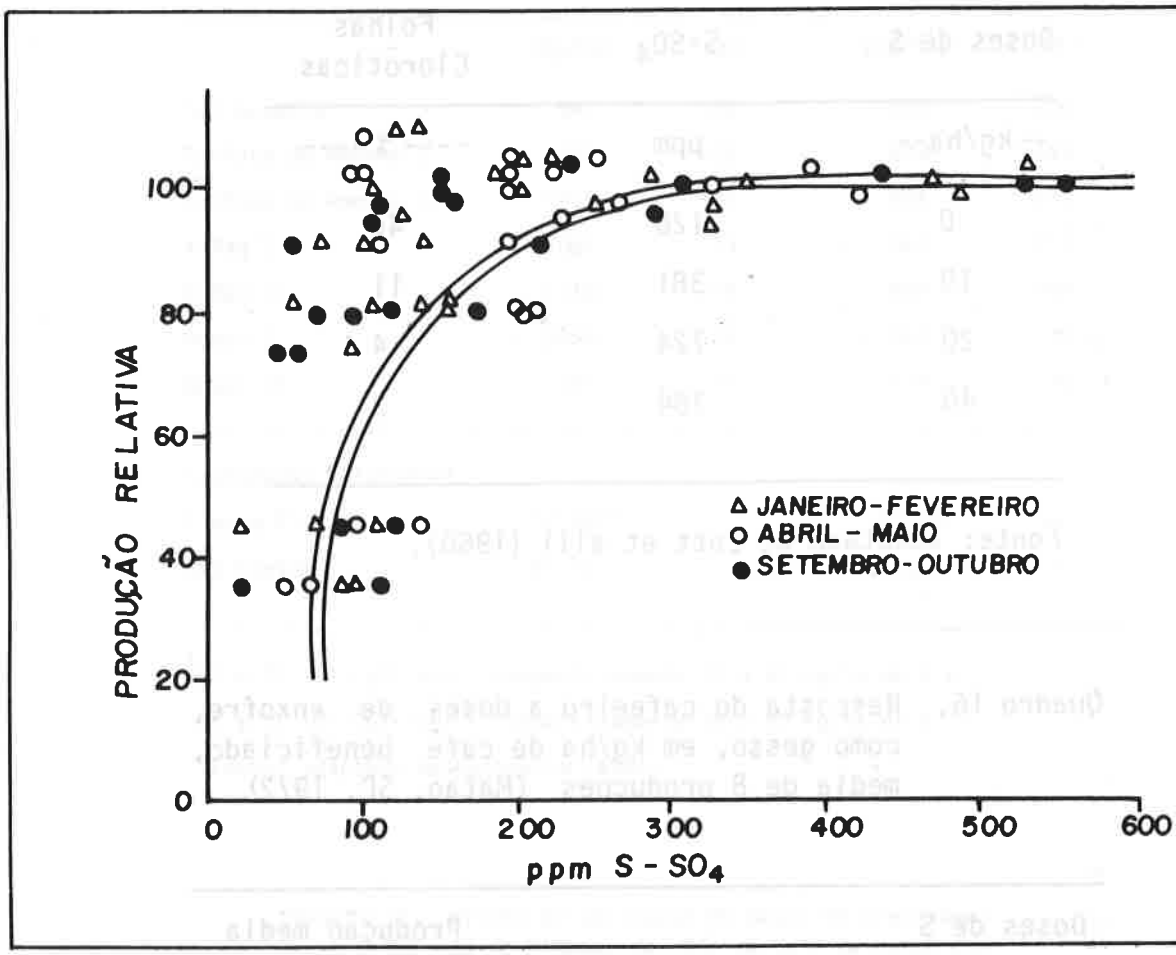


Figura 5. Relação entre teores de enxofre-sulfato das folhas e produção de cafeeiro. Fonte: adaptado de Freitas et alii (1972).

Quadro 17. Efeito do gesso, calcário, esterco de curral aplicados na cova de plantio na produção do cafeeiro (kg de café beneficiado/ha) (Patrocínio, MG, 1984).

Tratamentos	Dose	Produção
	(kg/cova)	(kg/ha)
1. Calagem em área total	-	476
2. (1) + Esterco de curral (EC)	5,00	401
3. (1) + Esterco de curral (EC)	10,00	603
4. (1) + Gesso (GE)	0,50	1006
5. (1) + Gesso (GE)	1,00	968
6. (1) + Calcário dol. (CD)	0,50	468
7. (1) + Calcário dol. (CD)	1,00	352
8. (1) + GE + CD	0,25 + 0,25	991
9. (1) + GE + CD	0,50 + 0,50	958
10. (1) + GE + EC	0,25 + 2,50	732
11. (1) + GE + EC	0,50 + 5,00	1036
12. (1) + GE + FC + CD	0,25 + 2,50 + 0,25	1152
13. (1) + GE + EC + CD	0,50 + 5,00 + 0,50	1218

Fonte: adaptado de Freitas et alii (1984).

Quadro 18. Produções médias obtidas no segundo e terceiro anos após o plantio, em sacas/ha de café beneficiado (São Sebastião do Paraíso, MG, 1983).

Dose de Gesso	Calcário magnesiano (kg/ha)				Média
	0	750	1500	3000	
kg/ha	sacas/ha				
0	16,71	31,09	29,81	29,93	26,88
1290	36,79	36,30	37,27	39,81	37,52
2580	32,70	39,15	41,05	40,63	38,38
Média	28,73	35,51	36,04	36,79	

Fonte: adaptado de Guimarães et alii (1983).

Quadro 19. Efeito do gesso e do calcário na produção de sacas beneficiadas/ha de café e
tião do Paraíso, MG. Média de 5 anos. 1986.

Dose de Gesso	Calcário (kg/ha)			
	0	750	1500	3000
kg/ha	sacas/ha			
0	26	37	31	34
1290	42	40	43	46
2580	43	41	48	43
Efeito do Gesso**	17	4	17	12

1/ Sacas de café a mais, devido ao gesso ou ao calcário.

Fonte: adaptado de P.T.C. Guimarães, Comunicação Pessoal.

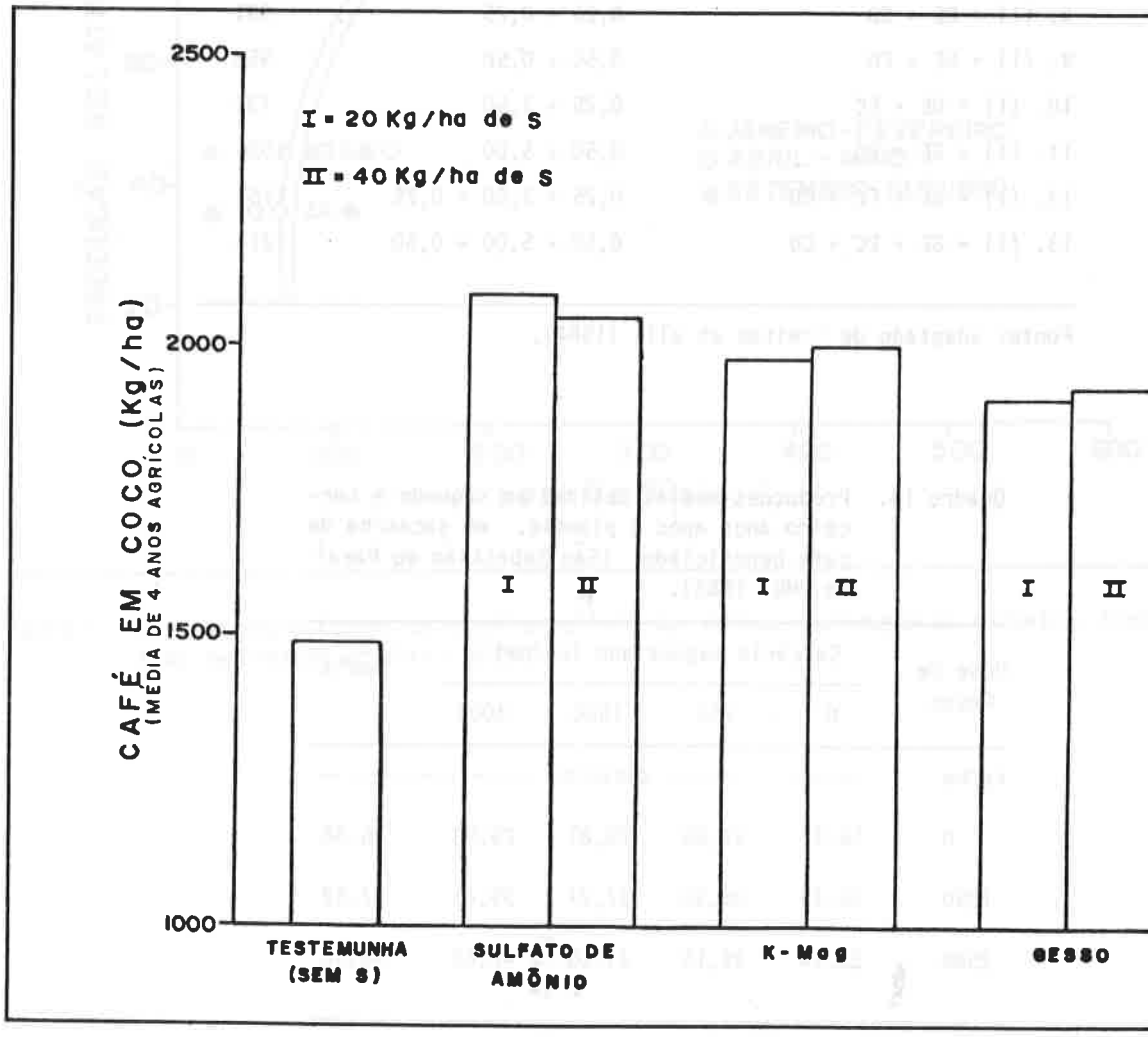


Figura 6. Efeito de fontes e doses de enxofre na produção de café em coco (média de qu
agrícolas). Fonte: adaptado de Nadai (1985).

LITERATURA CITADA

ALLAWAY, W.H. & THOMPSON, J.F. Sulfur in the nutrition of plants and animals. Soil Sci., 101(4): 240-247, 1966.

BEATON, J.D. Sulphur requirements of cereals, tree fruits, vegetables and other crops. Soil Sci., 101(4):267-282, 1966.

CAETANO, A.R. Efeitos de fontes e doses de enxofre na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) cv. Anahuac. Jaboticabal, UNESP. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal/ UNESP. 1985. 45p. (Trabalho de Graduação em Agronomia).

CAMARGO, C.E. de; VEIGA, A.A.; PESSINI, A.L. & MONTEIRO, D.A. Adubação do trigo. VII - Experiências com N, P, K e S em diferentes tipos de solos do Estado de São Paulo. Bragantia, 34(18): 273-286, 1975.

CAMPOS, R. de. Efeitos de fontes e doses de enxofre na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill). Jaboticabal, UNESP. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal/UNESP. 1985. 87p. (Trabalho de Graduação em Agronomia).

COCHARANE, T.T. Avaliação dos ecossistemas de savana utilizados na América Tropical para a produção de gado de corte. In: TERGAS, L.E.; SANCHES, P.A. & SERRÃO, E.A.S. Produção de pastagens em solos ácidos dos trópicos. CIAT/EMBRAPA, Brasília, Editerra Editorial. 1982. p.17-28.

COLEMAN, R. The importance of sulfur as a plant nutrient in world crop production. Soil Sci., 101(4):230-239, 1966.

FREIRE, F.M.; GUIMARÃES, P.T.C.; VENEGAS, V.H. & MELLES, C.C.A. Calagem, gessagem e adubação do cafeeiro. Belo Horizonte, EPAMIG/ESAL/UFMG/UFV. 1984. 20p. (Boletim Técnico, s/nº).

FREITAS, L.M.M.; GOMES, F.P. & LOTT, W.L. Effects of sulphur fertilizer on coffee. The Sulphur Inst. J. Summer, 9-12, 1972.

FREITAS, L.M.M.; McCLUNG, A.C. & LOTT, W.L. Experimentos de adubação em dois solos de cerrado. New York, IBEC-Research. Institute, 1960. 20p. (Boletim, 21).

GIROTTO, C.R. Efeitos de fontes e doses de enxofre na cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.) cultivar IAC-17. Jaboticabal UNESP/FCAV. 1985. 47p. (Trabalho de Graduação em Agronomia).

GUIMARÃES, P.T.G.; MELLES, C.C.A.; FREIRE, F.M. & PONTE, A.M. Influência do gesso e do calcário como corretivos e fornecedores de cálcio e enxofre para o cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 10, Poços de Caldas, MG, Anais... Rio de Janeiro, MIC/IBC/CERCA, 1983. p.164-5.

HIROCE, R. & GALLO, J.R. Efeito do enxofre na produção de soja. Bragantia, 31:XI-XII, 1972. (nota 3).

JORDAN, H.V. & ENSMINGER, L.E. The role of sulfur in soil fertility. Adv. Agron., 10:407-434, 1958.

LOTT, W.L.; McCLUNG, A.C. & MEDCALF, J.C. Deficiência de enxofre no cafeeiro. New York, IBEC. Res. Inst. 1960. 40p. (Boletim, 22).

McCLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.N. de & LOTT, W.L. Analysis of Brazilian soils in relation to plant responses to sulfur. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23:221-224, 1959a.

McCLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.M. & LOTT, W.L. Estudos sobre o enxofre em solos de São Paulo York, IBEC Research Institute, 1959b. 31p. (Boletim 17).

McCLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.M.; MIKKELSEN, D.S. & LOTT, W.L. Cotton fertilization in campo cerrado soils state of S. Paulo, Brazil. New York, IBEC Research Institute, 1961. 28p (Bulletim, 27).

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Agronômica Ceres, 19 251p.

MALAVOLTA, E. Desordens nutricionais no cerrado. Curso de Atualização em Tecnologia e Ma Solos sob Cerrado. Goiânia. MEC/UFGO/Escola de Agronomia e Veterinária, 1981, 60p.

MALAVOLTA, E. coord. Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econôm I- Capim Colonião. II- Colza. III- Sorgo Sacarino. São Paulo, SN Centro de Pesquisa Promoção de Sulfato de Amônio, 1984. 60p. (Boletim Técnico, 3).

MALAVOLTA, E.; PEXE, C.A.; RUIVO, F.P.; CARVALHO, J.G. de; GUIMARÃES, P.G. & VITTI, G.C. tamento de um fosfato natural parcialmente solubilizado pela cultura de cana-de-açúcar. I- Cana-Planta. Anais E.S.A. "Luiz de Queiroz", 39, 563-577, 1982.

MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A. & BELLINAZZI Jr., R. O enxofre na adubação. Campinas Coordenadoria de Assistência Técnica Integral CATI, 1976. 11p. (mimeografado).

MASCARENHAS, H.A.A.; MIRANDA, M.A.C.; TISSELLI FILHO, O. Contribuição do Instituto Agronôm evolução da cultura da soja no Estado de São Paulo. Campinas. Instituto Agronômico. 22p. (Circular, 32).

MIKKELSEN, D.S.; FREITAS, L.M.M. & McCLUNG, A.C. Efeitos da calagem e gessagem na produçã godão, milho e soja em três solos de campo cerrado. New York, Instituto de Pesquisas I 1963. 31p. (Boletim, 29).

MILLER, D.S. & DONOSCO, G. Relation between the sulfur x nitrogen and the protein value o J. Sci. Food. Agr., 14:345-349, 1963.

MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S. & MASCARENHAS, H.A.A. Adubação da soja. III- Efeito do NPK, d e do micronutrientes em solo do arenito Botucatu, com vegetação de cerrado. Bragantia, 65-71, 1964.

NADAI, O.E. Efeito de fontes e doses de enxofre na cultura cafeeira (*Caffea arabica* L.) Jaboticabal, UNESP. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal/UNESP. 75p. (Trabalho de Graduação em Agronomia).

SANCHES, P.A. & SALINAS, J.G. Low-input tecnhology for managing oxisols and ultisols in T America. Adv. Agron., 34:279-406, 1981.

SILVA, N.M.; RODRIGUES FILHO, F.S.O.; SABINO, N.P. & HIROCE, R. Competição de misturas de contendo ou não enxofre, em latossolo roxo de cerrado cultivado com algodoeiro. In: RE NACIONAL DO ALGODÃO, 1, Londrina, PR, 1980. Resumos dos trabalhos. 1980. p.93.

SOARES, E. & IGUE, T. Estudo comparativo entre fertilizantes fornecedores de enxofre. Br 35:5-10, 1976. (nota, 2).

TANAKA, R.T.; PONTE, A.M. da; MORAIS, O.P. de & CASTILLO, J.A.B. Influência do gesso na f dade dos solos de cerrado para duas cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) de sequeiro. tados de 1978/79 e 1979/80. Programa arroz; relatórios 78/80. Belo Horizonte, 1983. p.199-214.

VITTI, G.C.; FORNASIERI FILHO, D.; FERREIRA, M.E.; RAGAZZI, D. & LIEM, T.H. Efeito de doses de gesso na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Rev. Agric., 57(3):119-132, 1982.

VITTI, G.C. & NOVAES, N.J. Adubação com enxofre. In: Simpósio sobre Calagem e Adubação de Pastagens, 1, (Nova Odessa, SP, 21 a 25/10/85) POTAFÓS. 1986. 191-231p.

WANG, C.H.; LIEM, T.H. & MIKKELSEN, D.S. Sulfur deficiency - A limiting factor in rice production in the lower Amazon Basin. I- Development os sulfur deficiency as a limiting factor for rice production. New York, NY, IRI Res. Inst. 1976. 46p. (Boletim, 47).

WRIGLEY, C.W.; DU CROS, D.L.; MOSS, H.J.; RANDALL, P.J.; PULLINGTON, J.G. & KASARDA, D.D. Effect of sulphur deficiency on wheat quality. Sulphur in Agriculture, 8:2-7, 1984.

CAPÍTULO 4

RESPOSTAS DAS PASTAGENS A APLICAÇÃO DE ENXOFRE

Joaquim Carlos Werner[1]
Francisco Antonio Monteiro[1]

RESUMO

Boa parte das plantas desenvolvidas em solos da América Tropical é deficiente em enxofre, sendo a deficiência mais comum nos solos arenosos, com baixos teores de matéria orgânica. A adubação de pastagens nesta região é, ainda, prática restrita e, pastagens exclusivas de gramíneas, que não recebam adubações com N e P, mostram pouca ou nenhuma resposta ao S, pois a deficiência daqueles elementos é, normalmente mais aguda e crítica. Para pastagens consorciadas, entretanto, o enxofre é de vital importância, devido ao papel que exerce no processo de fixação de N pelas leguminosas, além da sua função na transformação do N não protéico (quer o absorvido do solo, quer o fixado da atmosfera via sistema simbiótico) em proteína. Resultados experimentais de adubação com S em solos do Brasil Central, apesar de limitados, tem mostrado a necessidade da sua inclusão na adubação de pastagens consorciadas, a fim de assegurar adequada fixação de N pela leguminosa, permanência desta na consorciação e a conseqüente boa produtividade da pastagem. Teores de S na planta, adequados ao seu normal crescimento podem não coincidir com aqueles que devem existir na forragem, para atender as exigências nutricionais dos bovinos, sendo, também, importante se considerar, em ambos os casos, a relação N:S na planta.

SUMMARY

FORAGE RESPONSES TO SULFUR FERTILIZATION

Sulfur deficiency is widespread in the tropical America, and this deficiency is frequent in areas with sandy soils, low in organic matter. Forage fertilization has not been a common practice in that region, where grasses are the dominating species in most pastures. When fertilizers are used in such pastures, responses to S applications only can be observed after N and P (usually deficient nutrients in the region) have been supplied. However adequate S supply has proved to be essential to mixed (legume + grass) pastures. This nutrient is required both in the N_2-fixation process and in the N assimilation into protein. Research has shown that soils in Central Brazil should receive S fertilizers to have effective N_2-fixing legumes maintained in the improved (mixed) pastures. Adequate S percentage for the forage growth may not meet the grazing cattle requirements in S. Also, the N:S ratio should be considered for both forage and animal nutrition.

---

[1] Engenheiros Agrônomos, PhD (Universidade da Flórida), Pesquisadores da Seção de Nutrição de Plantas Forrageiras do Instituto de Zootecnia, Rua Heitor Penteado, 56 - Nova Odessa, SP - CEP 13.460.

INTRODUÇÃO

O enxofre, constituinte dos aminoácidos cistina, cisteina e metionina, de proteínas -enzimas que ocorrem nas plantas, é absorvido do solo, pelas raízes, predominantemente na fo sulfato (Epstein, 1975). Todavia, a maior parte do enxofre contido nos solos tropicais não zados está na forma orgânica, e generalizadas deficiências e respostas a enxofre têm sido (Sanches 1976). Segundo Sanches & Salinas (1981), a deficiência de enxofre atinge 50% da tal dos solos da América Tropical. Malavolta (1953) e McClung et alii (1959), constataram reservas de enxofre na maioria dos solos do Estado de São Paulo são extremamente baixas e malmente, nos solos arenosos com baixos teores de matéria orgânica, as deficiências são ma muns. Segundo Malavolta (1976), a carência desse elemento para as plantas tem-se mostrado qüência crescente devido à exploração de novas áreas onde a reserva no solo é aparentemente (como nos cerrados) e ao uso de adubos concentrados que não contém enxofre.

As leguminosas forrageiras exigem maiores quantidades de S do que os capins, para o feito desenvolvimento. Hewitt (1958) salienta que o enxofre é requerido para a conversão teína, do nitrogênio não protéico, quer o absorvido do solo, quer o fixado da atmosfera via ma simbiótico. Robson (1978) menciona que, embora o S seja um dos componentes da nitrogena querimento desse elemento para o metabolismo do N é maior fora do que dentro do nódulo. Acr também, que a aplicação de doses acima daquelas requeridas para o crescimento máximo da pla pedeira aumenta a concentração de N nos seus tecidos. Andrew (1962) e Kerridge (1978) cita lhos de diversos autores, que mostram o efeito benéfico de S no crescimento da planta e na de N nas leguminosas. Estes autores acrescentam que a extensão na qual a deficiência de S correr em solos ácidos altamente intemperizados não foi ainda bem definida devido, em parte de superfosfato simples como fonte de fósforo, que, ao mesmo tempo supre enxofre.

Para as gramíneas forrageiras, o enxofre tem, também, grande importância devido à su no metabolismo do N e síntese das proteínas. Entretanto, respostas de pastagens exclusivas míneas à adubação com S não serão fenômeno comum, a menos que o suprimento de nitrogênio e seja adequado (McClung et alii, 1959 e Werner, 1984).

A adubação de pastagens na América Tropical é, ainda, prática incipiente. Entretan Brasil, já se nota grande interesse dos pecuaristas em adotar esta tecnologia. A inclusão fonte de S na formulação desta adubação terá, forçosamente, que ser considerada a fim de ev a deficiência de enxofre restrinja os resultados positivos que, por certo, advirão desta pr

DIAGNÓSTICO DAS NECESSIDADES DE ENXOFRE EM PLANTAS FORRAGEIRAS

A quantidade de dados relativos à diagnose da deficiência de enxofre em plantas é mente reduzida, quando comparada com a de outros nutrientes. Um dos grandes fatores a co para essa relativa escassez é a metodologia de análise desse elemento mineral, pois os méto laboratório para determinação de enxofre são, em geral, laboriosos, tediosos e demorados.

Os parâmetros mais comuns para o diagnóstico do suprimento de enxofre em plantas, at análise de tecidos, têm empregado a concentração de enxofre total, a de enxofre na forma de to, bem como a relação N:S (Metson, 1973).

A utilização da porcentagem de enxofre total se fundamenta no critério da concentra tica de nutrientes, tradicionalmente usado em diagnose de deficiências de elementos minerai tas. Em termos práticos, tem-se considerado como concentração crítica aquela necessária forrageiras apresentarem de 90 a 100% de suas máximas produções. Seguindo essa metodologi & Siregar (1983) apresentaram dados relativos às gramíneas *Panicum maximum* var. trichoglum *chrus ciliaris, Digitaria decumbens, Paspalum dilatatum, Chloris gayana, Setaria sphacelata nisetum clandestinum*, e sugeriram concentrações de enxofre total nessas plantas da ordem de 0,11% como níveis críticos desse elemento.

Após desenvolver experimentos em casa de vegetação e no campo, Andrew (1977) sugeri críticos de enxofre na parte aérea de uma série de leguminosas forrageiras amostradas imed antes do florescimento. Esses dados são mostrados no Quadro 1.

Quadro 1. Níveis críticos de enxofre total na parte aérea de leguminosas forrageiras.

Leguminosas	S (%)
Stylosantes humilis	0,14
Lotononis bainesii	0,15
Macroptilium atropurpureum (Siratro)	0,15
Macroptilium lathyroides	0,17
Desmodium intortum (Greenleaf)	0,17
Desmodium uncinatum (Silverleaf)	0,17
Neonotonia wightii (Soja perene)	0,17
Trifolium semipilosum	0,17
Trifolium repens (Trevo branco)	0,18
Medicago sativa (Alfafa)	0,20

Fonte: adaptado de Andrew (1977).

O enxofre presente na planta em quantidade excedente à requerida na síntese de proteínas acumula-se no tecido vegetal, especialmente na forma de sulfato. Sob essa consideração, o emprego da concentração de sulfato na planta foi proposta como um indicador da suficiência ou deficiência do nutriente para a planta. Segundo esse critério, a ocorrência de concentrações acima de um determinado nível de sulfato, para cada espécie vegetal, sugere a suficiência nutricional em enxofre.

Jones (1963) e Jones & Martin (1964) realizaram experimentos com gramíneas anuais na Califórnia e relataram concentrações de sulfato nessas plantas da ordem de 100 ppm, em áreas onde não aplicaram enxofre. Por outro lado, áreas fertilizadas com enxofre tiveram plantas contendo de 200 a 2.100 ppm de sulfato. Esses autores concluiram que 200 ppm de sulfato naquelas gramíneas, poderia ser adotado como um limite para a deficiência de enxofre.

Trabalhos com algumas espécies de trevo (branco, subterrâneo e alsike) têm revelado que as concentrações críticas de sulfato na parte aérea dessas leguminosas estariam entre 100 e 170 ppm (Jones, 1962 e Walker & Bentley, 1961).

Dados revelando concentrações críticas de sulfato para as forrageiras tropicais são muito escassos na literatura. Contudo, observando-se os resultados apresentados por Andrew (1977), pode-se verificar que a ocorrência de concentrações de sulfato menores do que 300 ppm em algumas leguminosas forragerias tropicais (entre as quais, soja perene, desmódio e siratro), em geral, estavam associadas à concentrações de enxofre total consideradas insuficientes para essas forrageiras.

Um problema para o emprego das concentrações de enxofre total e de enxofre-sulfato como dados absolutos para a diagnose de enxofre em plantas forrageiras está no fato desses índices sofrerem variações de acordo com a parte amostrada na planta e também com a idade da mesma. Robinson & Jones (1972) trabalharam com *Stylosanthes humilis* e demonstraram claramente as diferenças nos teores de enxofre total entre as partes da planta ao considerarem a parte aérea como um todo, somente as folhas, somente os caules, as inflorescências e as raízes separadamente. Também, após amostrarem várias partes do trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum*) em três estágios de maturação (aos 33, 61 e 133 dias após semeadura), Spencer et alii (1977) concluiram que tanto a porcentagem de enxofre total como a concentração de sulfato diferiam expressivamente entre as diversas partes consideradas e decresciam acentuadamente com o avanço da idade da planta.

Dijkshoorn et alii (1960) observaram que as proteínas vegetais apresentam uma proporção constante entre N e S. Posteriormente, Dijkshoorn & Van Wijk (1967) revisaram uma série de dados publicados e encontraram, em condições de normal suprimento desses dois nutrientes, proporções aproximadas entre eles de 17,5:1 para leguminosas e de 13,6:1 para gramíneas. Relações mais largas do que essas devem ocorrer nos casos de deficiência de enxofre.

Tendo-se em conta que a relação N:S tem mostrado pequena ou nenhuma variação com a idade da

planta ou com a parte amostrada na planta, esse índice tem sido recomendado para efetivo diagnose de enxofre em forrageiras (McNaught, 1970; Metson, 1973; Smith & Siregar, 1983 et alii, 1977).

McNaught (1970), na Nova Zelândia, propôs a utilização de uma relação N:S de 15:1 mo faixa crítica para ryegrass perene (*Lolium perenne*). Por sua vez, Woodhouse (1969) com grama bermuda (*Cynodon dactylon*) durante uma série de anos no campo e sugeriu como va quados à nutrição do capim em enxofre, relações N:S entre 12:1 e 17:1.

Para o trevo branco (*Trifolium repens*), McNaught (1970) sugeriu a adoção da relaçã faixa de 17:1 a 19:1 como crítica, enquanto Monteiro (1986) obteve valores da ordem de 16 para essa leguminosa cultivada em solo fertilizado com enxofre e valores maiores que 19:1 a leguminosa crescia em solo com inadequado suprimento desse nutriente.

Monteiro et alii (1983) cultivaram o siratro em Areia Quartzosa de cerrado, sob ci de gesso, e observaram que as mais altas produções de matéria seca, porcentagens de nitro massa nodular ocorriam quando essa leguminosa apresentava 0,17% S e uma relação N:S igual tretanto, as plantas desenvolvidas naquele solo sem receber qualquer aplicação de enxofre 0,07% S e uma relação N:S de 40 (Quadros 2 e 3).

Quadro 2. Produção de matéria seca, quantidade total de nitrogênio e peso de nódulos do tro cultivado em Areia Quartzosa, sob cinco níveis de enxofre (Brotas, SP).

Níveis de S (kg/ha)	M.S. (g/vaso)	N Total (mg/vaso)
0	10,14	276
30	11,31	372
60	12,38	403
90	12,28	406
120	11,48	392

Fonte: adaptado de Monteiro et alii (1983).

Quadro 3. Porcentagem de nitrogênio, enxofre e relação nitrogênio: enxofre na parte aére tro cultivado em Areia Quartzosa (Brotas, SP).

Níveis de S (kg/ha)	Porcentagem N	Porcentagem S
0	2,72	0,07
30	3,29	0,16
60	3,26	0,16
90	3,32	0,17
120	3,42	0,19

Fonte: adaptado de Monteiro et alii (1983).

Trabalhando com *Stylosanthes guianensis* estabelecido num solo basáltico, Miller & Jones (1977) constataram que as produções de matéria seca acima de 90% das máximas coincidiam com a verificação de relação N:S menores do que 17,5:1 na parte aérea da leguminosa.

Rayment (1983) conduziu experimentos aplicando enxofre em áreas contendo siratro associado à gramínea, tanto em solos tendo plantas comprovadamente deficientes como em não-dificientes nesse nutriente. Nos solos das não-deficientes, o siratro coletado nas parcelas sem adubação com enxofre exibia uma relação N:S de 13,7:1, enquanto na leguminosa amostrada em idêntico tratamento posicionado em solos que tinham plantas carentes em enxofre aquela relação era de 19,4:1.

Embora mais dados necessitem ser providos pela pesquisa, no momento já é possível de se detectar, através da análise de tecidos vegetais, áreas em que as plantas forrageiras sofram limitação no suprimento de enxofre para o normal desenvolvimento.

O ENXOFRE E A RELAÇÃO N:S NA NUTRIÇÃO ANIMAL

O enxofre é um elemento importante no metabolismo dos mamíferos, porque os aminoácidos sulfurados são parte intrínseca da maioria das proteínas dos tecidos, além de que sulfato e seus ésteres são encontrados em muitos tecidos e metabólitos. Os aminoácidos sulfurados metionina, cistina e cisteína, não podem ser sintetizados a partir dos S inorgânico, nos tecidos dos mamíferos. Cisteína pode provir dos alimentos da dieta, ou ser derivado da metionina que, por sua vez, deve ser ingerida pré-formada, ou ser sintetizada pela microflora intestinal (Siebert & Vijchulata, 1983). Segundo Shirley & Mariante (1976), o enxofre ocorre nos tecidos animais, em várias formas de sulfato, como por exemplo, o sulfato de condroitina, um importante componente de cartilagens, ossos, tendões e paredes de vasos sanguíneos. A heparina, um anticoagulante sanguíneo, é um éster do ácido sulfúrico com um polissacarídeo.

Siebert & Vijchulata (1983) afirmam que qualquer herbívoro alimentando-se naturalmente nos trópicos, pode sofrer de deficiência de S quando a proteína da planta está em níveis baixos. Embora os ruminantes possam se beneficiar da síntese ruminal de metionina, eles também podem ressentir-se da deficiência de enxofre quando proteína, ou nitrogênio e enxofre estão limitantes.

Tisdale (1977) menciona que, onde os solos são pobres em enxofre, além das respostas no aumento de produção devido à adubação com o elemento, ocorrem melhorias na qualidade, digestibilidade e consumo da forragem, com conseqüente aumento da performance dos ruminantes. Este autor relaciona os seguintes pontos em que a qualidade da forragem é melhorada:

a) Aumento na concentração de vitamina A em alfafa;
b) Aumento na concentração de clorofila em trevo vermelho;
c) Aumento na concentração de proteína das leguminosas e capins;
d) Decréscimo na relação N:S das forragens;
e) Decréscimo na concentração de nitrato e de nitrogênio não protéico dos capins;
f) Melhoria na qualidade da proteína em alfafa.

Vitti & Novaes (1986) citam que o enxofre faz parte de compostos que transmitem sabores e odores, os quais são importantes na aceitabilidade da forragem pelos animais.

Baseado em diversos trabalhos da literatura, Tisdale (1977) sugere que, quando os níveis de S na forragem estiverem ao redor de 0,20 - 0,25% ou mais e a proporção N:S estiver entre 10:1 a 12:1, serão considerados adequados aos animais e não haverá melhoria no desempenho animal com suplementação de S. Se o nível de S na dieta estiver inadequado (0,15-0,18% ou menos de S e proporção N:S maior que 13:1), incrementos no desempenho animal serão observados com suplementação de S. Este autor menciona, também, que um trabalho realizado em Queensland, na Austrália, mostrou ser mais indicado fertilizar pastos com enxofre do que suplementar os animais, em virtude, provavelmente do aumento da palatabilidade da forragem devido à adubação com S, resultando num maior consumo de forragem.

Segundo ainda Tisdale (1977), como regra, a maioria das plantas tem crescimento adequado quando a relação N:S da forragem está entre 14:1 e 16:1. Contudo os ruminantes parecem ter melhor desempenho quando a relação N:S em sua dieta está entre 10:1 e 12:1. Se a pretensão for atingir um ótimo na relação N:S na forragem para atender as exigências do animal, dever-se-á adubar a pastagem

com uma quantidade de S maior que a necessária para o crescimento ótimo da planta forragei dale, 1977).

Ruminantes alimentados com dietas baixas em proteína, ou baixas em enxofre e larga N:S podem sofrer deficiência de enxofre (Siebert & Vijchulata, 1983). Segundo estes autore gens com baixos teores de proteína são usualmente pobres em qualidade, isto é, são freqü tão fibrosas e de digestibilidade tão baixa que os animais são capazes de consumi-las apen tidades limitadas. Isto pode ser constatado nos dados apresentados no Quadro 4, adaptado & Vijchulata (1983), onde o capim sozinho ou complementado com uréia apresentou baixo cons gestibilidade, melhorando estas características quando complementado com alfafa, que elev vel de enxofre e proteína da dieta.

Quadro 4. Digestão e consumo de alimentos, por carneiros, sob várias dietas de enxofre.

	Dieta			
	capim[a]	capim + 20% alfafa	capim + 40% alfafa	capim +
N% na dieta	0,68	1,19	1,66	2,36
S% na dieta	0,10	0,15	0,19	0,10
Relação N:S	6,8:1	7,9:1	8,7:1	23,6:
Digestibilidade (%)	34	44	48	34
Consumo de M.S. (g/dia)	410	733	807	401

[a]O capim utilizado foi o speargrass.

Fonte: adaptado de Siebert & Vijchulata (1983).

Gallo et alii (1974), em levantamento da composição mineral de forrageiras do Estad Paulo, observaram que de 249 amostras (sendo 122 de gramíneas e 127 de leguminosas), 33% das analisadas apresentavam teores de S abaixo de 0,1%, considerado pelo NRC (1970) como nivel para mantença. Cerca de 52% das gramíneas continham teores menores que 0,1%. Isto mostra sidade de correção da deficiência de enxofre destas pastagens a fim de que se melhorem os S na forragem, para não haver limitação no desempenho dos animais que delas se utilizam.

RESPOSTAS DAS PLANTAS FORRAGEIRAS À APLICAÇÃO DE ENXOFRE

Vitti & Novaes (1986), em revisão bastante completa sobre adubação com enxofre ap no Simpósio sobre Calagem e Adubação de Pastagens, realizado em Nova Odessa (SP), em ou 1985, relatam que, atualmente, pesquisas mostrando respostas de plantas forrageiras à adu enxofre já são inúmeras, não só em nosso país, como também em várias regiões do mundo.

No passado, entretanto, a importância da deficiência de enxofre em muitos solos e p ficou obscurecida, devido ao uso de superfosfato simples como fonte de fósforo que, ao mesm supria enxofre (Andrew, 1962; Farina et alii, 1972; Kerridge, 1978; Weir, 1970 e William Trabalhos conduzidos por Atkinson et alii (1965) na Austrália, mostraram que o uso de supe simples para a formação e manutenção de pastagens consorciadas, em quase todos os tipos de Nova Gales do Sul, fornece excesso de S em relação a P, no estabelecimento e, depois, exces em relação a S, à medida que o pasto continua recebendo adubações com superfosfato. Acres te autor que o superfosfato enriquecido com S (fortified superphosphate) seria uma solução correção desta relação.

Alguns resultados com gramíneas forrageiras

Em um pasto de grama batatais (*Paspalum notatum*) localizado no município de Matão (SP), que havia recebido adubação com nitrato de amônio por 18 meses, McClung & Quinn (1959) obtiveram, em ensaio de parcelas, respostas à fertilização com enxofre e fósforo, tanto isoladamente como em combinação. Segundo os autores, uma aplicação de 20 a 40kg de S por hectare foi suficiente para se obterem resultados próximos do ótimo. Foram testadas três fontes de S, sendo que os sulfatos de cálcio e de sódio foram mais eficientes que o enxofre elementar na primeira e segunda colheitas, igualando-se o efeito das três fontes na terceira colheita.

McClung et alii (1959), estudando diversos solos do Brasil Central quanto à sua resposta à aplicação de enxofre e utilizando milheto comum (*Pennistum glaucum*) como planta indicadora, reportaram a ocorrência de baixos teores de enxofre em muitos solos do Planalto Central do Brasil. As deficiências mais acentuadas foram constatadas nos estudos envolvendo solos de campo cerrado, mas solos de superfície (0 - 20cm, excluindo-se o Ao) de matas virgens também responderam à adubação com S. O horizonte B de solos cultivados mostrou respostas positivas menos freqüentes do que o de solos virgens, sugerindo um movimento descendente do enxofre em solos sob cultivo.

Quinn et alii (1961) em ensaio de pastejo com novilhos nelore em pastagens de colonião (*Panicum maximum*) já estabelecido há mais de 10 anos, no município de Guararapes, próximo a Araçatuba (SP), observaram que a aplicação de 60kg S/ha, aumentou a capacidade de suporte da pastagem e a produção de carne por hectare, quando os pastos eram convenientemente adubados com N e P. Na ausência da adubação nitrogenada, a adubação com P e S era inócua, como mostram os dados do Quadro 5.

Quadro 5. Ganho de peso vivo [a] por animais Nelore em pastagem de capim colonião (Araçatuba, SP).

Tratamento [b]	Ganho de peso vivo (kg/ha)
Sem adubo	301
Com P + S	308
Com N + S	627
Com N + P	653
Com N + P + S	703

[a] Médias de dois anos.
[b] Doses: 200kg N, 200kg P_2O_5 e 60kg S por hectare.
Fonte: adaptado de Quinn et alii (1961).

Werner et alii (1967) realizaram ensaio de vasos, do tipo subtração, utilizando terra coletada em um pasto de capim colonião com mais de vinte anos de uso e nunca adubado, que havia sido formado após derrubada da mata original, num solo Latossolo Vermelho escuro - fase arenosa de Andradina (SP). Verificaram que o fósforo foi o elemento que mais limitou o crescimento inicial do capim colonião, no ensaio de vasos, seguindo-se o nitrogênio e em 3º lugar o enxofre. Os dados relativos aos efeitos do P, do N e do S são mostrados no Quadro 6.

Cabe salientar que os resultados com gramíneas forrageiras até aqui relatados e vários outros mais recentes, relatados por Vitti & Novaes (1986), em revisão bastante completa e atualizada, são respostas ao S, quando os capins foram convenientemente adubados com N e P. No trabalho de Quinn et alii (1961), já mencionado, quando P + S foram aplicados em pastagens de colonião na ausência de adubação nitrogenada, não houve resposta na produção do pasto (aumento de apenas 7kg de ganho de peso vivo/ha/ano) como mostram os dados do Quadro 5.

Quadro 6. Produção de matéria seca e número de perfilhos do capim colonião cultivado num La
Vermelho escuro - fase arenosa (Andradina, SP).

Tratamento	M.S. (g/vaso)	Perfi (nº/v
Completo	31,4	24
Menos P	0,4	5
Menos N	10,6	18
Menos S	17,8	23
Testemunha	0,3	5

Fonte: adaptado de Werner et alii (1967).

McClung et alii (1959), também afirmaram que respostas de pastagens exclusivas de gram adubação com S não serão fenômeno comum, a menos que o suprimento de nitrogênio e fósforo se quado. Whyte et alii (1959) também acrescentam que o problema chave no manejo de uma pastag ra se obter altas produções e elevado valor nutritivo da forragem parece ser o fornecimento nuo de quantidades adequadas de nitrogênio.

Pelo exposto, em pastagens exclusivas de gramíneas nas regiões tropicais, a adubação xofre é uma prática que trará grandes benefícios no aumento de produção e valor nutritivo pastagens. Mas, isto só acontecerá quando executada simultaneamente com adubações que forn foro e, principalmente, nitrogênio cuja deficiência em pastagens já estabelecidas é extremam guda nestas regiões.

Alguns resultados com leguminosas forrageiras

As leguminosas exigem maiores quantidades de enxofre que os capins, para o seu perfe senvolvimento e fixação de nitrogênio. Além do papel que desempenha no metabolismo do ni na planta, o S é um dos componentes da nitrogenase, enzima responsável pela fixação do N_2 at co nos nódulos; e Robson (1978) afirma que a aplicação de doses acima daquelas requeridas p crescimento máximo da planta hospedeira continua aumentando a concentração de N nos seus te

Jones et alii (1970) estudaram as produções de sete leguminosas tropicais e da alfaf vadas em vasos com um Latossolo Vermelho de cerrado de São Paulo, num experimento tipo "sub *Stylosanthes gracilis* teve o maior decréscimo de produção quando foi omitido o S, seguido trosema, soja perene e alfafa. Jones & Quagliato (1970), também em ensaio de vasos com o m lo, estudaram níveis de S (0 a 60kg de S/ha) em quatro leguminosas tropicais e na alfafa. ram que a resposta ao S se manifestou mais cedo para umas que para outras leguminosas. Obs também, diferenças na magnitude das respostas de cada leguminosa. Todas as espécies testad taram a produção de matéria seca na proporção do aumento do suprimento de S, efeito esse ma nunciado no 3º corte em todas as leguminosas, com excessão do estilosante. De um modo gera lação N:S decresceu com a elevação da adição de S e, o siratro, entre as espécies estudadas o mais alto valor (N:S = 33,9:1) no terceiro corte e sem adubação com S.

Colozza et alii (1983) empregaram níveis de gesso em dois solos ácidos (Podzólico amarelo - variação Laras e Latossolo Vermelho amarelo - fase terraço), coletados nos munici Nova Odessa e Pindamonhangaba (SP), respectivamente. Cultivaram, em casa de vegetação, a s ne tinaroo. Constataram que essa fonte de enxofre teve efeitos expressivos na produção de seca, na quantidade total de nitrogênio e na nodulação dessa leguminosa, apenas quando usad correção adequada da acidez do solo e da deficiência de magnésio, através da aplicação de dolomítico.

Carriel et alii (1983) obtiveram significativos aumentos na quantidade total de n da soja perene comum, cultivada em vasos, quando empregaram 90kg S/ha (na forma de gesso) tossolo Vermelho escuro-orto, proveniente de um local onde existia um pasto de capim jaragu

ciado com quatro leguminosas (soja perene, centrosema, estilosante e siratro), as quais estavam desaparecendo da consorciação. Quando aplicaram apenas 30kg S/ha não foi verificado o mesmo efeito.

Monteiro et alii (1983), também em ensaios de vasos empregando uma Areia Quartzosa de Brotas (SP) e um Podzólico Vermelho amarelo - variação Lavras de Nova Odessa (SP), cultivaram quatro leguminosas forrageiras (soja perene, centrosena, siratro e galáxia), com cinco níveis de S (0 a 120kg/ha) na forma de gesso. As respostas mais expressivas aos níveis de gesso, em termos de produção de matéria seca, quantidade total de nitrogênio e nodulação, foram verificadas para o siratro no solo de Brotas (dados apresentados no Quadro 2). Segundo os autores, os valores máximos para essas variáveis foram obtidos com aplicações em torno de 76 a 86kg S/ha. A dose de gesso equivalente a 60kg de S/ha incrementou significativamente a nodulação da galáxia no solo de Brotas, com tendências de aumentar a produção de matéria seca e a quantidade total de nitrogênio quando comparado com o nível zero de gesso. As plantas deste ensaio foram colhidas após 51 dias da semeadura.

Vitti & Novaes (1986), em trabalho de revisão bastante completo sobre adubação com enxofre em pastagens, mencionam diversos trabalhos realizados por técnicos do CIAT (Colômbia) e da EMBRAPA, entre outros, onde é realçado o grande efeito da adubação com enxofre em leguminosas forrageiras, principalmente em solos ácidos e intemperizados como os de cerrado do Brasil Central.

A maioria dos estudos com enxofre até aqui mencionados referem-se a ensaios de vasos, de curta duração, em que não há possibilidade de perdas do S por lixiviação. Werner et alii[1], em ensaio de campo, em andamento no Instituto de Zootecnia, Nova Odessa (SP), no qual a soja perene tinaroo é cultivada num Latossolo Vermelho amarelo - fase arenosa, estudam sete níveis de enxofre (0 a 90 kg/ha) com a finalidade de se estabelecer níveis críticos do elemento e definir a melhor parte da planta a ser amostrada para esta finalidade. Algum aumento de produção de matéria seca, devido à adubação com S, somente foi obtido por ocasião do primeiro corte. Nos segundo e terceiro cortes as produções de todos os tratamentos praticamente se igualaram. Os resultados das análises de S total e relação N:S na planta estão mostrando que as adubações com S, aplicadas no plantio, só conseguiram aumentar os teores de S e manter a relação N:S em níveis adequados até o primeiro corte, como mostram alguns dados parciais no Quadro 7. Fazendo-se um confronto destes dados com os de precipitação pluvial (Quadro 8), ocorridos na localidade durante o período decorrido entre o plantio e o terceiro corte, pode-se inferir que o S aplicado (na forma de gesso) produziu efeito apenas até o primeiro corte e que, a partir daí teria sido lixiviado no solo para fora do alcance das raízes da leguminosa. No terceiro período de crescimento os níveis de S na planta estão extremamente baixos e a relação N:S muito larga, coincidindo com um período de chuvas bastante abundante e com um número grande de dias com chuvas superiores a 20mm. A remoção de S pela forragem cortada (dados no Quadro 7) representou apenas uma pequena proporção do S aplicado, ficando a hipótese mais provável de intensa lixiviação deste elemento naquele solo arenoso.

Alguns resultados com pastagens consorciadas

Whyte et alii (1959) afirmam que o problema chave no manejo de uma pastagem, para se obter altas produções e elevado valor nutritivo, deve ser o fornecimento contínuo de quantidades adequadas de nitrogênio. Onde uma leguminosa eficiente puder ser mantida no pasto, a primeira preocupação do manejo deverá ser o estímulo de um vigoroso crescimento da mesma, através de uma correta utilização do pasto e manutenção de adequado fornecimento de nutrientes minerais, para que a fixação do nitrogênio atmosférico seja eficiente. O enxofre é um elemento de destaque neste contexto.

Adams (1973) semeou uma mistura de trevos em uma pastagem formada há anos somente com gramíneas e estudou a efetividade de três fontes de S bem como a freqüência de aplicações de gesso em doses de 0 a 88kg de S/ha. Um mínimo de 22kg S/ha foram necessários, no primeiro ano, para o estabelecimento do trevo no relvado. Quando se aplicaram mais do que 22kg S/ha num período de quatro anos, as aplicações parceladas resultaram em maiores produções de matéria seca na pastagem. A produção do capim não sofreu variação no primeiro ano, mas foi aumentada nos três anos subseqüentes. O autor comenta que o aumento de produção do capim, a partir do segundo ano, foi devido ao incremento do fornecimento de nitrogênio causado pela maior eficiência de fixação deste elemento pela leguminosa, em função da adubação com enxofre.

---

[1] Werner, J.C. e colaboradores: Informação pessoal de trabalho em andamento no Instituto de Zootecnia - Nova Odessa, SP.

Quadro 7. Porcentagem de S e relação N:S em cada corte, e quantidade total de S em três cor
soja perene cultivada num Latossolo Vermelho amarelo - fase arenosa (Nova Odessa,

Níveis de S[a]	1º Corte		2º Corte		3º Corte	
	S	N:S	S	N:S	S	N:S
kg/ha	(%)		(%)		(%)	
0	0,14	19,5	0,12	23,6	0,06	42,3
45	0,18	15,0	0,12	24,5	0,06	41,0
90	0,25	10,1	0,14	19,2	0,07	38,0

(a) Níveis de S no experimento: 0; 15; 30; 45; 60; 75 e 90kg/ha.

Fonte: adaptado de Werner et alii (em andamento).

Quadro 8. Precipitação pluvial registrada em Nova Odessa durante os três períodos de cres
da soja perene cultivada no Latossolo Vermelho amarelo - fase arenosa.

Períodos		dias	chuva (mm)	chuva > 20mm nº dias	% t
Plantio	- 1º corte	137	478,9	5	
1º corte	- 2º corte	217	577,6	10	
2º corte	- 3º corte	132	885,0	17	

Fonte: Posto Meteorológico no Instituto de Zootecnia, Nova Odessa, SP. Cortesia de Pedreira
J.V.S. e Múrcio, C.

Vitti & Novaes (1986), relatam que trabalhos com fertilização sulfatada em pastagens ciadas são encontrados em menor número. Citam alguns com leguminosas temperadas, especialm trevo.

Monteiro (1986) desenvolveu uma série de experimentos em campo e em casa de vegetação testar a fertilização com S na ausência ou presença da adubação com Mo e K e, para estudar tribuição dos nutrientes no perfil do solo. Foi usado um Spodosol que vinha suportando uma ciação de trevo branco (*Trifolium repens*) com pensacola bahiagrass (*Paspalum notatum*) por u do aproximado de 30 anos. Na casa de vegetação, o desenvolvimento do trevo branco dependeu tilização com S, tendo sido aumentadas a produção de matéria seca, as concentrações de N e S tidades de N e S na planta, à medida que se incrementava a dose de S. A relação N:S e as c ções de K e Mo na leguminosa decresceram com a aplicação do S (Quadro 9). No campo, a fert com S aumentou anualmente a produção de matéria seca e as quantidades de N e S em ambas as ras (Quadro 10). O trevo branco teve aumentada a sua concentração de S e diminuída a N:S na forragem, em função das fertilizações com S. Segundo o autor, o sistema radicular da pensacola pareceu extrair S presente nas camadas mais profundas do solo. Mas a lixivia foi considerado o maior fator responsável por uma baixa recuperação de S contido no fertil plicado. Em análises de solo realizadas em amostras coletadas a diversas profundidades, ve

se que o S extraível foi maior entre 75 e 90 cm do que em camadas mais superficiais e a adubação com S reduziu o potássio trocável do solo em toda a extensão estudada no perfil. Na revisão de literatura, o autor citado menciona uma série de trabalhos com adubação de trevo em consorciação, onde alguns deles destacam o problema de lixiviação do S aplicado na fertilização.

Quadro 9. Produção de matéria seca e concentrações de S, K e Mo no trevo branco submetido a três níveis de enxofre.

S (kg/ha)	M.S. (g/vaso)	S (%)	K (%)	Mo (ppm)
0	4,37	0,099	2,62	13,0
30	9,32	0,108	1,09	8,5
60	10,58	0,130	0,99	7,7

Fonte: adaptado de Monteiro (1986).

Quadro 10. Produção de matéria seca e quantidades totais de N e S obtidos anualmente na consorciação trevo branco + pensacola bahiagrass cultivados num Spodosol da Flórida.

Ano	Adubação com S	kg/ha		
		M.S.	N	S
1981	Não	9.840	173	19,0
	Sim[a]	11.530	215	33,4
1982	Não	8.770	113	17,9
	Sim	9.590	124	21,9
1983	Não	11.100	160	20,2
	Sim	12.070	174	23,1
1984	Não	9.030	118	16,4
	Sim	11.230	151	23,1

(a) Enxofre aplicado no campo em 1980, 1981 e 1983/84.

Fonte: adaptado de Monteiro (1986).

Leite et alii (1985) estudaram o efeito da aplicação de níveis de S (como gesso) combinados com fontes de fósforo, numa consorciação de capim colonião com siratro, estabelecida em uma Areia Quartzosa de Brotas (SP). Os dados de produção do primeiro ano, bem como os teores de S e relação N:S, são mostrados nos Quadros 11 e 12, para os tratamentos com níveis de S (0, 45 e 90kg/ha), na presença de superfosfato triplo e fosfato de Araxá. Verifica-se que, na presença da fonte de fósforo mais solúvel, a adubação com S teve efeito positivo sobre a produção do capim e negativo sobre a da leguminosa (possivelmente, em parte, por efeito de competição). Para ambos, capim e leguminosa, os teores de S na planta estão extremamente baixos e sofreram apenas ligeiros aumentos em função da adubação com S. Por outro lado, a relação N:S está extremamente larga, especialmente no siratro, podendo ser, também, uma das prováveis causas da baixa proporção da leguminosa no stand. Os autores comentam que naquele solo extremamente arenoso, o gesso aplicado no plantio teria sido, em boa parte, lixiviado para fora do alcance das raízes, não sendo capaz de manter adequado suprimento de S durante toda a estação de crescimento, particularmente para a leguminosa.

Quadro 11. Produção de matéria seca do capim colonião e do siratro cultivados em consó
Areia Quartzosa (Brotas, SP).

Níveis de S (kg/ha)	M.S. (kg/ha)		
	Super triplo		Fosfato Ara
	Col.	Sir	Col.
0	10.728	487	7.362
45	12.002	400	7.531
90	12.810	307	9.641

Fonte: adaptado de Leite et alii (1985).

Quadro 12. Porcentagem de S e relação N:S no capim colonião e no siratro cultivados em
em Areia Quartzosa, em presença de superfosfato triplo (Brotas, SP, 1985).

Níveis de S (kg/ha)	% S		N:S[a]
	Col.	Sir.	Col.
0	0,08	0,08	23,0
45	0,09	0,09	20,5
90	0,10	0,10	19,5

[a] Calculado a partir dos dados reportados.

Fonte: adaptado de Leite et alii (1985).

Como se vê, trabalhos em condições de campo testando o efeito da fertilização com
tagem consorciada são ainda muito limitados. Estão, entretanto, mostrando da mesma maneir
guns dos trabalhos já citados com capins e leguminosas exclusivas, que o parcelamento dest
ção dentro do ano agrícola é uma prática que deve ser melhor estudada, para evitar perdas,
viação do S aplicado, especialmente nos solos arenosos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS

De uma maneira geral, o número de trabalhos com enxofre em plantas forrageiras são m
dantes para as regiões temperadas que para as tropicais, bem como são mais freqüentes os e
casa de vegetação que em condições de campo.

Normalmente os teores de S total encontrados nos capins são mais baixos, bem como a
ções N:S mais estreitas que aquelas das leguminosas forrageiras. É comum encontrar-se, em
ções de campo, teores e relações que não atendem requerimentos dos ruminantes.

A aplicação de adubos contendo enxofre tem se mostrado benéfico à produção de forra
pins e leguminosas) e à nodulação e fixação de nitrogênio, aumentando os teores do element
zindo a relação N:S na planta.

Existem poucos trabalhos estudando o efeito do enxofre em pastagens consorciadas nas condições da América Tropical.

Os trabalhos conduzidos no campo têm realçado que expressiva parte do enxofre aplicado em solos tropicais, especialmente nos arenosos, é rapidamente lixiviado, não sendo capaz de atender a demanda das forrageiras durante a estação de crescimento.

Em face dessas considerações, as seguintes sugestões de pesquisa podem ser apresentadas:

1) intensificação dos trabalhos com enxofre em forrageiras tropicais;
2) maior prioridade para experimentos com enxofre, em condições de campo, enfatizanto a utilização de pastagens consorciadas;
3) estudos de fontes de enxofre, doses, parcelamento e épocas de aplicação, tendo em vista os problemas de perda do nutriente por lixiviação.

LITERATURA CITADA

ADAMS, A.F.R. Sulphur on New Zealand pastures-effect of rates and form. Sulphur Inst. J., 9:14-16, 1973.

ANDREW, C.S. Influence of nutrition on nitrogen fixation and growth of legumes. In: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization - CSIRO. ed. A review of nitrogen in the tropics with particular reference to pastures. A Symposium. Hurley, Berkshire, England, 1962. p.130-146.

ANDREW, C.S. The effect of sulphur on the growth, sulphur and nitrogen concentrations, and critical sulphur concentrations of some tropical and temperature pasture legumes. Aust. J. Agric. Res., Melbourne, 28:807-820, 1977.

ATKINSON, W.T.; WALKER, R.G. & WEIR, R.G. The phosphorus and sulphur needs of pastures in New South Wales. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PASTAGENS, 9, São Paulo, 1965. Anais... São Paulo, 1965. p.655-663.

CARRIEL, J.M.; MONTEIRO, F.A.; PAULINO, V.T. & SARTINI, H.J. Limitações nutricionais ao desenvolvimento da soja-perene, em pastagem consorciada com o capim jaraguá. B. Indústr. anim., Nova Odessa, 40(2):241-250, 1983.

COLOZZA, M.T.; SAVASTANO, S.A.L.; WERNER, J.C. & MONTEIRO, F.A. Efeitos da aplicação de gesso e calcário dolomítico em dois solos ácidos cultivados com soja-perene. B. Indústr. anim., Nova Odessa, 40(1):75-96, 1983.

DIJKSHOORN, W.; LAMPE, J.E.M. & VAN BURG, P.F.J. A method of diagnosing the sulphur nutrition status of herbage. Pl. Soil, Hague, 13:227-241, 1960.

DIJKSHOORN, W. & VAN WIJK, A.L. The sulphur requirements of plants as evidenced by the sulphur-nitrogen ratio in the organic matter. A review of published data. Pl. Soil, Hague, 26: 129-157, 1967.

EPSTEIN, E. Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas . Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.

FARINA, M.P.W.; GROSS, G.W. & CHANNONS, P. The influence of sulphur on the yield of a grass-clover pasture fertilized with different sources of phosphorus. Fertilizer Society of South Africa Journal, Pretoria, 1:1-3, 1972.

GALLO, J.R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C.; FURLAN, A.M.C.; MATTOS, H.B. de; SARTINI, H.J. & FONSECA, M.P. Composição química inorgânica de forrageiras no Estado de São Paulo. B. Indústr. anim., São Paulo, 31(1):115-138, 1974.

HEWITT, E.S. Some aspects of mineral nutrition in legumes. In: HALLSWORTH, E. G, ed., Nutrition of legumes. New York, Academic Press, 1958. p.15-42.

JONES, M.B. Total sulphur and sulfate content in subterranean clover as related to sulphur responses. Proc. Soil Sci. Soc. Am., Madison, 26:482-484, 1962.

JONES, M.B. Effect of sulphur applied and date of harvest on yield, sulfate sulphur concentra and total sulphur uptake of five annual grassland species. Agron. J., Madison, 55:251-254 1963.

JONES, M.B. & MARTIN, W.E. Sulphate-sulphur concentration as an indicator of sulphur statu various California dryland pasture species. Proc. Soil Sci. Am., Madison, 28:539-541, 1

JONES, M.B. & QUAGLIATO, J.L. Respostas de quatro leguminosas tropicais e da alfafa a vari níveis de enxofre. Pesq. agropec. bras., 5:359-63, 1970.

JONES, M.B.; QUAGLIATO, J.L. & FREITAS, L.M.M. Respostas de alfafa e algumas leguminosas t cais a aplicação de nutrientes minerais, em três solos de campo cerrado. Pesq. agropec. 5:209-214, 1970.

KERRIDGE, P.C. Fertilization of acid tropical soils in relation to pasture legumes. In: A C.S. & KAMPRATH, E.J., eds., Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical s Melbourne, Austrália, CSIRO, 1978. p.395-415.

LEITE, V.B.O.; MONTEIRO, F.A.; WERNER, J.C.; CARRIEL, J.M. & LIEM, T.H. Uso de gesso, comb com fontes de fósforo em colonião + siratro cultivados em solo de cerrado. Zootecnia, M Odessa, (no prelo).

McCLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.M. & LOTT, W.L. Estudos sobre o enxofre em solos de São Paulo. York, IBEC Research Institute, 1959. 31p.

McCLUNG, A.C. & QUINN, L.R. Sulphur and phosphorus responses of Batatais grass (*Paspalum notatum*). New York, IBEC Research Institute, 1959. 16p. (Bol., 18).

McNAUGHT, K.J. Diagnosis of mineral deficiencies in grass-legume pastures by plant analys INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 11, Surfers Paradise, 1970. Proceedings... St. Luci Queensland, Austrália, 1970. p.334-338.

MALAVOLTA, E. Estudos químico agrícolas sobre o enxofre. Anais da ESALQ, 9:40-130. 1953

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola. São Paulo, Ceres, 1976. 528p.

METSON, A.J. Sulphur in forage crops. Washington, The Sulphur Institute, 1973. 24p. (T Bull., 20).

MILLER, C.P. & JONES, R.K. Nutrient requirementes of *Stylosanthes guianensis* pastures on euchrozem in north Queensland. Aust. J. exp. agric. anim. Husb., Melbourne, 17:607-613

MONTEIRO, F.A. Sulphur fertilization and nutrient distribution in a Florida Spodosol prof white clover - Pensacola bahiagrass. Gainesville, University of Florida, 1986. 182p. Doutorado).

MONTEIRO, F.A.; CARRIEL, J.M.; MARTINS, L.; CASTRO, J.V. & LIEM, T.H. Aplicação de níveis de enxofre, na forma de gesso, para cultivo de leguminosas forrageiras. B. Indústr. anim., Nova Odessa, 40:229-240, 1983.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Committee on Animal Nutrition - Nutrient requirements of beef cattle. 4. ed. Washington, 1970 (Nutrient Requirements of Domestic Animals, n.4. NAS-NRC Publication 1137). 1970. 55p.

QUINN, L.R.; MOTT, G.O. & BISSCHOFF. Fertilização de pastos de capim colonião e produção de carne com novilhos zebu. Bol. New York, 1961. IBEC Research Institute. 40p. (Bol., 24).

RAYMENT, G.E. Prediction of response to sulphur by established seratro/grass pastures in south--eastern Queensland. Aust. J. Exp. Agric. anim. Husb., Melbourne, 23:280-287, 1983.

ROBINSON, P.J. & JONES, R.K. The effect of phosphorus and sulphur fertilization on the growth and distribution of dry matter, nitrogen, phosphorus, and sulphur in Townsville stylo (*Stylosanthes humilis*). Aust. J. agric. Res., Melbourne, 23:633-640, 1972.

ROBSON, A.D. Mineral nutrients limiting nitrogen fixation in legumes. In: ANDREW, C.S. & KAMPRATH, E.J. eds. Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. Melbourne, Austrália, CSIRO, 1978. p.277-293.

SANCHEZ, P.A. Properties and management of soils in the tropics. New York, J. Wiley, 1976. 618p.

SANCHEZ, P.A. & SALINAS, J.G. Low-input technology for managing oxisols and ultisols in Tropical America. Advances in Agronomy, New York, 34:279-406, 1981.

SHIRLEY, R.L. & MARIANTE, A. Enxofre na nutrição de ruminantes. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE PESQUISA EM NUTRIÇÃO MINERAL DE RUMINANTES EM PASTAGENS, Belo Horizonte, 1976. Anais... Belo Horizonte, UFMG/UFV/ESAL/EPAMIG, 1976. p.130-147.

SIEBERT, B.D. & VIJCHULATA, P. Sulphur in animal nutrition. In: BLAIR, G.J. & TILL, A.R. eds. Sulphur in S.E. Asian and S. Pacific Agriculture. Armidale, Austrália, University of New England, 1983. p.87-96.

SMITH, F.W. & SIREGAR, M.E. Sulphur requirements of tropical forages. In: BLAIR, G.J. & TILL, A.R. eds. Sulphur in S.E. Asian and S. Pacific Agriculture. Armadile, Australia, Univ. of New England, 1983. p.76-86.

SPENCER, K.; JONES, M.B. & FRENEY, J.R. Diagnostic indices for sulphur status of subterranean clover. Austr. J. Agric. Res., Melbourne, 28:401-412, 1977.

TISDALE, S.L. Sulphur in forage quality and ruminant nutrition. Washington. The Sulphur Institute, 1977. 13p.

VITTI, G.C. & NOVAES, N.J. Adubação com enxofre. In: MATTOS, H.B. et alii. eds. SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS. Anais... Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e Fosfato, 1986. p.191-222.

WALKER, D.R. & BENTLEY, C.F. Sulphur fractions of legumes as indicators of sulphur deficiency. Can. J. Soil. Sci., Ottawa, 41:164-168, 1961.

WEIR, R.G. Factors affecting availability of sulphur from sulphur fertilizers. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 11., Surfers Paradise, 1970. Proceedings... St. Lucia, Queensland, Austrália, 1970. p.380-384.

WERNER, J.C. Adubação de pastagens. Nova Odessa, Instituto de Zootecnia, 1984. 49p. (I Téc., 18).

WERNER, J.C.; QUAGLIATO, J.L. & MARTINELLI, D. Ensaio de fertilização do colonião com sol "Noroeste". B. Indústr. anim., São Paulo, 24(único):159-167, 1967.

WHYTE, R.O.; MOIR, T.R.G. & COOPER, J.P. Grasses in agriculture. Roma, Food and Agricul Organization of the United Nations, 1959. 417p.

WILLIANS, C.H. Effect of particle size on the availability of the phosphorus and sulphur in superphosphate. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 11. Surfers Paradise Proceedings... St. Lucia, Queensland, Austrália, 1970. p.384-388.

WOODHOUSE JUNIOR, W.W. Long-term fertility requirements of coastal bermudagrass. III. s Agron. J., Madison, 61:705-708, 1969.

CAPÍTULO 5

MICRONUTRIENTES NO SOLO

Otávio A. de Camargo[1]

RESUMO

No presente trabalho são considerados aspectos gerais do comportamento dos micronutrientes zinco, cobre, manganês, ferro, boro e molibdênio no solo, como adsorção no complexo coloidal, formas químicas como se apresentam e os fatores que influenciam sua retenção. Em seguida é apresentada de maneira resumida a geoquímica, a distribuição e teor no solo e a reação de cada elemento.

Termos de indexação: micronutrientes, adsorção, solubilidade.

SUMMARY

MICRONUTRIENTS IN THE SOIL

General considerations are reported on the behavior of micronutrients zinc, copper, manganese, iron, boron and molybdenum in the soil related to adsorption on the colloidal complex, chemical forms and factors affecting their retention. In addition, there is a brief discussion about the geochemistry, the distribution and content and the reaction of each element in the soil.

Index terms: micronutrients, adsorption, solubility.

INTRODUÇÃO

Alguns elementos químicos são essenciais para o desenvolvimento e reprodução das plantas. Desses elementos, alguns são exigidos em grandes quantidades e outros em pequenas quantidades e, por isso, comumente chamados de micronutrientes. Eles são de natureza essencialmente inorgânica e sua disponibilidade pode variar muito, principalmente quando os cultivos tornam-se intensivos, quando ocorrem alterações nas práticas de manejo do solo ou quando de alguma maneira haja esgotamento destes nutrientes sem a devida reposição por fertilizantes (Hodgson, 1963).

O conhecimento da ocorrência, reação e movimento no solo é de muita importância para se analisar o comportamento dos micronutrientes no sistema solo-planta. A ocorrência está muito ligada ao material de origem, ao intemperismo e à ação dos fatores formadores do solo. As reações têm muito a ver com a solubilidade dos minerais que os contêm e com a existência de material orgânico e inorgânico, cujos radicais e superfícies propiciam o meio adequado para o controle da disponibilidade e movimentação desses elementos na solução do solo. A maneira dinâmica como esses fa-

[1] Engº Agrº., Pesquisador Científico V, Seção de Pedologia, Instituto Agronômico, C.P. 28 - 13.100 - Campinas, SP. Bolsista do CNPq.

tores interagem está representada na Figura 1, adaptada de Lindsay (1972). A reação 1 mo absorção pela planta, do nutriente contido na solução do solo e a 2, uma pequena liberação que pode ocorrer. Os íons da solução do solo são tamponados por aqueles adsorvidos nas s cies coloidais ou retidos nos lugares de troca iônica (reações 3 e 4). Por outro lado, se ção do solo torna-se supersaturada com relação a determinado mineral, ele se precipita até ja atingido um equilíbrio (reação 5). De maneira semelhante, se a solução torna-se insatur relação a qualquer mineral presente no solo, ele pode dissolver-se até um ponto de equilíbr ção 6). As reações 7 e 8 representam a matéria orgânica e microorganismos como fatores qu bém afetam as relações de equilíbrio no solo. A absorção de nutrientes por microorganismos morte e a decomposição da matéria orgânica podem alterar a quantidade dos elementos na sol solo.

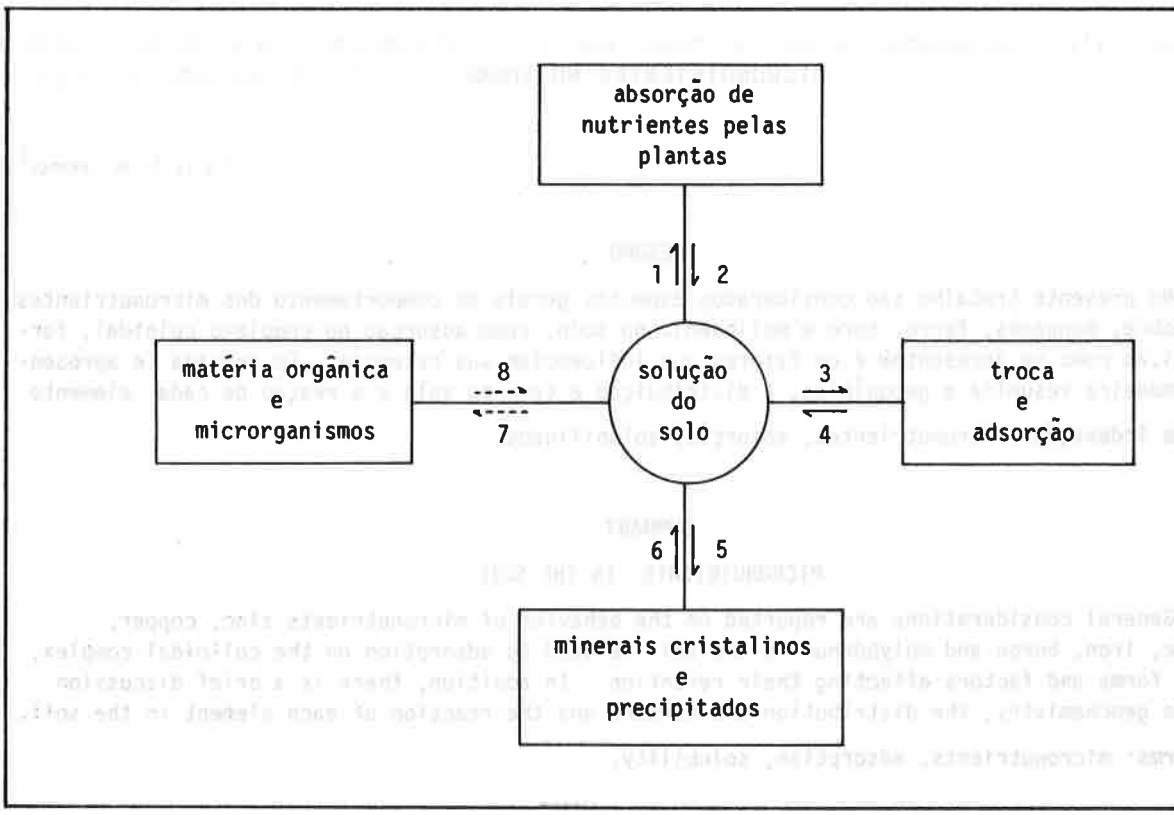


Figura 1. Representação do equilíbrio dinâmico dos micronutrientes no solo (adaptada de 1972).

Em vista de sua importância agronômica, serão considerados neste trabalho aspectos portamento dos micronutrientes cobre, ferro, manganês, zinco, boro e molibdênio no solo.

2. PRINCÍPIOS GERAIS DO COMPORTAMENTO DOS MICRONUTRIENTES NO SOLO

Os mecanismos principais que controlam os níveis dos micronutrientes na solução são a adsorção e a precipitação. A adsorção pode ser reversível, parcialmente reversível versível e ocorre na superfície coloidal segundo diversos mecanismos envolvendo ou não troca. A precipitação depende da quantidade do mineral em equilíbrio na solução do solo. Os nismos que interagem em ambos os processos são diferentes, sendo muito difícil distingüí-l perimentalmente. Lindsay (1979) considera que a adsorção e a atividade de microorganismos tores importantes no controle do nível de micronutrientes na solução do solo, mas afirma q se mineral é o agente controlador fundamental da quantidade dos elementos na solução.

2.1. Adsorção

A adsorção dos micronutrientes no solo é um processo de união dos mesmos com as superfícies coloidais do solo, em grau suficientemente forte para ser considerado como importante no controle da sua quantidade e movimentação na solução do solo, e conseqüentemente na sua disponibilidade para as plantas.

A adsorção ocorre em resposta à: concentração do íon em solução; concentração de elementos competidores pelos locais de adsorção; concentração de íon hidrogênio; formação e destruição de quelatos orgânicos e complexos inorgânicos. Na fração mineral, os constituintes importantes na adsorção são os minerais de argila e os óxidos cristalinos ou amorfos de ferro, alumínio e manganês. Os minerais de argila têm cargas negativas provenientes de substituição isomórfica que atraem cátions. Por outro lado, apresentam oxigênio ou hidroxilas ligados a silício ou alumínio, que estão expostos nas arestas onde pode haver uma complexação de OH^- ou dissociação de H^+, criando cargas negativas onde cátions podem ser adsorvidos e ânions sofrem repulsão. Da mesma maneira, pode haver adsorção hidrogeniônica ou dissociação de hidroxila formando carga positiva onde podem ser adsorvidos ânions por simples atração eletrostática. Essas cargas negativas e positivas descritas são dependentes do pH da solução e de maneira geral, quando o pH aumenta, a adsorção de cátions aumenta e a de ânions diminui. Para os óxidos existe um mecanismo similar a este último, sendo a criação de cargas positivas ou negativas na superfície também dependente do pH.

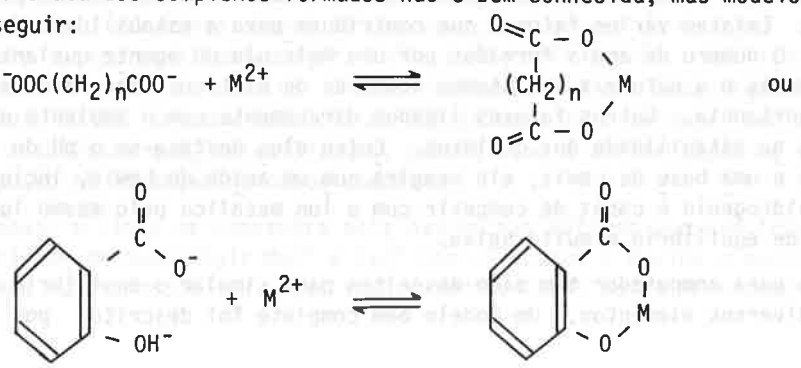
Existe outro tipo de mecanismo pelo qual os cátions ou os ânions podem ser adsorvidos nos óxidos de Fe, Al e Mn que não por uma simples atração eletrostática. Neste processo, uma forma hidrolisada do cátion parece ter a preferência da superfície adsorvente. Quirk & Posner (1975) sugeriram que tal adsorção implica na formação de uma estrutura anelar que pode ser considerada como uma extensão da superfiece do óxido. Para o ânion molibdato, o íon oxigênio da superfície do óxido pode ser deslocado por ele, constituindo também uma extensão dessa superfície (Bohn, 1979).

A fração orgânica do solo também exibe propriedades de adsorção. Ela tem uma afinidade muito grande pelos cátions e normalmente se correlaciona com a quantidade desses no solo (Hodgson, 1963). A matéria orgânica oferece sítios para a troca de cátions, mas a sua grande afinidade com os metais é devido a ligantes ou grupos que formam quelatos ou complexos com esses metais. Os principais grupos funcionais que tomam parte nas reações são os carboxílicos, fenólicos, alcoólicos, enólicos e alguns tipos de carbonila (=C=O) (Stevenson & Ardakani, 1972). Hodgson (1963) e Randhawa & Broadbent (1965) sugeriram que o ácido húmico e o ácido fúlvico têm papel importante na adsorção do Zn e Cu. Tanto Randhawa & Broadbent (1965), para o ácido húmico, como Schnitzer & Skinner (1966), para o ácido fúlvico, mostraram que a adsorção de zinco variava com o pH e que este fato refletia uma competição com o H^+.

2.2. Formas químicas dos elementos no solo

Os micronutrientes podem se encontrar no solo tanto complexados com a parte orgânica como na forma inorgânica. Estas formas estão distribuídas tanto na fase sólida como na líquida. A concentração dos elementos na fase líquida é determinada pela solubilidade da forma menos solúvel presente no sistema. Essa concentração varia de 10^{-6} a 10^{-9}M para os micronutrientes.

A fração orgânica do solo é muito complexa e compõe-se de uma grande variedade de compostos solúveis e insolúveis que são capazes de reagir com os micronutrientes. Como já foi mencionado, os radicais carboxílicos, fenólicos e outros são ligantes importantes para a complexação dos elementos. A estrutura exata dos complexos formados não é bem conhecida, mas modelos têm sido propostos, como estes a seguir:



Diversos constituintes orgânicos do solo, como aminoácidos, ácidos mono, di e t licos e polifenóis podem reagir com os diversos elementos; entretanto, devido à maior p dos ácidos fúlvicos e húmicos na matéria orgânica do solo, a contribuição deles na compl elementos é maior. Stevenson & Ardakani (1972) afirmam que combinações de metal e matér ca insolúveis são aquelas associadas ao ácido húmico e que, aquelas associadas ao ácido ácidos orgânicos, dão origem a complexos mais solúveis em água.

As formas inorgânicas dos elementos no solo têm sido identificadas, ou através d ção da energia livre de formação dos minerais (Lindsay, 1979), ou através do produto de so (Lindsay, 1972 e Street et alii, 1977). Ambos os procedimentos utilizam princípios básicos brio químico para predizer as concentrações dos elementos em determinadas condições e, onde as concentrações medidas do elemento se apresentarem como aquelas preditas, presu aquela forma usada nos cálculos seja a presente ou dominante no sistema. Um obstáculo s se método é a falta de dados termodinâmicos adequados para os cálculos, o que é comum pa dos minerais presentes no solo. Portanto, a não inclusão deles em determinadas situaçõe var a conclusões pouco confiáveis sobre quais compostos no solo estão controlando a co dos elementos em solução. Este problema levou alguns pesquisadores (Tardy & Garrels, 1977 & Sposito, 1978) a formularem métodos empíricos para a estimativa da energia livre de for tes minerais, podendo assim incluir as espécies mais relevantes do sistema em estudo.

Outro problema associado com a utilização de princípios básicos para predizer a ção dos nutrientes, é a definição precisa da forma química do elemento na solução. Os na solução existem como radical ou metal iônicos ou podem formar íons complexos ou moléc os constituintes orgânicos e inorgânicos do sistema. Alguns exemplos desses complexos Quadro 1.

Quadro 1. Alguns complexos inorgânicos de cátions divalentes que podem se formar na solu

	Ligante	
SO_4^{2-}	OH^- complexo[a]	
$MHSO_4^+$	$M(OH)^+$	M
MSO_4^o	$M(OH)_2^o$	M
	$M(OH)_3^-$	M

(a) M representa um cátion divalente (Zn^{2+}, Fe^{2+}, Cu^{2+}).

O fenômeno da quelação dos metais no solo é muito importante porque ele aumenta a lidade desses metais, aumentando, conseqüentemente, a sua mobilidade tanto por difusão fluxo de massa. Existem vários fatores que contribuem para a estabilidade dos quelatos (Lehman, 1963). O número de anéis formados por uma molécula do agente quelante com o íon o tamanho dos anéis e a natureza dos átomos doadores de elétrons, são fatores de estabili fundamental importância. Outros fatores ligados diretamente com o ambiente onde ocorre a são importantes na estabilidade dos quelatos. Entre eles destaca-se o pH do meio. Uma agente quelante é uma base de Lewis, ele reagirá com um ácido de Lewis, inclusive com o í gênio. O íon hidrogênio é capaz de competir com o íon metálico pelo mesmo lugar do quela do a constante de equilíbrio é muito baixa.

Modelos para computador têm sido descritos para simular o equilíbrio químico das formas com os diversos elementos. Um modelo bem completo foi descrito por Sposito &

(1980), o qual simula os seguintes tipos de reações que provavelmente ocorram no solo: equilíbrio ácido-base, formação de complexos com ligantes orgânicos e inorgânicos, reações de dissolução-precipitação, reações redox e reações de adsorção e troca iônica.

2.3. Fatores que influenciam na retenção dos micronutrientes no solo

Os micronutrientes aplicados ao solo são retidos pelos diversos componentes orgânicos e inorgânicos, através de adsorção iônica ou molecular ou por precipitação em formas pouco solúveis. A capacidade do solo de reter micronutrientes depende das suas propriedades químicas, físicas e biológicas, assim como da forma química com que o elemento foi aplicado. Embora os mecanismos de retenção não sejam totalmente conhecidos, certas generalizações sobre a influência de certos fatores na retenção podem ser feitas. Dentre os fatores que influem na retenção dos micronutrientes podem ser citados: a textura, o pH, a umidade, teor de matéria orgânica, teor de óxidos de Fe, Al e Mn, a espécie e concentração dos constituintes na solução do solo e sua velocidade de percolação.

Fuller et alii (1976) e Korte et alii (1976) estudaram, entre outros elementos, a retenção do Cu e do Zn em solos com ampla variação do teor de argila e constataram uma alta correlação positiva entre os dois parâmetros. Notaram também correlação com os óxidos de ferro.

Normalmente a solubilidade, e conseqüentemente a movimentação dos micronutrientes catiônicos (Zn, Cu, Fe, Mn), aumenta com a diminuição do pH do solo. De maneira inversa, a mobilidade do ânion MoO_4^{2-} aumenta com o aumento do pH. Trabalho feito por Camargo et alii (1982) mostrou que, de maneira geral, os teores de Fe, Mn, Zn e Cu solúveis em DTPA-TEA, de solos do Estado de São Paulo, diminuíram com o aumento do pH quando se adicionou calcário.

A umidade também influi na capacidade de retenção por influenciar as reações redox. Bingham et al. (1976) mostraram que sob condições redutoras a solubilidade do Cd, Cu e Zn diminuíram e a do Fe e Mn aumentaram. Camargo et alii (1982) encontraram uma diminuição dos teores do Zn, Fe, Cu e Mn, extraídos com DTPA-TEA, quando amostras de diversos solos foram incubadas com água à capacidade de campo por sessenta dias.

Os elementos competem entre si e com outros compostos orgânicos e inorgânicos por lugares de adsorção ou por ligantes complexantes disponíveis. Assim, a retenção dos nutrientes não é afetada apenas pela sua concentração na solução, mas também pela concentração de todos os outros constituintes do sistema (Doner, 1978 e Mattigod, 1979).

3. QUÍMICA DOS MICRONUTRIENTES DO SOLO

Os solos diferem bastante quanto à quantidade de micronutrientes que contêm. Cada solo possui propriedades que interferem diferentemente no comportamento de cada elemento. Por isso, é interessante que se considere cada elemento em separado, para se colocar em destaque aspectos fundamentais e principais da interação solo-nutriente.

3.1. Zinco

3.1.1. Geoquímica

O zinco encontra-se na natureza fazendo parte de compostos sempre com número de oxidação 2+ e raramente é encontrado na forma elementar. Nos óxidos, sulfetos, brometos, cloretos, iodetos e alguns compostos complexos, apresenta número de coordenação 4 em vez de 6, como os outros cátions divalentes de raio iônico semelhante: Mg^{2+}, Fe^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+} e Mn^{2+}. Na litosfera ele ocorre principalemente como o mineral esfalerita (ZnS), indicando que seu comportamento é de um metal calcófilo (Krauskopf, 1972). Segundo Goldschmidt (1958), durante o intemperismo a oxidação dos sulfetos daria origem a sulfatos que, solubilizados, permitiriam a movimentação do zinco, possibilitando a sua participação na formação de novos compostos.

Nas rochas ígneas, o zinco se concentra mais nas rochas máficas que nas félsicas, principalmente por sua capacidade de substituir Mg^{2+} e Fe^{2+} nos silicatos e devido à ocorrência numerosa de esfalerita como grãos submicroscópicos. Nas rochas sedimentares as maiores concentrações são

encontradas em argilitos, resultantes principalmente da reorganização dos silicatos em estr típicas de minerais de argila.

3.1.2. Teor e distribuição no solo

A concentração de zinco varia entre 10 e 300 ppm nos diversos solos, com uma média de (Lindsay, 1979). Para solos do Estado de São Paulo, Valadares (1972) encontrou valores compr dos entre traços e 315ppm. Lopes (1983) encontrou valores variando de 7,6 a 209,7ppm para sob cerrado, enquanto Horowitz & Dantas (1973) encontraram valores de 31 a 138ppm de Zn par fis de solos da Zona Litoral-Mata de Pernambuco. No Estado de São Paulo, os solos derivados chas básicas apresentaram os teores mais elevados com valor médio de 186ppm que, segundo Vi dov (1959), é decorrência da maior riqueza dessas rochas nesse elemento. Os solos derivad sedimentos modernos arenosos apresentaram os valores mais baixos, 8,7ppm em média. Os teor zinco solúvel em HCl 0,1N variaram de < 0,05ppm até 7,30ppm, com coeficiente de correlação quando relacionado com o teor de zinco total. Para solos de cerrado, Lopes (1983) cita valo riando de 0,31 a 2,6, enquanto Horowitz & Dantas (1973) encontraram valores compreendidos 2,38 a 15,5ppm de Zn para solos da zona Litoral-Mata de Pernambuco.

Nos perfis dos solos estudados por Valadares (1972) há um decréscimo sensível do Zn lúvel em HCl 0,1N com a profundidade. Em alguns solos, como a Terra Roxa estruturada, cheg sar de aproximadamente 7,5ppm no horizonte A_1 para 0,50ppm no horizonte B_{22}.

3.1.3. Reação no solo

Na solução do solo, o zinco se apresenta, na faixa de pH normalmente encontrado, co ou, em menor quantidade, como $ZnOH^+$ ou $Zn(OH)_2^0$. O mineral que controla a atividade do Zn^{2+} lução não é conhecido. Norvell & Lindsay (1969), através da reação:

$$\text{Solo-Zn} + 2H^+ \rightleftharpoons Zn^{2+}$$

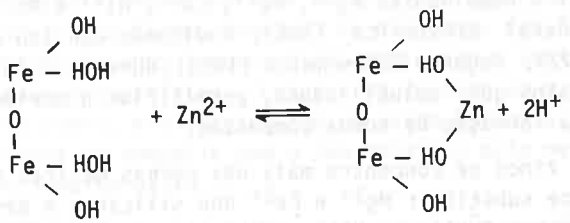
determinaram que $\log K^0 = 5,8$, o que dá:

$$\log Zn^{2+} = 5,8 - 2pH$$

Esta equação representa uma relação muito útil sobre a solubilidade do zinco em solos. Ela que a atividade do zinco na solução do solo diminui cem vezes para cada unidade de aumento

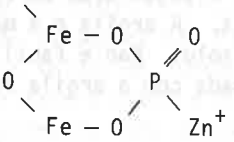
O zinco não se encontra apenas nos minerais do solo, mas também retido por adsorção perfícies coloidais ou nos lugares de troca. A matéria orgânica, os óxidos de Fe, Al e Mn nerais de argila influem na retenção do zinco no solo. Stevenson & Ardakani (1972) revisar reações de micronutrientes com a matéria orgânica e concluíram que combinações insolúveis ciam principalmente com a fração do ácido húmico, enquanto complexos solúveis estavam ass com ácido fúlvico, ácidos orgânicos e aminoácidos. Randhawa & Broadbent (1965) estudaram ção de Zn pelos ácidos húmicos e mostraram que a fração menos estável, que era responsáve maior adsorção, era aquela associada aos radicais fenólicos e aos carboxílicos fracos. A mais estável era a ligada a radicais carboxílicos fortes e representava menos de 1% do zin retido.

Gadde & Laitnen (1974) mostraram que os óxidos de ferro e manganês adsorvem uma qu considerável de zinco e que esta adsorção era específica, levando Kalbasi et alii (1978) a o seguinte mecanismo para a adsorção do Zn^{2+} na superfície da goetita:



Através desta reação pode-se mostrar a dependência da adsorção do zinco em relação ao pH. Se o pH diminui, o equilíbrio da reação tende para a esquerda, diminuindo a adsorção de zinco. Roesch (1979), estudando solos do Rio Grande do Sul, conclui que o Al extraível com oxalato de amônio 0,2M foi o constituinte mais importante na adsorção química do Zn.

Outro fator muito importante na adsorção do zinco em superfícies de óxidos, é a presença do íon fosfato no meio. Stanton & Burger (1967, 1970) observaram que a presença de fosfato aumentou a adsorção de zinco por óxidos de ferro e alumínio amorfos. A adsorção do íon fosfato negativamente carregado, na superfície da goetita, aumenta a adsorção do zinco positivamente carregado da solução, levando Bolland et alii (1977) a sugerirem a formação de um complexo na superfície do seguinte tipo:



3.2. Cobre

3.2.1. Geoquímica

O cobre é o mais nobre dos seis micronutrientes comentados no presente trabalho, mostrando um alto potencial de ionização e sendo encontrado com certa freqüência na forma de metal. Ele pode ser encontrado com número de oxidação 2+ e em menor escala com 1+ em certos sulfetos, mas é muito difícil de se dizer exatamente qual é o número de oxidação em muitos minerais (Krauskopf, 1972). É um elemento calcófilo, aparecendo continuadamente como bornita (Cu_5FeS_4) ou calcopirita ($CuFeS_2$) e sendo de certa maneira excluído dos silicatos. Segundo Hodgson (1963) este fato pode ser constatado nas rochas ígneas, pelos resultados encontrados, mostrando uma relação direta do Cu com S e inversa do Cu com Si.

Como no caso do zinco, durante a sedimentação um processo de reorganização dos aluminossilicatos ocasiona oclusão e trocas isomórficas nas novas espécies precipitadas, resultando daí uma concentração nos sedimentos mais finos. Diferente do zinco, o cobre pode aparecer em concentrações maiores que este metal nos sedimentos quando a quantidade de matéria orgânica é maior. Como nas rochas ígneas, o cobre também aparece freqüentemente como o mineral calcopirita em rochas sedimentares.

3.2.2. Teor e distribuição no solo

O teor médio de cobre total encontrado no solo é de aproximadamente 30 ppm. Em solos do Estado de São Paulo, Valadares (1975) determinou valores que variaram, em média, de 187,7 ppm para solos derivados de rochas básicas até 8,7 ppm para solos derivados do arenito de Bauru e 7,0 ppm para solos derivados de sedimentos modernos arenosos. Aqui, também o material de origem foi fator preponderante no condicionamento dos teores de cobre total do solo. Este fato foi também constatado por Vinogradov (1959), que atribuiu os teores elevados em cobre dos solos derivados de rochas básicas, à riqueza dessas rochas nesse elemento. No caso dos sedimentos arenosos, os teores baixos de cobre se devem ao fato desses sedimentos apresentarem a fração grosseira constituída basicamente de quartzo, não apresentando portanto minerais ricos em cobre. O cobre na forma solúvel em HCl 0,1N foi encontrado por Lopes (1983) em solos sob cerrado, em concentrações que variaram de traços a 9,7ppm de Cu. Dantas et alii (1978) referem-se a valores compreendidos entre traços e 3,75ppm para solos da região do Agreste de Pernambuco.

O cobre é um dos elementos menos móveis, devendo mostrar pouca variação no perfil. Entretanto, o movimento de cobre tem sido constatado em solos podzolizados ou com diferença textural entre os horizontes A e B. Valadares (1975) encontrou essa diferença e constatou uma alta correlação entre teor de cobre total e de argila, em alguns perfis. O cobre extraível com ácidos fracos varia com a profundidade, muito mais que o total (Swaine & Mitchell, 1960).

3.2.3. Reação do solo

Abaixo de pH 8,0 as formas Cu^{2+}, $Cu(OH)^{2+}$ e $CuOH^{+}$ são as mais comuns na solução do solo,

sendo a primeira encontrada em maior proporção abaixo de pH 7,3 (Lindsay, 1972). Complexos são encontrados em pequenas quantidades, principalmente $CuCl^+$ e $CuSO^o_4$. A reação:

$$Cu^{2+} + solo \rightleftharpoons Cu\text{-}solo + 2H^+,$$

permitiu que Norvell & Lindsay (1969) medissem uma constante de equilíbrio e chegassem na eq

$$\log Cu^{2+} = 2,8 - 2pH$$

Essa equação estima aproximadamente a concentração de Cu^{2+} mantida em solução no solo.

O cobre aparece no solo de forma complexada e os complexos orgânicos formados são mente mais abundantes que os inorgânicos. A associação de Cu^{2+} com material orgânico é su te maior em solos ricos em matéria orgânica. A argila e a matéria orgânica são os compone cipais envolvidos na retenção do cobre no solo. Não é fácil discriminar o efeito de cada a matéria orgânica se acha intimamente ligada com a argila formando um complexo argila-me ria orgânica.

Além de outras evidências, a retenção seletiva de Cu^{2+} por ácidos húmicos e fúl presença de resina trocadora de cátions é uma das mais importantes, realçando a reação ent mento e a parte húmica do solo. Esses ácidos formam complexos solúveis e insolúveis no so como no caso do Zn^{2+}, os complexos formados com o ácido fúlvico, por este apresentar maior menor peso molecular, são mais solúveis. O cobre forma complexos estáveis com esses ácidos palmente por causa de seu alto teor em grupos funcionais com oxigênio, como os carboxílico licos (Stevenson & Ardakani, 1972). Segundo Stevenson & Fitch (1981) o ácido húmico liga fortemente que o fúlvico com o íon cobre e tem implicação importante nos mecanismos pelos cobre é mantido em forma solúvel no solo. Nas concentrações baixas de cobre na solução imobilizado pelos ácidos húmicos. Entretanto, à medida que os sítios de ligação forte vão turados, uma quantidade maior de cobre será solubilizada pelos ácidos fúlvicos ou composto micos mais simples.

O cobre é também adsorvido por óxidos de ferro, alumínio e manganês, como acontece zinco. Um aspecto a ser destacado aqui é a dependência da adsorção ao pH do meio. Aumenta aumenta a adsorção de cobre pelos óxidos.

Em solo, esta variação da adsorção com o pH merece alguns comentários. Camargo et a encontraram, para a maioria dos solos do Estado de São Paulo estudados, uma correlação neg tre pH e Cu^{2+} solúvel em DTPA-TEA, sugerindo diminuição da disponibilidade do elemento com do pH. Entretanto, este fato não deve ser generalizado (Jarvis, 1981), já que, no solo, o muitas vezes apresentam carga negativa a pH que o óxido puro apresentaria carga positi acontece, provavelmente, por causa da adsorção deles pela matéria orgânica e, em superfí tivas, parece que a adsorção é menos sensível a variações do pH. Além disso, em solos que calagem, a mineralização da matéria orgânica é estimulada, liberando cobre para a solução. so, é muito importante saber-se a maneira com que o cobre está ligado no solo, para se pod zer com maior clareza a relação entre pH e disponibilidade do elemento.

Parece que, como no caso do zinco, a presença de certos ânions como fosfato pode c forte retenção do elemento, tornando-o menos solúvel.

3.3. Manganês

3.3.1. Geoquímica

O manganês é um elemento litófilo ou seja, ocorre associado com os silicatos. O se tamento químico e geológico é muito parecido com o do ferro e é comum uma associação geo ambos nos diversos tipos de rochas. Entretanto, algumas diferenças ocorrem.

O manganês ocorre naturalmente em compostos, apresentando números de oxidação 2+, Geralmente tem solubilidade maior que os compostos do Fe, se considerado um dado Eh, sendo cilmente redutível que esse elemento. Essas características são essenciais para delinear diferenças na ocorrência de ambos os elementos no ambiente.

Nas rochas ígneas ele aparece fazendo parte da estrutura dos silicatos, numa

Mn:Fe de 1:60. Como o Mn acompanha o Fe tão de perto, ele é mais abundante nos basaltos que nos granitos.

Nas rochas sedimentares, onde a oxidação tem papel preponderante, existe uma separação maior entre os dois elementos, sendo o manganês mais solúvel que o ferro nas mesmas condições de Eh e pH. Nessas rochas ele tem um comportamento diferente dos outros metais pesados, sendo mais abundante nos calcários e dolomitas que nos argilitos. A formação do mineral de manganês pirolusita, em ambientes de oxidação elevada, deve ser esperada.

3.3.2. Teor de distribuição no solo

Na litosfera o teor de manganês total é avaliado em 1.000ppm (Swaine & Mitchell, 1960); na maioria dos solos varia de 20 a 3.000ppm (Lindsay, 1979), com um valor médio de 600ppm. Valadares & Camargo (1983) encontraram, para solos do Estado de São Paulo, valores de 18 a 2.395ppm para os horizontes superficiais. Uma separação dos solos, em função dos grupos de materiais de origem, não pareceu adequada neste caso, como o foi para o cobre e o zinco. Somente nos solos derivados de rocha básica é que os teores foram sensivelmente mais elevados que nos outros grupos.

Nos solos estudados, aqueles autores encontraram quatro padrões de distribuição do manganês total: a) diminuição com o aumento da profundidade; b) aumento com a profundidade; c) variação mínima com a profundidade e d) distribuição irregular com a profundidade. No primeiro grupo, houve correlação entre o teor de carbono orgânico e o manganês total, sugerindo que a matéria orgânica deve ter influenciado o acúmulo em superfície. Para o segundo grupo, o aumento do teor de argila com a profundidade em alguns solos e as condições de redução e pH em outros, foram os responsáveis pelo aumento do Mn^{2+} em profundidade. Naqueles de distribuição irregular, parece que a descontinuidade litológica teria influenciado.

Nos horizontes superficiais, a distribuição do manganês solúvel em DTPA-TEA, variou de 0,4 a 193,1ppm, enquanto o solúvel em HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N variou de 0,8 a 193ppm. Para ambos os extratores, os valores de Mn^{2+} se correlacionaram com o pH dos solos e o teor de manganês total. Lopes (1983) encontrou valores variando de 0,6 a 92,2ppm, usando o HCl 0,1N como extrator.

3.3.3. Reação no solo

Na solução do solo, o manganês ocorre em diversas formas, sendo que nas condições redox, encontradas em solos bem drenados, a forma iônica Mn^{2+} é a mais abundante. As outras espécies resultantes de hidrólise do Mn^{2+}, $Mn(OH)^+$ e $Mn(OH)_2^0$ são de menor importância. O Mn^{2+} pode formar complexos com os íons cloreto, sulfato e carbonato, formando espécies como $MnCl^+$, $MnCO_3^0$ e $MnSO_4^0$ que, em certas circunstâncias, pode assumir alguma importância em solução.

As reações redox são de fundamental importância no que diz respeito ao comportamento do manganês em solo (Leeper, 1947 e Cheng & Ouellette, 1971). A relação teórica de solubilidade dos minerais no solo influenciado pela oxirredução é mostrado na Figura 2 (adaptada de Lindsay, 1978), sendo obtida através das reações:

$$\beta\text{-}MnO_2 \text{ (pirolusita)} + 4H^+ + 2e^- \rightleftharpoons Mn^{2+} + 2H_2O \qquad \log K^0 \; 41,89$$

$$Mn^{2+} + 2H_2O \rightleftharpoons \gamma\text{-}MnOOH \text{(manganita)} + 3H^+ + e^- \qquad -25,27$$

$$\beta\text{-}MnO_2 \text{ (pirolusita)} + H^+ + e^- \rightleftharpoons \gamma\text{-}MnOOH \text{(manganita)} \qquad 16,62$$

resultando:

$$pe + pH = 16,62$$

Em pe + pH acima de 16,62 a pirolusita é o mineral mais estável. Abaixo deste valor a pirolusita fica instável com relação a MnOOH (manganita), passando a controlar a solubilidade do Mn^{2+}. Em ambientes mais redutores, a hausmanita -Mn_3O_4- torna-se a fase mais estável. A presença de CO_2 também controla a solubilidade do Mn^{2+}. Para mesmas condições de pe + pH, um aumento na concentra-

ção de CO_2 no ar em equilíbrio com a solução pode diminuir a linha de solubilidade do MnC
mostrado na Figura 2.

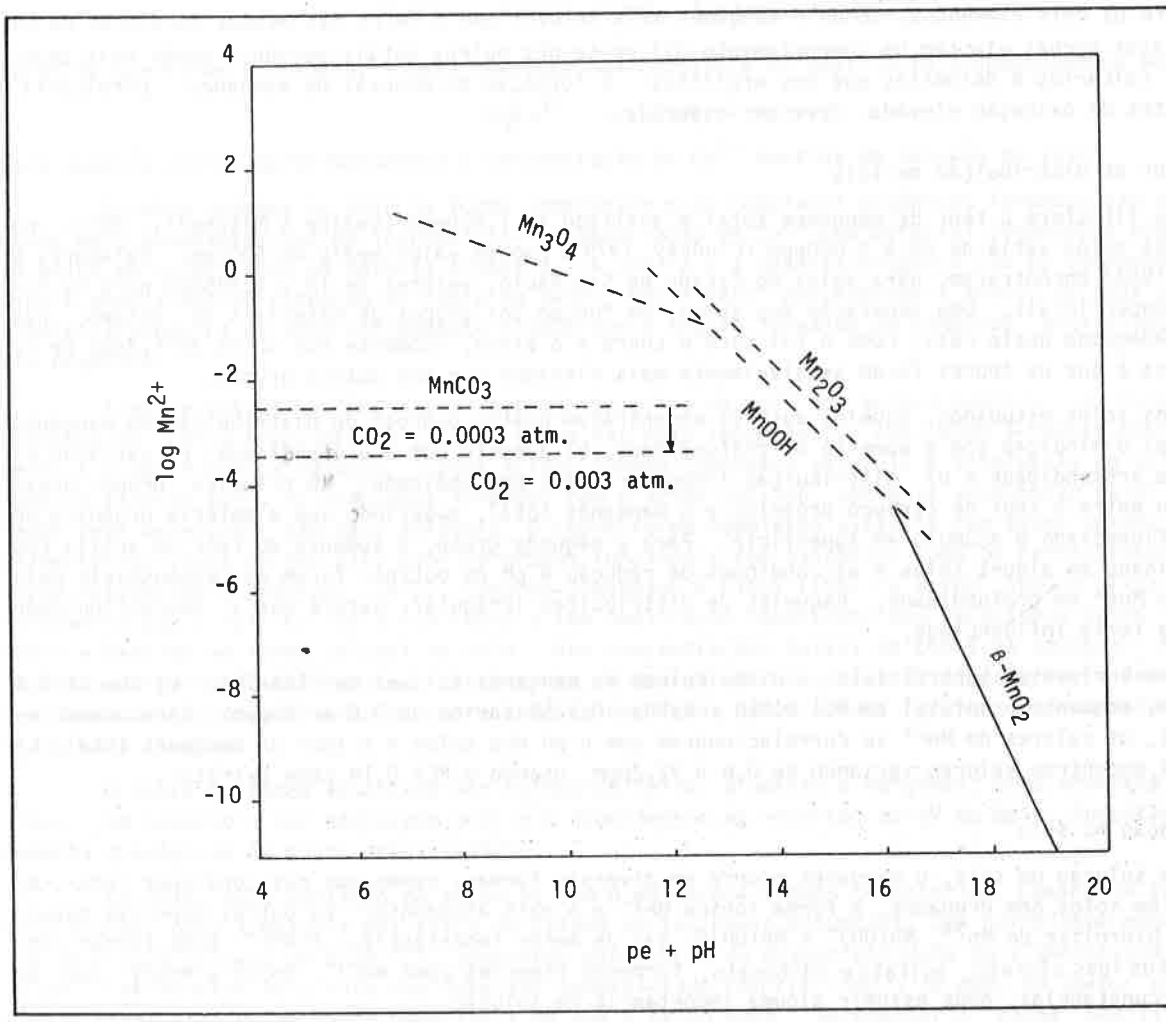


Figura 2. Solubilidade teórica de minerais de manganês no solo em função das condições r
pH) para um solo a pH 7,0 (adaptada de Lindsay, 1972).

A adsorção de Mn^{2+} pela matéria orgânica parece ser importante e foi demonstrada
meira vez por Heintze & Mann (1947), quando observaram que a extração do Mn era aumentad
de sais de cobre, zinco ou cobalto. Mais recentemente, usando métodos espectrofotométric
rográfico, Geering et alii (1969) determinaram que 93% do manganês em solução estava na fo
xada pela matéria orgânica.

De maneira muito menos intensa que o cobre, o manganês parece associar-se, em cer
ções, com ligantes orgânicos que podem influir na absorção do elemento pelas raízes das
Godo & Reisenauer (1980), por exemplo, encontraram que, apesar da solubilidade do Mn^{2+} te
do com a diminuição do pH, a absorção pela raiz diminuiu, sugerindo que os exsudatos orgâ
oriundos formam complexos com o Mn^{2+} que podem ser muito importantes em condições de camp

Reações de adsorção entre o Mn^{2+} e minerais de argila, ou por óxidos de ferro, a
de manganês, parecem ter um papel de menor importância no controle do manganês na solução
Para Reddy & Perkins (1976) a fixação do manganês por ilita e montmorilonita foi maior q
caulinita e, para todas, foi função do pH e da quantidade de manganês adicionada. Os aut

rem mecanismos como precipitação, oxidação e valências maiores, aprisionamento físico ou forte adsorção nos lugares de troca.

Shuman (1977) estudou quatro solos de diferente mineralogia, usando isoterma de adsorção de Langmuir, constatando que a capacidade de adsorção era maior para os solos com textura mais fina e maior teor de matéria orgânica, para um mesmo pH.

3.4. Ferro

3.4.1. Geoquímica

O ferro tem um comportamento químico muito peculiar, pois ocorre nos mais variados ambientes geoquímicos na crosta ou no interior da Terra. Apresenta dois números de oxidação -Fe^{3+} e Fe^{2+}- podendo combinar-se com S, O e Si, sendo que a primeira forma -3+- ocupa posições octaédricas e tetraédricas enquanto a segunda ocupa apenas as posições tetraédricas nos minerais.

O ferro presente nas rochas ígneas reflete aproximadamente o ambiente físico-químico predominante na sua formação, que é de intensa redução. Assim, como o granito se forma mais à superfície, a sua relação Fe^{3+}/Fe^{2+} é maior que no basalto.

Quando os minerais constituintes das rochas ígneas são colocados em presença de um ambiente altamente oxidante como a atmosfera terrestre, começa a haver uma predominância de Fe^{3+} sobre Fe^{2+}, que é maior nas rochas sedimentares. Entretanto, é importante se ter em mente que é o potencial redox do meio que determinará o valor dessa relação.

3.4.2. Teor e distribuição no solo

O ferro é um dos minerais constituintes da litosfera, cujo teor em média é de 5,3%, sendo o teor médio estimado para solo de 3,5% (Lindsay, 1979).

A distribuição do ferro total parece, em alguns casos, estar correlacionado com o teor de argila (Hodgson, 1963). No perfil do solo, o pH, as condições redox e a presença da matéria orgânica são fatores muito importantes relacionados com sua distribuição. Nem sempre existe uma boa correlação entre o teor de ferro no material de origem e aquele do solo, como é o caso de solos derivados de algumas rochas calcárias que apresentam um teor de ferro relativamente alto se comparado com a rocha original.

3.4.3. Reação no solo

O ferro aparece em solução como as espécies Fe^{3+} e seus produtos de hidrólise - $FeOH^{2+}$ e $Fe(OH)_2^+$ - sendo que acima de pH 8,0 a forma $Fe(OH)_4^-$ é a mais abundante. O ferro dos silicatos no solo, durante o intemperismo, é oxidado a óxidos. Dos óxidos, o mais freqüentemente encontrado em todas as regiões do mundo é a goetita (Segalen, 1964), seguida, em condições aeróbicas, pela hematita, considerada por Schwertmann (1959) um produto tipicamente tropical. A presença desses óxidos no solo reveste-se de grande importância pois são eles que praticamente governam a solubilidade do elemento, junto com outros fatores como complexação, hidrólise e condições de oxirredução.

Como no caso do manganês, as reações redox são muito importantes nas relações de solubilidade das diversas espécies de ferro. A atividade eletrônica no solo controla a relação Fe^{3+}/Fe^{2+} na solução, de acordo com a equação:

$$Fe^{3+} + e^- \rightleftharpoons Fe^{2+} \qquad \log K^o = 13{,}04$$

para a qual fica

$$\log \frac{Fe^{2+}}{Fe^{3+}} = 13{,}04 - pe$$

Quando pe = 13,04, a relação Fe^{2+}/Fe^{3+} fica igual à unidade. A modificação de uma unidade no pe causa uma modificação de dez vezes na relação. Para o solo uma reação do tipo

$$Fe(OH)_3\ (solo) + 3H^+ + e^- \rightleftharpoons Fe^{2+} + H_2O \qquad \log K^o = 15{,}74$$

foi descrita por Lindsay (1979) tirando uma relação do tipo

$$\log Fe^{2+} = 15,74 - (pe + pH) - 2pH$$

que descreve a atividade em solução da espécie de maior dominância nas condições redox e c contradas no solo, que é o Fe^{2+}.

Este íon Fe^{2+} forma complexo com a matéria orgânica, com constante de estabilida que a do Mn^{2+}, sendo menor que a do Zn e de Cu^{2+} (Irving & Williams, 1948).

Aqui também a habilidade complexante das substâncias húmicas está ligada à pre grupos carboxílico, fenólico e carbonilo. Nos estudos envolvendo complexação do Fe^{3+} com orgânica do solo, os resultados são complicados devido a reações de redução.

Esta ligação com a matéria orgânica é muito importante, uma vez que possibilita ção de ferro através do solo, inclusive em direção à raiz, e evita sua precipitação em va nos quais normalmente aconteceria este processo. Entretanto, existem poucas evidências qu plexação do ferro pela matéria orgânica do solo seja muito difundida (Goodman, 1985).

A interação do Fe^{2+} com minerais de argila se dá, ou ocupando lugares de troca ou, caso da caulinita, se adsorvendo na superfície de tetraedro de sílica. O estudo desta i muito difícil, por causa da precipitação de óxidos de ferro na superfície do mineral. Est ção é muito importante para a Pedologia, mas no caso do presente trabalho ela é de menor cia.

Em solos bem aerados a sua química é controlada principalmente pelo pH e pelas co dox do meio. Se os solos são bem aerados, aumentando-se o pH a níveis perto de 6,0 - 7,0 dade de Fe^{2+} solúvel pode diminuir sensivelmente, quando comparado com solos mais ácidos. de redução momentâneas, em determinadas condições, podem elevar a concentração do Fe^{2+} na ponto de constituir nível tóxico à planta.

3.5. Boro

3.5.1. Geoquímica

O boro é um elemento essencialmente litófilo, encontrando-se sempre combinado com nio com um número de coordenação 3 e em alguns poucos minerais com número de coordenação cendo sempre com número de oxidação 3+.

Nas rochas ígneas o teor de boro é baixo e se apresenta sempre bem distribuído. ígneas mais ácidas têm uma concentração de boro um pouco maior, onde é normalmente encont forma mineral turmalina.

A geoquímica do boro é muito influenciada pelo processo de sedimentação. Enquant varia de 5 a 10ppm nas rochas ígneas, nas sedimentares varia de 3 a mais de 300 ppm. Aqu encontra com teor baixo em sedimentos de bauxita e caulinita e alto nos argilitos, pelas zões explicadas para o Cu^{2+} e Zn^{2+}.

3.5.2. Teor e distribuição no solo

O boro ocorre na litosfera em teores que variam em torno de 50ppm. No solo seu são muito baixos. Ele pode se concentrar tanto na superfície como em profundidade, mas o lúvel em água invariavelmente se concentra na superfície (Hodgson, 1963).

Brasil Sobrinho (1965), estudando solos do Estado de São Paulo, encontrou valores riaram de 31,3 a 54,0ppm para horizontes superficiais, respectivamente num Latossolo Verm ro orto e num Podzolizado de Lins e Marília variação Marília. No horizonte B ou C os tec ram de 18,7 a 67,5ppm. De maneira geral o boro total foi encontrado em maior quantidade Podzolizados de Lins e Marília, solos derivados do Arenito de Bauru, e mais baixos para c Roxo e Latossolo Vermelho-escuro orto, respectivamente, derivados de rocha básica e sedi dernos. Os solos derivados do arenito de Bauru tinham maiores teores de boro solúvel (≃ 0,30ppm de B), enquanto os derivados de sedimentos modernos arenosos apresentavam os m

res. Tanto o boro total como o boro solúvel foram bem correlacionados com o teor de matéria orgânica do solo.

Horowitz & Dantas (1973) determinaram B solúvel em água quente e encontraram valores compreendidos entre 0,58 e 4,34ppm de B, para solos da Zona Litoral - Mata de Pernambuco.

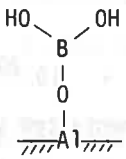
3.5.3. Reação no solo

Abaixo de pH 7,0, o boro aparece no solo principalmente como $B(OH)_3$. Apenas acima desse pH é que a espécie $B(OH)_4^-$ começa a aparecer. Pouco se sabe sobre as espécies minerais que controlam sua solubilidade, mas, como referência, os níveis de boro no solo correspondem à reação:

$$\text{Solo} - B \rightleftharpoons B(OH)_3^o \qquad \log K^o = -5,8$$

A maioria dos trabalhos na literatura referem-se ao boro como adsorvido nas superfícies das partículas coloidais do solo.

Os hidróxidos de ferro e alumínio adsorvem grandes quantidades de boro (McPhail et alii, 1972), tendo uma adsorção máxima entre pH 7,0 e 9,0. É também adsorvido por diversos minerais de argila, os quais apresentam diferentes capacidades de adsorvê-lo (Keren & Mezuman, 1981). Tudo indica que nestes minerais o boro é adsorvido preferivelmente nas arestas do cristal do que na superfície planar. Tanto nestas arestas como na superfície dos óxidos, ocorrem íons que não estão totalmente coordenados com o oxigênio da estrutura do mineral, onde H^+ e OH^- podem ser adsorvidos reversivelmente, determinando um potencial de superfície (Parks, 1965) e uma carga variável que seria neutralizada por íons de carga oposta presente na solução. Keren & O'Connor (1982) acreditam que esse mecanismo é insuficiente para explicar a adsorção do boro e acreditam que o boro deve ser adsorvido por um mecanismo específico envolvendo troca de ligantes, onde o composto de boro desloca uma OH^- da superfície e forma ligações covalentes com o cátion da estrutura, como mostrado no exemplo a seguir:



Nestas condições, a adsorção ocorre qualquer que seja a carga da superfície.

A matéria orgânica também adsorve boro e o mecanismo pode ser parecido com o delineado acima para minerais, onde existe deslocamento de OH^-.

Diversas propriedades do solo influenciam a adsorção do boro: pH, quantidade de óxidos de ferro e alumínio, teor de argila, superfície específica e quantidade de matéria orgânica. Catani et alii (1971), estudando a adsorção de B por um Latossolo Vermelho-escuro orto e um Podzólico Vermelho-amarelo, mostraram que a quantidade de B adsorvida aumentava com o pH. Elrashidi & O'Connor (1982) determinaram que a matéria orgânica, a capacidade de troca de cátions e a quantidade de Fe_2O_3 foram capazes de predizer 90% da variância nos valores do boro adsorvido.

3.6. Molibdênio

3.6.1. Geoquímica

O Mo é um elemento de transição que apresenta os mais variados números de oxidação, sendo os mais importantes o IV e o VI. Como o cobre, ele é um pouco excluído dos silicatos e freqüentemente aparece como sulfeto - MoS_2. Ele ocorre nas rochas ígneas e metamórficas ácidas ou básicas, estando presente também no granito em teores aproximadamente de 2ppm e em valores mais baixos nos basaltos.

Nos sedimentos ele ocorre em pequena quantidade (menos de 1ppm) nos arenitos e em maior quantidade nos argilitos e calcários. Normalmente, como o cobre, ele aparece mais concentrado nos sedimentos que contêm maiores quantidades de matéria orgânica.

3.6.2. Teor e distribuição no solo

O teor do molibdênio na litosfera é estimado em 2,3ppm, enquanto que sua faixa de comum para solos é de 0,2 a 5ppm. Bataglia et alii (1975), estudando 28 perfis de solos do de São Paulo, encontraram teores de molibdênio total variando de 0,12ppm na Areia Quartz 5,74ppm para o Latossolo Vermelho-escuro orto. O material de origem foi fator preponderante terminação da ocorrência do Mo. Os menores teores ocorreram em solos derivados de sediment dernos arenosos e do arenito de Bauru e os maiores nos derivados dos sedimentos modernos e chas básicas. A distribuição do elemento no perfil seguiu dois padrões diferentes. Nos so ricos houve diminuição com a profundidade, enquanto nos mais pobres houve aumento.

O teor de molibdênio solúvel em oxalato de amônio pH 3,3 acompanhou de perto o mo total e o teor de argila, matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio e o pH. A faixa de encontrada, de 0,01 a 0,16ppm, foi considerada muito baixa.

3.6.3. Reações no solo

O molibdênio se apresenta na solução do solo normalmente como o ânion molibdato, em menor quantidade como $HMoO_4^-$. A sua presença como ânion faz dele uma exceção entre os metálicos e suas reações são muito semelhantes às do íon fosfato, em meio ácido. Em valor muito altos, ele pode se combinar com o Ca^{2+} dando $CaMoO_4$ que é muito solúvel, ao contrár fato de cálcio que é muito pouco solúvel.

O mineral que controla a solubilidade do molibdênio não é exatamente conhecido 1979). Entretanto, Lindsay (1972) estimando a solubilidade do MoO_4^{2-} a partir da reação

$$MoO_4^{2-} + \text{solo} \rightleftharpoons \text{Solo} - \text{Mo} + 2OH^-$$

encontrou a relação

$$(MoO_4^{2-}) = 10^{-20,5}/(H^+)^2$$

mostrando que a concentração do molibdato aumenta cem vezes para cada unidade de aumento d

As reações de adsorção do molibdênio com a parte mineral do solo, são de extrema cia no controle de sua disponibilidade na solução. Ele é retido fortemente pelos óxidos d alumínio, por mecanismo de troca de ligantes ou penetração amônica, como já referido para sendo que aqui a energia de ligação é bem maior. Suas reações com os minerais de argila principalmente, em arestas quebradas onde grupos Al-OH ou Fe-OH encontram-se expostos.

As reações e a associação do molibdênio com a matéria orgânica ainda não são perf compreendidas. Davies (1956) relata teores baixos de Mo em solos orgânicos, enquanto Aube ta (1977) afirmam que o Mo está intimamente ligado à matéria orgânica do solo. Sinha (197 que alguns ânions polivalentes, como o fosfato, podem estar conectados à carga negativa las orgânicas, através de pontes formadas com ferro e alumínio. Se as reações do MoO_4^{2-} cidas com as do fósforo, é muito provável que este tipo de ligação também ocorrerá para es

Barrow (1970) determinou isotermas de adsorção para o molibdato em solos e mostrou adsorção era muito semelhante à do fosfato e do sulfato. Assim, as mesmas propri influenciam a adsorção destes íons devem influenciar a do molibdato, ou seja: pH, teores de ferro e alumínio, e de argila. Catani et alii (1970) e Siqueira & Velloso (1978), estu los do Brasil, verificaram que a adsorção do molibdato decrescia com o aumento do pH; os tores verificaram que as maiores adsorções se deram a pH próximo de 4,0, que é justamente da segunda constante de dissociação do ácido molíbdico. Karimian & Cox (1978) estudaram des químicas do solo que influenciam a adsorção do molibdênio e encontraram correlação ne pH em água e KCl 1N, fósforo disponível e Mo extraído com resina, e, correlação positiva ria orgânica, Fe-amorfo e Fe-livre.

LITERATURA CITADA

AUBERT, H. & PINTA, M. Trace elements in soils. Nova Iorque, Elsevier, 1977. 395p. (Development in Soil Science 7).

BARROW, N.J. Comparison of the adsorption of molybdate, sulfate and phosphate by soils. Soil Sci., 109:282-288, 1970.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R. & VALADARES, J.M.A.S. O molibdênio em solos do Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 15., Campinas, 1975. Anais... . Campinas, Instituto Agronômico, 1975. p.107-111.

BINGHAM, F.T.; MITCHELL, G.A. & PAGE, A.L. Cadmium availability rice in sludge amended soils under "flood" and "nonflood" culture. J. Environ. Qual., 50:715-718, 1976.

BOHN, H; McNEAL, B. & O'CONNOR, G. Soil chemistry. Nova Iorque, John Wiley, 1979. 329p.

BOLLAND, M.D.A.; POSNER, A.M. & QUIRK, J.P. Zinc adsorption by goethite in the absence and presence of phosphate. Aust. J. Soil Res., 15:279-286, 1977.

BRASIL, So., M.O.C. Levantamento do teor de boro em alguns solos do Estado de São Paulo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", 1965. 135p. Tese de Livre Docência.

CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. & DECHEN, A.R. Efeitos do pH e da incubação na extração do manganês, zinco, cobre e ferro do solo. R. bras. Ci. Solo, 6:83-88, 1982.

CATANI, R.A.; ALCARDE, J.C. & FURLANI, P.R. A adsorção de molibdênio pelo solo. An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiróz", 27:223-237, 1970.

CATANI, R.A.; ALCARDE, J.C. & KROLL, F.M. A adsorção de boro pelo solo. An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiróz", 28:189-199, 1971.

CHENG, B.T. & OUELLETTE, G.J. Manganese availability in soil. Soils Fert., 34:589-595, 1971.

DANTAS, H.S.; HOROWITZ, A.; LEITE, J.P. & CARNEIRO, M.O.M. Cobre em solos do Agreste de Pernambuco. Cad. Ômega, 2:45-60, 1978.

DAVIES, E.B. Factors affecting molybdenium availability in soils. Soil Sci. 81:209-216, 1956.

DONER, H.E. Chloride as a factor in mobilities of Ni(II), Cu(II) and Cd(II) in soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 42:882-885, 1978.

ELRASHIDI, M.A. & O'CONNOR, G.A. Boron sorption and desorption in soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 46:27-31, 1982.

FULLER, W.H.; KORTE, N.E.; NIEBLA, E.E. & ALESII, B.A. Contribution of soil to the migration of certain common and trace elements. Soil Sci., 122:223-235, 1976.

GADE, R.R. & LAITNEN, H.A. Study of heavy metal adsorption by hidrous iron and manganese oxides. Anal. Chem., 46:2022-2026, 1974.

GEERING, H.R.; HODGSON, J.F. & SDANO, C. Micronutrient cation complexes in soil solution. IV. The chemical stat of manganese in soil solution. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 33:81-85, 1969.

GODO, G.H. & REISENAUER, H.M. Plant effects on soil manganese availability. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:993-995, 1980.

GOLDSCHMIDT, V.M. Geochemistry. Oxford, Claredon, 1958. 730p.

GOODMAN, B.A. The characterization of iron complexes with soil organic matter. In: STUCK
GOODMAN, A. & SCHWERTMANN, U. Iron in soils and clay minerals. Bad Windsheim, NATO Adva
Study Institute, 1985. p.842-851.

HEINTZE, S.G. & MANN, J.G. Soluble complexes of manganic manganese. J. Agric. Sci., 37:23
1947.

HODGSON, J.F. Micronutrients in soils. Adv. agron., 15:119-159, 1963.

HOROWITZ, A. & DANTAS, H.S. Boro disponível nos solos da zona Litoral-Mata de Pernambuco.
agropec. bras., Sci. Agron. 8:163-168, 1973.

HOROWITZ, A. & DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. IV
na zona Litoral-Mata de Pernambuco. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 1
Santa Maria, 1973. Anais... Santa Maria, Universidade Federal de Santa Marria, 1975.
214-231.

IRVING, H. & WILLIAMS, R.J.P. Order of stability of metal complexes. Nature, 162:746-747

JARVIS, S.C. Copper concentrations in plants and their relationship to soil properties.
Loneragan, J.F.; Robson, A.D. & Graham, R.D. eds. Copper in soils and plants. Sydney,
Academic Press, 1981. p.265-285.

KALBASI, M.; RACZ, G.C. & LOEWEN-RUDGES, L.A. Mechanics of zinc adsorption by iron and al
oxides. Soil Sci., 125:146-150, 1978.

KARIMIAN, N. & COX, F.R. Adsorption and extractability of molybdenium in relation to some
properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 42:757-761, 1978.

KEREN, N.R. & MEZUMAN, U. Boron adsorption by clay minerals using a phenomeno logical equ
Clays and Clay Miner., 29:198-204, 1981.

KEREN, R. & O'CONNOR, G.A. Effect of exchangeable ions and ionic strength on boron adsorp
montmorillonite and illite. Clays and Clay Miner., 30:341-346, 1982.

KORTE, N.E.; SKOPP, J.; FULLER, W.H.; NIEBLA, E.E. & ALESII, B. A. Trace element movement
soils: Influence of physical and chemical properties. Soil Sci., 122:350-359, 1976.

KRAUSKOPF, K.B. Geochemistry of micronutrients. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LIN
W.L. eds. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Sci. Soc. Amer., 1972. p.7-40

LEEPER, G.W. The forms and reaction of manganese in the soil. Soil Sci., 63:79-94. 1947.

LEHMAN, D.S. Some principles of chelation chemistry. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 27:167-17
1963.

LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.
GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. ed. Micronutrients in Agriculture, Madison, Soil Science
Society of America, 1972. p.41-78.

LINDSAY, W.L. Chemical reactions affecting the availability of micronutrients in soils. I
Andrew, C.S. & Kamprath, E.J. Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical
soils. Melbourne, CSIRO, 1978. p.153-167.

LINDSAY, W.L. Chemical equilibria in soils. Nova Iorque, John Wiley, 1979. 449p.

LOPES, A.S. Solos sob "Cerrado". Características, propriedades e manejo. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. 162p.

MATTIGOD, S.V. & SPOSITO, G. Improved method for estimating the standard free energies of formation (ΔGf^0, 298,15) of smectites. Geochim. Cosmodium. Acta, 42:1753-1762, 1978.

MATTIGOD, S.V.; GIBALI, A. & PAGE, A.L. Effect of ionic strenght and ion pair formation on the adsorption of nickel by kaolinite. Clays and Clay Miner., 27:411-416, 1979.

McPHAIL, M.; PAGE, A.L. & BINGHAM, F.T. Adsorption interaction of monosilicic and boric acid on hidrous oxides of iron aluminium. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36:510-514, 1972.

NORVELL, W.A. & LINDSAY, W.L. Reaction of EDTA complexes of Fe, Zn, Mn and Cu with soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33:86-91.

PARKS, G.A. The isoeletric points of solid oxids, solid hidroxides, and aqueous hidroxy complex systems. Chem. Rev., 65:177-198, 1965.

QUIRK, J.P. & POSNER, A.M. Trace element adsorption by soil minerals. In: NICHOLAS, D.J. & EGON, A.R. eds. Trace element in soil-plant-animal systems. Nova Iorque, Academic Press., 1975. p.95-107.

RANDHAWA, N.S. & BROADBENT, F.E. Soil organic matter - metal complexes: 5. Reactions of zinc with metal compounds and humic acid. Soil Sci., 99:295-300, 1965.

REDDY, M.R. & PERKINS, H.F. Fixation of manganese by clay minerals. Soil Sci., 121:21-24, 1976.

ROESCH, V. Fatores que afetam a adsorção de zinco em solos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1979. 91p. Dissertação de Mestrado.

SCHNITZER, M. & SKINNER, S.I.M. Organo metalic interactions in soils: 5. Stability constants of Cu^{2+}, Fe^{2+} and Zn^{2+} - fulvic acid complexes. Soil Sci., 102:361-365, 1966.

SCHWERTMANN, U. Die Fraktionerte Extraction der freien Eisenoxyde in Böden: ihre mineralogischen Formen und Entste hungeweisen Zeitung Plantzen Düng, 84:194-204, 1959.

SEGALEN, P. Le fer dans le sols. Paris, ORSTOM, 1964. 150p.

SINHA, M.K. Organo-metalic phosphats. I. Interaction of phosphorus compounds with humic substancies. Plant and Soil. 35:471-481, 1971.

SIQUEIRA, C. & VELLOSO, A.C. Adsorção de molibdato em solos sob vegetação de cerrado. R. bras. Ci. Solo, 2:24-28, 1978.

SHUMAN, L.M. Effect of soil properties on manganese interaction isotherms for four soils. Soil Sci., 124:77-81, 1977.

SPOSITO, G. & MATTIGOD, S.V. GEOCHEM: A computer program for the calculation of chemical equilibria in soil solutions and other natural water systems. Riverside, The Kearney Foundation of Soil Science, University of California, 1980. 92p.

STANTON, D.A. & BURGER, R. Du T. Availability to plants zinc sorbed by soil and hydrous iron oxides. Geoderma, 1:13-17, 1967.

STANTON, D.A. & BURGER, R. Du T. Studies on zinc in selected Orange Free State soils. V. Mechanisms for the reactions of zinc with iron and aluminum oxides. Agrochemophysica, 2 1970.

STEVENSON, F.J. & ARDAKANI, M.S. Organic-matter reactions involving micronutrients in soil MORTVEDT, J.J. e GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. Micronutrients in agriculture. Madison, Sci. Soc. Am., 1972. p.79-114.

STEVENSON, F.J. & FITCH, A. Reactions with organic-matter. In: Loneragan, J.F.; Robson, A. Graham, R.D., eds., Copper in soils and plants. Sydney, Academic Press., 1981. p.69-96

STREET, J.J.; LINDSAY, W.L. & SABEY, B.R. Solubility and plant uptake of cadmium in soil a with cadmium and sewage sludge. J. Environ. Qual. 6:72-77, 1977.

SWAINE, D.J. & MITCHELL, R.L. Trace element distribution in soil profiles. J. Soil Sci., 347-368, 1960.

TARDY, Y. & GARRELS, R.M. Prediction of Gibbs energies of formation of hydroxids, oxides a aqueous ions Geochim. Cosmochim., 41:87-92, 1977.

VALADARES, J.M.A.S. O zinco em solos do Estado de São Paulo. Piracicaba, Escola Superior Agricultura "Luiz de Queiroz", 1972. 72p. Tese de doutoramento.

VALADARES, J.M.A.S. Cobre em solos do Estado de São Paulo. I. Cobre total. Bragantia, 3 132, 1975.

VALADARES, J.M.A.S. & CAMARGO, O.A. Manganês em solos do Estado de São Paulo. R. bras. C 7:123-130, 1983.

VINOGRADOV, A.P. The geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils. New Consultants Bureau, 1959. 209p.

CAPÍTULO 6

MICRONUTRIENTES: DISPONIBILIDADE E INTERAÇÕES

Ondino C. Bataglia[1]

RESUMO

A disponibilidade de um micronutriente corresponde à fração do elemento no solo, acessível às raízes das plantas. Depende das condições de solo, do clima, do tipo de planta e das interações da planta com o ambiente. Os micronutrientes Cu e Zn são adsorvidos pela matéria orgânica do solo, e ocorrem na solução do solo principalmente como complexos solúveis. A disponibilidade desses dois micronutrientes não é controlada por precipitação, ao contrário do Fe e Mn cuja solubilidade é largamente governada por reações de precipitação e também por oxidação-redução. A disponibilidade do B é controlada principalmente pelo pH, adsorção à matéria orgânica e umidade do solo. A calagem é uma prática importante no manejo dos micronutrientes, aumentando a disponibilidade de Mo e diminuindo as de B, Cu, Fe e Mn. O material de origem dos solos é outro fator determinante da disponibilidade de nutrientes. Solos derivados de rochas básicas são em geral melhores fornecedores de nutrientes do que solos derivados de sedimentos arenosos. As interações P-Zn e Fe-Mn são as mais estudadas, porém, o conhecimento de outras interações se faz necessário, para melhor controle da disponibilidade de micronutrientes para o desenvolvimento da agricultura brasileira.

Termos de indexação: Micronutrientes, Dispinibilidade de micronutrientes, Interações dos micronutrientes.

SUMMARY

MICRONUTRIENTS: AVAILABILITY AND INTERACTIONS

Micronutrient availability may be defined as the nutrient fraction in the soil which is accessible to plant roots. It depends on soil conditions, climate and plant interactions with the soil environment. The micronutrients Cu and Zn are adsorved by soil organic matter. In soil solution Cu exists as organic complex and Zn as complex or Zn^{2+}. Their availability is not controlled by precipitation, while Fe and Mn solubilities are largely governed by precipitation and oxidation-reduction reactions. Boron availability is determined by soil pH, organic matter and moisture. Liming increases Mo and decreases B, Cu, Fe, Mn and Zn availabilities. The soil parent material is also an important factor determining micronutrient availability. The P-Zn and Fe-Mn interactions are the most studied ones, but the knowledge about other plant and soil interactions is necessary for a better control of micronutrient availability to improve brazilian agriculture.

Index terms: Micronutrients, micronutrient availability, micronutrient interactions, factors affecting micronutrient availability.

[1] Pesquisador Científico - Instituto Agronômico, Caixa Postal 28, CEP 13001 - Campinas, SP.

INTRODUÇÃO

O termo disponibilidade de um nutriente é de uso muito freqüente em nutrição de p fertilidade do solo, mas nem sempre usado corretamente. De uma forma simples, disponibilid fração do nutriente no solo que é acessível às raízes das plantas (Mengel & Kirkby, 1982). termo engloba não só o estado físico e químico do nutriente no solo mas também os efeitos zes, determinados pelo metabolismo das plantas. Em vista dos diversos fatores que atuam, n sível determinar e expressar quantitativamente a disponibilidade de nutrientes no solo.

Apesar disso, a disponibilidade pode ser associada ou correlacionada com índices, g te obtidos por métodos de extração química, que dão uma indicação da fertilidade do solo.

As dificuldades do estabelecimento desses índices é relativamente maior para os trientes, por causa da baixa ocorrência e dos mecanismos que governam as reações de dispon de. O conhecimento desses fatores é de interesse primordial, para uma melhor avaliação do de cada nutriente e para definir o manejo do solo para fins de correção de distúrbios nutr por deficiências ou excessos, visando a produtividade das plantas cultivadas.

Os micronutrientes são absorvidos pelas plantas da solução do solo, principalmente iônica. À medida que esses íons são absorvidos, há um decréscimo da concentração que tende equilibrado através de diversos processos que incluem a liberação de íons do complexo de tr lubilização de minerais cristalinos e decomposição de matéria orgânica. Por outro lado, ap ção de um nutriente na forma de fertilizante, o aumento de concentração do íon na solução tende a provocar reações que levam a novo equilíbrio. Nesse caso, se não houver rápida pelas plantas, o equilíbrio é atingido através de reações de precipitação, adsorção e abso microorganismos.

Neste trabalho são discutidos alguns aspectos que controlam a disponibilidade dos trientes, através das reações de equilíbrio no solo, dos efeitos das raízes e das relaçõe planta envolvidas e interações entre alguns micronutrientes. Em vista da amplitude e compl serão discutidas apenas os processos mais marcantes que controlam a disponibilidade dos trientes, procurando-se no final dar algumas indicações do uso dos conhecimentos disponiv efeito de correção dos distúrbios nutricionais com micronutrientes.

CONDIÇÕES DO SOLO QUE AFETAM A DISPONIBILIDADE

1. Equilíbrio com a fase sólida - Dependência do pH

As concentrações ou atividades das formas iônicas dos micronutrientes na solução d que geralmente são usadas pelas plantas em condições de solos bem arejados, são bastante d tes do pH. Essa dependência pode ser determinada através das reações que controlam a sol de desses íons, propostas por Lindsay (1972) conforme aparecem no Quadro 1 e na Figura 1.

Quadro 1. Reações que controlam a solubilidade de micronutrientes em equilíbrio com a solução do solo.

Nutriente	Reação			pK
Fe	$Fe^{3+} + 3OH^-$	$\rightleftharpoons$	$Fe(OH)_3(s)$	39,4
Mn	$MnO_2(s) + 2H^+$	$\rightleftharpoons$	$Mn^{2+} + 1/2O_2 + H_2O$	0,9
Zn	Zn^{2+} + solo	$\rightleftharpoons$	Zn - solo + $2H^+$	6,0
Cu	Cu^{2+} + solo	$\rightleftharpoons$	Cu - solo + $2H^+$	3,2
Mo	MoO_4^{2-} + solo	$\rightleftharpoons$	Mo - solo + $2OH^-$	-20,5

Fonte: adaptado de Lindsay (1972).

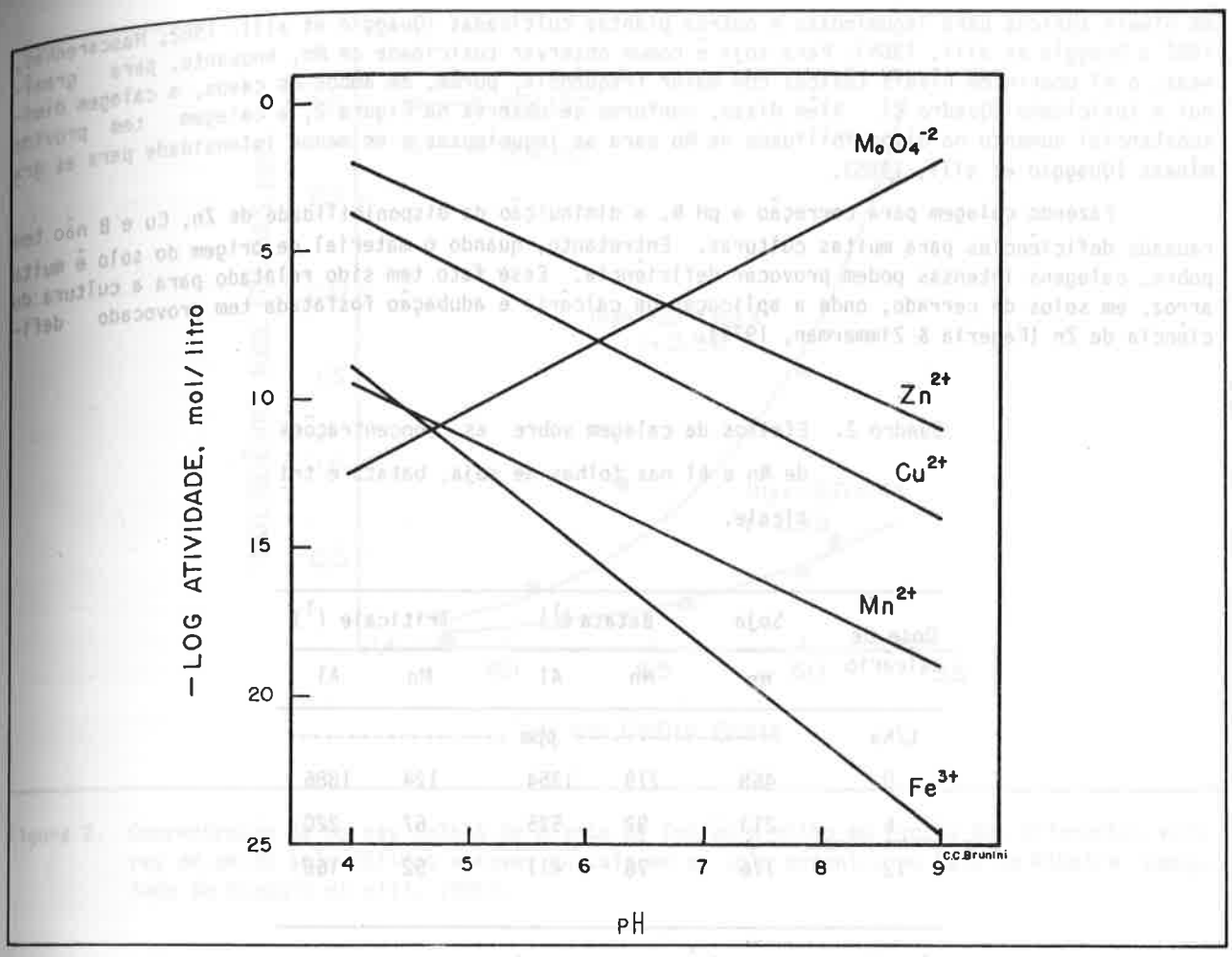


Figura 1. Espécies iônicas em equilíbrio na solução do solo em função do pH: Fe^{3+} em equilíbrio com óxidos férricos hidratados; Mn^{2+} com MnO_2; Ca^{2+}, Zn^{2+} e MoO_4^{2-} em equilíbrio com Cu, Zn e Mo do solo, respectivamente (adaptado de Lindsay, 1972).

A solubilidade do ferro é largamente controlada pelos óxidos hidratados. Além da forma Fe^{3+}, outras espécies iônicas predominam na faixa de pH entre 5 e 9, devido à hidrólise de Fe^{3+}.

A solubilidade do Mn no solo é controlada principalmente pela dissolução de MnO_2 que é a forma normalmente presente em solos bem arejados. A presença da forma Mn^{4+} é extremamente baixa, enquanto a forma Mn^{3+} é instável. A maior parte ocorre na forma Mn^{2+}, porém a solubilidade é bastante dependente de pH. Cada incremento de uma unidade de pH provoca uma redução de 100 vezes na atividade do íon na solução do solo.

Para os micronutrientes Cu, Zn, B e Mo, não se definiu ainda um ou mais compostos que controlem a solubilidade desses íons. Geralmente, a solubilidade no solo é menor do que a observada para a maioria dos minerais que contém esses elementos, principalmente para Zn e Cu. Em vista dessa dificuldade, Norvell & Lindsay (1969) estabeleceram experimentalmente as solubilidades para Cu e Zn do solo (Quadro 1) e Lavy & Barber (1964) para o Mo.

Fica evidente pela Figura 1 que, ao contrário do Mo, cuja atividade na solução do solo aumenta com o aumento do pH, a solubilidade do Cu, Fe, Mn e Zn decresce.

A prática da calagem em solos ácidos, tem mostrado claramente esses efeitos do pH sobre a disponibilidade de micronutrientes, avaliada pela absorção dos mesmos pelas plantas. Os efeitos em geral tem se mostrado benéficos, uma vez que a calagem diminui a absorção de Mn e Al, que ocorrem

em níveis tóxicos para leguminosas e outras plantas cultivadas (Quaggio et alii, 1982; 1982 e Quaggio et alii, 1985). Para soja é comum observar toxicidade de Mn, enquanto, neas, o Al ocorre em níveis tóxicos com maior freqüência; porém, em ambos os casos, a nui a toxicidade (Quadro 2). Além disso, conforme se observa na Figura 2, a calagem substancial aumento na disponibilidade de Mo para as leguminosas e em menor intensida míneas (Quaggio et alii, 1985).

Fazendo calagem para correção a pH 6, a diminuição da disponibilidade de Zn, causado deficiências para muitas culturas. Entretanto, quando o material de origem d pobre, calagens intensas podem provocar deficiência. Esse fato tem sido relatado par arroz, em solos de cerrado, onde a aplicação de calcário e adubação fosfatada tem pro ciência de Zn (Fageria & Zimmerman, 1979).

Quadro 2. Efeitos da calagem sobre as concentrações de Mn e Al nas folhas de soja, batata e triticale.

Dose de calcário	Soja	Batata (1)		Triticale (1)	
	Mn	Mn	Al	Mn	Al
t/ha	ppm				
0	468	219	1354	124	1886
6	213	92	525	67	220
12	176	76	411	52	168

(1) Médias para três tipos de calcário.

Fonte: adaptado de Quaggio et alii (1982 e 1985).

2. Óxido-redução

A disponibilidade de alguns nutrientes como Fe, e especialmente Mn, é bastan estado de oxidação do solo. Solos bem drenados e arejados têm um potencial de óxido 400 e 700 mV enquanto, em solos inundados, esse potencial cai para valores entre -25 acordo com a seqüência termodinâmica da redução em solos inundados, apresentada por a redução $Mn^{+4} \rightarrow Mn^{+2}$ ocorre em solos com potencial óxido-redução de 401mV enqua $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ se dá em potencial de -185mV. Isso explica porque, mesmo em solos não toxicidade de Mn é freqüente. A toxicidade de Fe tem sido mais verificada em condiç toras, como na cultura de arroz irrigado (Barbosa Filho et alii, 1983), ou em condiçõ mo em soja cultivada em oxisolos, após períodos de intensa pluviosidade (Bataglia 1981). Neste último caso, entretanto, a toxicidade desaparece assim que houver dren to do solo.

A disponibilidade tanto de Mn como de Fe, portanto, é aumentada pela redução vez que passam a predominar as formas iônicas reduzidas Fe^{2+} e Mn^{2+}, que são prefere sorvidas pelas plantas e seu acúmulo induz à toxicidade.

Para o Cu, o íon Cu^{2+} é a forma predominante em solos com boa aeração, mas dução para Cu metálico em condições de pouca aeração, possivelmente diminuindo a di

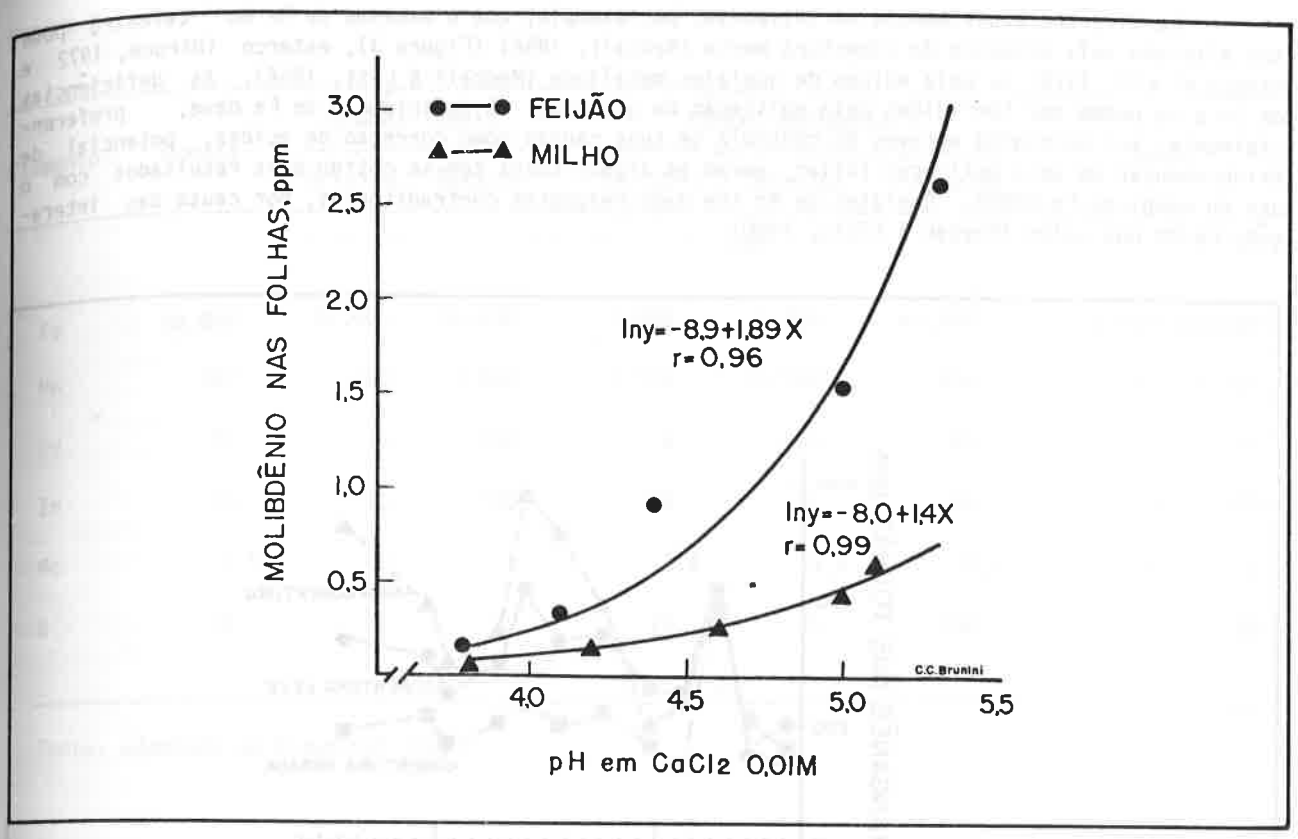


Figura 2. Concentração de Mo nas folhas de planta de feijão e milho em função dos diferentes valores de pH do solo obtidos através da calagem em solo orgânico no Vale do Ribeira (adaptado de Quaggio et alii, 1985).

Para o Zn, a forma Zn^{2+} é predominante no solo, não devendo ser reduzido a Zn metálico mesmo em condições redutoras (Knezek & Ellis, 1980), não afetando, portanto, sua disponibilidade.

Para o Mo, há evidência de aumento de disponibilidade em condições redutoras, desde que ocorram altos teores de matéria orgânica. Nesse caso, é possível a ocorrência de toxicidade de Mo em pastagem, desde que o material de origem dos solos seja rico suficientemente para suprir o nutriente. Em solos ácidos e bem arejados, Horowitz (1978) mostrou que a forma predominante do Mo é o íon $HMoO_4^-$. Acima de pH 7, mesmo em condições redutoras passa a predominar o íon MoO_4^{2-}.

3. Matéria orgânica e quelatos

A matéria orgânica do solo é constituída por ácidos húmicos e fúlvicos e por outro grupo de compostos que incluem ácidos orgânicos, polifenóis, aminoácidos, peptídeos, proteínas e polissacarídeos. Esses compostos são responsáveis pela formação de complexos orgânicos com metais do solo, podendo diminuir a solubilidade desses metais, através da formação de complexos com ácidos húmicos, ou aumentar a disponibilidade quando complexados por ácido fúlvico e os outros compostos orgânicos descritos anteriormente (Stevenson & Ardakani, 1972).

Nos solos minerais, alguns metais servem como ponte entre complexos húmicos e a superfície de argila, enquanto outros, ocupando sítios periféricos, são disponíveis para trocar com raízes ou outros ligantes naturais. Em solos orgânicos é comum haver formação de complexos insolúveis, diminuindo sensivelmente a disponibilidade dos micronutrientes.

O uso de adubações orgânicas ou adição de agentes quelatizantes alteram significativamente a disponibilidade de nutrientes, podendo ser usados como técnicas de manejo de solo visando a correção de deficiências ou de excessos de determinados nutrientes.

Em diversos experimentos verificou-se, por exemplo, que o excesso de Mn em cafeei ser aliviado pela presença de cobertura morta (Medcalf, 1956) (Figura 3), esterco (Hiroce, Hiroce et alii, 1976) ou pela adição de quelatos metálicos (Medcalf & Lott, 1956). As defi de Zn e Cu podem ser corrigidas pela aplicação de quelatos. A deficiência de Fe deve, p cialmente, ser corrigida através do controle de suas causas como correção de acidez, poten óxido-redução ou pela aplicação foliar, porém em alguns casos têm-se obtido bons resultados uso do complexo Fe-EDDHA. Quelatos de Mn têm dado respostas contraditórias, por causa das ções Fe-Mn nos solos (Knezek & Ellis, 1980).

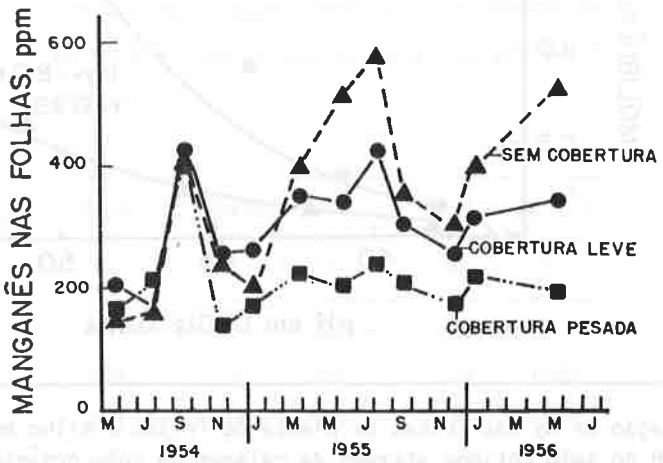


Figura 3. Efeito da cobertura morta sobre a concentração de Mn em folhas de cafeeiro de Medcalf, 1956).

4. Material de origem

A quantidade total de micronutrientes no solo varia muito em dependência do materia gem e dos processos de formação do solo. A determinação dos teores totais de cada nutrient sar de não dar idéia de disponibilidade, ajuda indicar a potencialidade para toxicidade ou ciência de cada nutriente no solo.

Krauskopf (1972) compilou dados médios de ocorrência de micronutrientes na crosta tre, em alguns materiais de origem e em solos (Quadro 3). Conforme se observa, a faixa de nos solos é muito grande, por causa da ocorrência também variável no material de origem dos

Valadares (1972) observou que, em solos de São Paulo, os teores de Zn solúveis em e HCl 0,1N eram significativamente correlacionados com os teores de Zn total enquanto este dominantemente determinado pelo material de origem do solo. Da mesma forma, o material de teve um efeito marcante sobre a ocorrência de Mn (Valadares & Camargo, 1983), de Cu (Valadar e de Mo (Bataglia et alii, 1976). Os teores solúveis, nos três casos, mostraram boa correla os teores totais, indicando a importância do material de origem na disponibilidade do nutri solos derivados de rochas básicas foram os que apresentaram os teores totais mais elevados Mn, Mo e Zn, enquanto os derivados do arenito de Bauru e de sedimentos modernos arenosos fo mais pobres para a maioria desses micronutrientes.

Quadro 3. Abundância de micronutrientes na crosta terrestre, em materiais de origem e em solos.

Elemento	Crosta	Rochas ígneas		Rochas sedimentais			Solos
		Granito	Basalto	Calcário	Arenito	Folhelho	
	ppm						
Fe	56.000	27.000	86.000	3.800	9.800	47.000	10.000-100.000
Mn	950	400	1.500	1.100	10.100	850	20- 3.000
Cu	55	10	100	4	30	45	10- 80
Zn	70	40	100	20	16	95	10- 300
Mo	1,5	2	1	0,4	0,2	2,6	0,2- 10
B	10	15	5	20	35	100	7- 80

Fonte: adaptado de Krauskopf (1972).

INFLUÊNCIA DA PLANTA SOBRE A DISPONIBILIDADE

Como se definiu no início deste trabalho, o micronutriente é disponível quando se torna acessível às raízes. Conseqüentemente, são condições essenciais de disponibilidade, tanto a presença de raízes no meio onde se encontram esses nutrientes quanto a atividade das mesmas alterando o ambiente próximo.

As raízes liberam para o ambiente uma quantidade apreciável de materiais orgânicos e inorgânicos. Os exsudatos orgânicos das raízes bem como subprodutos de microrganismos formam complexos orgânicos que facilitam o transporte e a absorção de nutrientes. Há indicações de que 75% do Zn solúvel e 98% do Cu estão presente na forma de complexos orgânicos solúveis, em solos calcários (Lucas & Knezek, 1972).

A exsudação de compostos orgânicos, como aminoácidos, açúcares e ácidos orgânicos, afetam a flora microbiana que se alimenta desses exsudatos e têm um papel importante no estado de oxidação do Mn no solo. Em certas condições, promovem a oxidação do Mn^{2+} a Mn^{4+} acentuando a deficiência em solos de reação próxima da neutralidade ou alcalinos. O uso de fumigantes, ao eliminar essa microflora oxidante de Mn, pode provocar tanto a correção de deficiência em solos alcalinos ou acentuar a toxicidade em solos ácidos (Lucas & Knezek, 1972 e Lopes, comunicação pessoal).

A variação de pH na vizinhança das raízes pode ter efeitos marcantes sobre a solubilização de nutrientes. A necessidade de manter a neutralidade elétrica e o balanço cátion-ânion faz com que a raiz libere para o ambiente íon H^+, no caso de absorção de excesso de cátions em relação a ânions, e, OH^- ou HCO_3^- no caso de excesso de absorção de ânions (Moore, 1974). Essa diferença de comportamento é bastante dependente da forma com que se fornece o nitrogênio às plantas, uma vez que esse é o nutriente absorvido em maior proporção pela maioria delas. Quando o N é fornecido na forma de NO_3^- ocorre maior liberação de OH^- ou HCO_3^-, o que provoca uma alcalinização de rizosfera, ao contrário do que acontece com plantas nutridas apenas com $N\text{-}NH_4^+$, quando há uma tendência de acidificação da rizosfera pela liberação de íons H^+.

Nos solos ácidos é bastante comum ocorrer toxicidade de Mn, principalmente em solos arenosos, quando se usam fertilizantes amoniacais, em decorrência de acidificação do solo. Apesar de

grande parte dessa acidificação ser conseqüência da nitrificação do NH_4^+, é possível, princ te no caso de plantas perenes como o café, que parte da acidificação seja devida à absorção cial cátion/ânion. Outra conseqüência da acidificação da rizosfera nos solos ácidos é o au toxicidade do Al que inibe o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, tem grande efe o crescimento da planta e disponibilidade dos micronutrientes.

INTERAÇÕES

Além da capacidade do solo em fornecer micronutrientes, uma nutrição adequada de uma série de outros fatores, entre os quais: a velocidade de absorção, distribuição e tran nutrientes para sítios funcionais e a mobilidade dos nutrientes dentro da planta. Ocorrem ções entre os micronutrientes, bem como, desses com alguns dos macronutrientes. Essas i podem ocorrer tanto no solo, como dentro da planta. Considerando que elas modificam a nut plantas, essas interações precisam ser entendidas e consideradas, a fim de se fornecer um to adequado de micronutrientes às plantas.

Entende-se por interação, uma influência ou uma ação mútua ou recíproca de um elem bre outro em relação ao crecimento da planta. Ou ainda, a resposta diferencial de um ele combinação com níveis variados de um segundo nutriente aplicado simultaneamente, isto é, nutrientes combinam-se para produzir um efeito aditivo ou negativo não isoladamente. Por exe resposta pode ser medida para Zn ou P, mas, a soma das respostas individuais podem ser bem que a resposta dos dois aplicados conjuntamente.

As interações dos micronutrientes podem ocorrer com macronutrientes, especialmente com pH envolvendo Ca e Mg e com outros micronutrientes. Serão citadas a seguir, apenas aqu comumente observadas na literatura brasileira.

1. Interação P-Zn

Essa interação provoca, geralmente, uma desordem no crescimento das plantas, comum sociada com altos níveis de P disponível ou aplicações elevadas de P ao solo. Os sintomas prevenidos mediante aplicação de Zn ao solo.

De acordo com Olsen (1972), há quatro causas possíveis para explicar a interação P-

a) Interação no solo - Diversos autores tentaram mostrar que a formação de $Zn_3(PO_4$ lo era a causa de deficiência de Zn, induzida por P, mas os níveis de solubil composto inviabilizaram essa hipótese. Outros experimentos evidenciaram que es causa pouco possível.

b) Menor velocidade de transporte do Zn das raízes para parte aérea. Os resultado mentais são um tanto contraditórios para aceitação dessa hipótese, mas de manei os experimentos demonstram que em todos os casos de deficiência de Zn, induz aplicação de P, uma pequena adição de Zn é suficiente para aliviar a deficiênci

c) Efeito de diluição - Esse tipo de interação ocorre, geralmente, quando o solo é P e Zn. Com a adição de P, há um aumento de crescimento que não é acompanhado sorção de Zn, para manter um nível de suficiência na parte aérea. Todavia, ess cação para a interação nem sempre tem sido satisfatória, uma vez que a quantida extraída pela parte aérea pode ser ou não afetada pela aplicação de P.

d) Distribuição de Zn entre raízes e parte aérea - Em geral, há uma tendência do Z mular nos pontos próximos aos locais de absorção, especificamente nas raízes. mobilidade do Zn dentro da planta acentua o acúmulo preferencial nas raízes, p mente nos casos de deficiência induzida pela aplicação de P. Há indicação que cado interfere com a translocação do Zn para a parte aérea.

e) Efeitos fisiológicos - Alguns trabalhos sugerem que o P interfere na utilização la planta, mas não se conhecem ainda mecanismos metabólicos ou funcionais par plicação do efeito. Não há até agora demonstração convincente.

Não se pode pretender que uma determinada hipótese explique as causas da interação. É possível que as várias hipóteses se complementem, na explicação do resultado final.

A interação P-Zn tem sido freqüentemente observada no Brasil (Bahia & Braga, 1974; Baumgartner, 1974; Fagéria & Zimmermann, 1979 e Cordeiro et alii, 1979). O problema dessa interação é bastante sério, principalmente na região dos cerrados onde a ocorrência de solos deficientes em Zn é bastante elevada (Lopes, 1983). A recomendação de adição de Zn às fórmulas de adubação, para culturas de arroz e milho, já é rotineira nessas regiões.

2. Interação Fe-Mn

Tem sido bastante comum, principalmente em café cultivado em solos ácidos, a ocorrência de sintomas de toxicidade de Mn, manifestada na forma de uma clorose internerval, bastante semelhante à deficiência de Fe. Essa toxicidade é associada com a menor absorção e transporte do Fe, podendo ser corrigida pelo fornecimento desse nutriente, através de pulverização foliar ou diretamente às raízes na forma de quelatos (Olsen, 1972).

Medcalf & Lott (1956) demonstraram que a aplicação de quelados dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn, provocou sensível aumento de produção na medida em que houve um decréscimo na concentração de Mn nas folhas. De acordo com a interpretação de Malavolta & Kliemann (1985), o aumento de produção obtido naquele experimento estava bastante relacionado com o aumento da relação Fe/Mn.

O cafeeiro é uma planta especialmente sensível a essa interação. Gallo et alii (1970) verificaram, nos solos Podzolizados Lins e Marília, que 53% dos cafezais eram deficientes em Fe. Nesses solos, a relação Fe/Mn média nas folhas foi de 0,33, enquanto que, no Latossolo Roxo, onde não se detectou deficiência de Fe a relação Fe/Mn foi de 1,09. Por outro lado, em pomares cítricos, Rodriguez & Gallo (1961) não detectaram nenhum caso de deficiência de Fe. Nos pomares deficientes em Mn (6 a 13ppm nas folhas) a relação Fe/Mn média foi de 15,2, mostrando haver um comportamento diferencial para essas duas plantas. Nos citros, essa menor capacidade de absorção de Mn parece estar associada à inibição competitiva com a absorção de Ca que é um nutriente requerido em grandes quantidades.

O conhecimento dessa interação é útil para recomendação de correção de seus efeitos. No caso de cafeeiro, a calagem é a prática recomendada, pelo fato de eliminar a deficiência de Fe pela redução na absorção de Mn. No caso dos citros, é preciso ter cuidado com a calagem, para não provocar deficiência de Mn.

3. Outras interações

Além das interações descritas, que são de ocorrência comum, outras também ocorrem. Entre elas, Olsen (1972) relacionou as seguintes: Fe-P, Cu-P, Mo-P, Zn-N, Mo-S, Zn-Mg, B-Ca, Zn-Fe, Fe-Mo, Fe-Cu, Cu-Mo e Cu-Zn. A importância de cada uma delas depende de condições específicas de clima, solo e também da espécie, e, mesmo de cultivares das plantas envolvidas.

No Brasil, tem-se dado pouca atenção a essas interações. É possível que muitos problemas nutricionais tivessem sido melhor corrigidos, se houvesse mais cuidado na interpretação dos experimentos visando definir o efeito dessas interações na produtividade.

CONTROLE DA DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES

O conhecimento dos fatores que afetam a disponibilidade dos micronutrientes para as plantas permite que se utilizem determinadas técnicas de manejo, visando o controle dessa disponibilidade, tanto para correção de deficiência como de excesso de certos micronutrientes.

A calagem, entre essas técnicas de manejo, tem sido a prática mais usada, principalmente visando eliminar a toxicidade de Al e Mn. Por outro lado, ela tem se mostrado eficiente para aumentar a disponibilidade de Mo, e, em certas culturas diminuir a deficiência de Fe causada pela interação Fe-Mn. A diminuição da disponibilidade de Cu, Zn e B pela calagem ocorre, mas, só é crítica quando o pH se eleva muito acima de 6 ou quando os solos são derivados de material de origem muito pobre.

O uso contínuo de fertilizantes nitrogenados amoniacais pode induzir a excessos o ciências de micronutrientes, por causa da intensa acidificação de rizosfera. Por isso, pr mente em plantas perenes, é interessante o uso alternado de fertilizantes nitrogenados nas nítrica e amoniacal. Se for usada apenas a forma amoniacal, a calagem é indispensável.

Através do uso de matéria orgânica ou quelatos, é possível a correção de deficiênci cessos de alguns micronutrientes, principalmente manganês, cobre e ferro.

Em regiões áridas ou semi-áridas é comum a acumulação de B nos horizontes superfici se excesso pode ser eliminado através da lixiviação desse nutriente.

Além dessas técnicas de controle sobre a disponibilidade, certamente, em muitas si por causa da remoção pelas colheitas e pela pobreza do material de origem, o aumento da dis dade em níveis adequados para as culturas só é conseguido mediante o fornecimento do micron através de adubações, no solo ou em pulverizações foliares, de acordo com as necessidades e cas de cada tipo de planta e ambiente.

LITERATURA CITADA

BAHIA, F.G.V.T.C. & BRAGA, J.M. Influência de adubação fosfatada e calagem sobre a abosrçã co em dois solos de Minas Gerais. Rev. Ceres, 21:91-104, 1974.

BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K. & STONE, L.F. Manejo d'água e calagem em relação à proc de e toxicidade de ferro em arroz. Pesq. agropec. bras., 18:903-910, 1983.

BATAGLIA, O.C. & MASCARENHAS, H.A.A. Toxicidade de ferro em soja. Bragantia, 40:199-203, (Nota, 5).

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R. & VALADARES, J.M.A.S. O molibdênio em solos do Estado de São In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, Campinas, SP, 1975. Anais... Campinas, dade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.109-111.

BAUMGARTNER, J.G. Influência da calagem e da adubação fosfatada, sobre a solubilidade e o tamento do zinco adicionado ao solo. Piracicaba, ESALQ, 1974. 45p. Tese de Mestrado.

CORDEIRO, D.S.; BORKERT, C.M.; SFREDO, G.J.; PALHANO, J.B. & DITTRICH, R.C. Efeitos de di níveis de fósforo de diferentes fontes fosfatadas na concentração de macro e micronutri parte aérea de plantas de soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 1, Londrin Anais... Londrina, EMBRAPA-CNPSo, 1979. p.275-281.

FAGERIA, N.K. Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz. Rio de Janeiro, Editora C 1984. 341p.

FAGERIA, N.K. & ZIMMERMANN, F.J.P. Interação entre fósforo, zinco e calcário em arroz de R. bras. Ci. Solo, 3:88-92, 1979.

GALLO, J.R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O. C. & MORAES, F.R.P. Levantamento de cafezais d de São Paulo pela análise química foliar. II - Solos Podzolizados de Lins e Marília, L Roxo e Podzólico Vermelho Amarelo-orto. Bragantia, 29:237-248, 1970.

HIROCE, R. Composição mineral das folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* 'Mundo Novo') com re à época de adubação. Piracicaba, ESALQ, 1972. 76p. Tese Doutorado.

HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C.; SOARES, E.; FURLANI, A.M.C. & MORAES, F.R.P. Efeito residual ção mineral e orgânica na composição química do solo e na composição de folhas de cafee tivado em Mococa. Bragantia, 35:CLXIX-CLXXV, 1976. (Nota, 35).

HOROWITZ, A. Os íons do molibdênio no solo - um exemplo da aplicação dos diagramas Eh-pH. R. bras. Ci. Solo, 2:98-103, 1978.

KNEZEK, B.D. & ELLIS, B.G. Essential micronutrients. IV: copper, iron, manganese and zinc. In: DAVIES, B.E., ed. Applied soil trace elements. New York, J. Willey, 1980. p.259-286.

KRAUSKOPF, K.B. Geochemistry of micronutrients. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. Micronutrients in agriculture, Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.7-40.

LAVY, T.L. & BARBER, S.A. Movement of molybdenum in the soil and its effect on availability to the plant. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 28:93-97, 1964.

LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.41-57.

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

LUCAS, R.E. & KNEZEK, D.B. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. In. MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds., Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.265-288.

MALAVOLTA, E. & KLIEMANN, H.J. Desordens nutricionais no cerrado. Piracicaba, POTAFOS, 1985. 136p.

MASCARENHAS, H.A.A.; BRAGA, N.R.; BULISANI, E.A.; FEITOSA, C.T.; HIROCE, R. & BATAGLIA, O.C. Efeito do corretivo sobre a soja cultivada em solo de cerrado contendo Al e Mn. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2, Brasília, 1981. Anais... Londrina, EMBRAPA-CNPSo, 1982. p.567-573.

MEDCALF, J.C. Estudos preliminares sobre a aplicação de cobertura morta em cafeeiros novos do Brasil. São Paulo, IBEC Research Institute, 1956. 58p. (Boletim, 12).

MEDCALF, J.C. & LOTT, W.L. Metal chelates in coffee. São Paulo, IBEC Research Institute. 1956. (Bulletin, 11).

MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Worblaufen Bern/Switzerland, International Potash Institute, 1982. 655p.

MOORE, D.P. Physiological effects of pH on roots. In: CARSON, E.W. ed. The plant root and its environment. Charlattesville, University Press of Virginia, 1974. p.135-151.

NORVELL, W.A. & LINDSAY, W.L. Reactions of EDTA complexes of Fe, Zn, Mn and Cu with soils. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 33:86-91, 1969.

OLSEN, S.R. Micronutrient Interactions. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.243-264.

QUAGGIO, J.A.; MASCARENHAS, H.A.A. & BATAGLIA, O.C. Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em Latossolo Roxo distrófico de cerrado. II. Efeito residual. R. bras. Ci. Solo, 6:113-118, 1982.

QUAGGIO, J.A.; SAKAI, M.; ISHIMURA, I.; SAES, L.A. & BATAGLIA, O.C. Calagem para a rotação feijão-milho verde em solo orgânico do Vale do Rio Ribeira de Iguape (SP). R. bras. Ci. Solo, 9:255-261, 1985.

QUAGGIO, J.A.; RAMOS, W.J.; BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B. van & SAKAI, M. Calagem para a sucessã batata-triticale-milho usando calcários com diferentes teores de magnésio. Bragantia, 44 391-406, 1985.

RODRIGUES, O. & GALLO, J.R. Levantamento do estado nutricional de pomares cítricos de São P pela análise foliar. Bragantia, 20:1183-1202, 1961.

STEVENSON, F.J. & ARDAKANI, M.S. Organic matter reactions involving micronutrients in soils In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.79-114.

VALADARES, J.M.A.S. O zinco em solos do Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ, 1972. 72p Tese Doutorado.

VALADARES, J.M.A.S. Cobre em solos do Estado de São Paulo. I- Cobre total. Bragantia, 34: 132, 1975.

VALADARES, J.M.A.S. & CAMARGO, O.A. Manganês em solos do Estado de São Paulo. R.bras.Ci. S 7:123-130, 1983.

CAPÍTULO 7

MICRONUTRIENTES: CRITÉRIOS DE DIAGNOSE PARA SOLO E PLANTA, CORREÇÃO DE DEFICIÊNCIAS E EXCESSOS

Alfredo S. Lopes[1]
Janice G. de Carvalho[1]

RESUMO

Existem amplas evidências de deficiências de micronutrientes nos trópicos, as quais tenderão a se agravarem, à medida que se intensificarem as produções das culturas e os solos marginais começarem a ser explorados. O presente trabalho tem por objetivos discutir princípios básicos para uma diagnose mais correta de problemas de deficiência e toxidez de micronutrientes nos solos e plantas, assim como sugerir medidas para correção destes problemas e levantar as necessidades de pesquisas aplicáveis a situação do Brasil. Com relação a análise de solos são discutidos princípios fundamentais envolvendo a importância dos fatores quantidade, intensidade e capacidade; métodos de extração (ácidos, básicos, quelatos e agentes complexantes) e possíveis aplicações dos mesmos para as condições brasileiras; correlação e calibração; diagnose por subtração e experimentos de campo. Entre os critérios de diagnose envolvendo a planta são discutidos a análise foliar (princípios, seleção de parte da planta e época de amostragem, cuidados no preparo, problemas de contaminação, métodos de extração, interpretação e seus problemas); teste de tecidos; testes bioquímicos e diagnose visual. No que respeita a fertilização com micronutrientes e recomendações discutem-se os conceitos de prevenção ou correção dos problemas, eficiência agronômica de fontes e métodos de aplicação (tratamento de semente e imersão de mudas, adubação foliar e aplicações no solo). Dentre as necessidades de pesquisa enfatiza-se a necessidade de um programa a nível nacional envolvendo: a) seleção de extratores para micronutrientes em função de variações de solo, clima e plantas; b) estudos de correlação entre produtividade e disponibilidade de micronutrientes no solo e níveis na planta; c) aprimoramento de critérios de interpretação da diagnose foliar utilizando-se níveis críticos e/ou relações entre micronutrientes; d) avaliação de métodos de aplicação e eficiência de fontes; e) capacitação de laboratórios (solo e planta) para análise de micronutrientes.

Termos de indexação: micronutrientes, microelementos, métodos de determinação, cobre, ferro, manganês, zinco, boro, correção de deficiências, toxidez.

SUMMARY

MICRONUTRIENTS: CRITERIA FOR DIAGNOSIS IN SOIL AND PLANTS; CORRECTION OF DEFICIENCIES AND EXCESSES

There has been a large number of evidencies of micronutrient deficiencies in the tropics and certainly more will be identified as crop production is intensified and marginal soils are

[1] Engº Agrº, MSc e PhD e Engº Agrº, MSc e Doutora. Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura de Lavras, Caixa Postal 37, 37.200 - Lavras, MG.

exploited. In this paper some basic principles for the diagnosis of micronutrient deficien toxicity in soil and plants are discussed. Management practices to overcome these problems also suggested. Research needs applicable to the specific situation of Brazil is discusse well. Concerning to soil analysis the basic principles and the importance of quantity, int and capacity factors, extraction methods (acids, bases, chelates and complexing agents), correlation and calibration, missing element technique and field experiments are discussed. relation to plant analysis the principles, selection of plant parts, time of sampling, prep of samples, contamination, extraction methods, interpretation and related problems are disc Tissue and biochemical tests, and visual symptoms are also foccused. Concepts for prevent correction of micronutrient problems, agronomic efficiency of sources, and methods of app (seed treatments, root dipping, foliar sprays and soil application) are presented. In ord overcome the lack of information on this subject in this country, the establishment of a coordinated, research program at national level is suggested which involves the following t a) selection of soil extractants as a function of variations in soils, climate and crops; b correlation studies involving productivity, soil micronutrient availability and plant analy c) improvement in criteria for interpreting foliar analysis results using critical levels a micronutrient ratios; d) field studies on methods of application and efficiency of sources; improvement of laboratory facilities (soil and plant analysis) to perform accurate micronut analysis.

Index terms: micronutrients, microelements, methods of soil analysis, plant analysis, copp iron, manganese, zinc, boron, correction of micronutrient deficiencies, toxic

INTRODUÇÃO

Apesar de não se conhecer, totalmente, a extensão pela qual as deficiências de trientes afetam as produções das culturas na região tropical, existem amplas evidências que blema existe e que tenderá a se agravar a medida que se intensificarem as produções das cu solos marginais comecem a ser explorados.

A gravidade do problema de deficiência de micronutrientes como fator limitante à vidade das culturas varia de cultura para cultura e de solo para solo. Os efeitos podem va pequenas reduções na produção até total insucesso. Enquanto o impacto econômico da omissão cronutrientes em áreas seriamente afetadas (Por exemplo: Zn na região dos cerrados) é conv torna-se difícil estimar perdas anuais na produção das culturas em decorrência de deficiênc micronutrientes que passam desapercebidas. Programas bem estruturados de análise de solo e em regiões que praticam agricultura avançada são essenciais, quando se almeja estimar li impostas por problemas de deficiência e/ou toxidez de micronutrientes à produção das cultu tendo informações que permitam adoção de medidas preventivas e/ou corretivas, evitando que produções (McCune & Popenoe, 1985).

No Brasil, alguns aspectos justificam a preocupação atual no que respeita a probl micronutrientes de acordo com Lopes (1984):

a) advento de tecnologia moderna e intensificação de produções nos solos de alta dade natural, levando-os a exaustão progressiva.

b) incorporação, no processo produtivo, de solos com fertilidade marginal, como os rado, onde deficiências de micronutrientes (notadamente Zn) ocorrem já nos p anos de cultivo;

c) os aumentos de produtividade das culturas de exportação, pelo cultivo de variec altos potenciais de produção e alta demanda de macronutrientes, levando, consec te, a uma maior retirada de micronutrientes;

d) aumento na produção e uso de fertilizantes de alta concentração que contêm menc tidades de micronutrientes como impurezas;

e) modernização dos laboratórios de análises de solos e planta, com utilização de mentos com maior sensibilidade, na determinação de micronutrientes.

Como parte do esforço que está sendo desenvolvido no país, no sentido de conhecer melhor os problemas de micronutrientes, bem como de se obter sugestões para correções de suas deficiências ou excessos, fez-se este trabalho de revisão com os seguintes objetivos:

- apresentar e discutir alguns critérios para diagnose de problemas de micronutrientes no solo e nas plantas, com ênfase em princípios básicos para uma diagnose mais eficiente;
- apresentar critérios para correção de deficiências e excessos de micronutrientes, em uso pelos órgãos de pesquisa ou comissões estaduais de fertilidade do solo;
- levantar necessidades de pesquisa a curto e médio prazo visando aprimorar os trabalhos de diagnose de problemas com micronutrientes para solos e culturas do Brasil.

CRITÉRIOS PARA DIAGNOSE DE MICRONUTRIENTES NO SOLO

1. Análise de solos

1.1. Princípios fundamentais

A maioria das análises de solos para avaliação da disponibilidade de micronutrientes, consiste em agitar uma amostra de solo com uma solução extratora por um período específico de tempo. A suspensão é então filtrada e avalia-se a quantidade de micronutrientes na solução. À semelhança dos macronutrientes, tanto o **fator quantidade** como o **fator intensidade** afetam a disponibilidade de micronutrientes para as plantas, e, conseqüentemente, os mesmos fatores devem ser avaliados em uma análise de solo para que esta atinja seus objetivos (Lindsay & Cox, 1985). A concentração do nutriente mantida na solução do solo representa o **fator intensidade**, enquanto a quantidade do nutriente que pode ser prontamente reposta na solução para compensar o removido é uma medida do **fator quantidade**. Uma solução extratora que solubilize pouco ou muito do nutriente em estudo não é a ideal.

A concentração de micronutrientes na solução do solo é muito baixa e, em geral, abaixo dos limites de detecção. Cátions e ânions trocáveis no solo se constituem na reserva imediata (fator quantidade) dos nutrientes disponíveis para as plantas. Segundo Lindsay & Cox (1985), vários extratores contém sais que deslocam íons trocáveis levando-os à solução do solo durante o processo de extração. No caso de micronutrientes, entretanto, os níveis na solução do solo são geralmente muito baixos e as quantidades adsorvidas nos pontos de troca são, também, muito baixas. Por este motivo, a maioria das soluções extratoras para micronutrientes contém ácidos, bases, complexantes, ou quelatos que também dissolvem parte dos sólidos na forma lábil. Estas soluções extratoras avaliam de modo mais eficiente a capacidade do solo para suprir micronutrientes do que as soluções que apenas tratam da propriedade de troca de íons.

Três pontos relevantes devem ser lembrados quando a análise do solo for usada como instrumento de diagnose de possíveis problemas de micronutrientes: a) a quase totalidade dos extratores usados para esta finalidade permanecem em contato com a amostra de solo por poucos minutos, enquanto as raízes da planta no campo estão em contato com o solo durante toda a estação de crescimento; b) tentativas feitas no laboratório para simular as condições reais que podem mudar durante a estação de crescimento são extremamente difíceis de obter sucesso; c) finalmente, soluções extratoras no laboratório tem que se mostrar eficientes na identificação de possíveis respostas a micronutrientes no campo, exigindo trabalhos de correlação e calibração a nível de campo.

Cabe, finalmente, enfatizar precauções especiais para evitar contaminações das amostras para análise de micronutrientes. Materiais como aço galvanizado, latão, bronze e borracha não devem ser usados no processo de tomada de amostra, preparação ou armazenamento da mesma (Cox & Kamprath, 1973). Os princípios fundamentais de coleta de amostras para avaliação da disponibilidade de macronutrientes, aplicam-se também para o caso de micronutrientes.

1.2. Métodos de extração

Um dos maiores problemas na avaliação da disponibilidade de micronutrientes na produção das culturas das regiões tropical e sub-tropical é o grande número de métodos de extração atualmente em uso. Sillanpää & Vlek (1985), citados por Lindsay & Cox (1985), mencionam que pelo menos quin

ze soluções extratoras são usadas nestas regiões (Quadro 1). Nestas condições, afirmam o que, em um continente ou mesmo em países ou regiões dentro de um país, os pesquisadores mente escolhem métodos com base nas suas disponibilidade de equipamentos ou preferência algumas vezes na recomendação de especialistas de outras regiões. A falta de calibração destes métodos para uma região específica, e o caso do Brasil não é exceção, torna extrem fícil a interpretação dos dados analíticos. Além disso, trocas de informações com base e tes métodos de análise são praticamente impossíveis.

Quadro 1. Resumo de soluções extratoras, relações solo/extrator, tempo de agitação e amp níveis críticos em uso em vários países da região tropical.

MICRONUTRIENTE	Extratores em várias concentrações e combinações	Relação solo/extrator	Tempo de agitação	Amp níve
Ferro	DTPA, NH_4OAc, HCl, $HaHCO_3$, EDTA, Superfloc 127[1/], NH_4F, Citrato Na, Ditionato Na	1:2 a 1:40	10 minutos a 2 horas	0,
Manganês	DTPA, NH_4OAc, EDTA, HCl, $NaHCO_3$, H_2SO_4, Superfloc 127, H_2O e NH_4F	1:2 a 1:20	5 minutos a 2 horas	1
Zinco	DTPA, EDTA, HCl, $NaHCO_3$, Superfloc 127, KCl, H_2SO_4, NH_4OAc, NH_4F e ditizona	1:1 a 1:20	5 minutos a 3 horas	0,
Cobre	DTPA, EDTA, HCl, $NaHCO_3$, Superfloc 127, NH_4OAc e NH_4F.	1:1 a 1:20	5 minutos a 2 horas	0,
Boro	$Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$, água quente, água fervente, extrato de saturação, H_2SO_4, HF e HCl	1:1 a 1:2	5 minutos a 16 horas	0,
Molibdênio	$(NH_4)_2C_2O_4$ ou água quente	1:1 a 1:10	1 hora a durante a noite	0,

Fonte: adaptado de Lindsay & Cox (1985).

Outro ponto que merece ser enfatizado é o fato de que um método de análise vários laboratórios não é garantia que o mesmo seja eficiente. Calibração dos nível de campo é absolutamente essencial para determinar a eficiência de um método de anã

Não cabe, dentro do escopo deste trabalho, uma discussão detalhada sobre todos o de extração de micronutrientes. Ao leitor, interessado em maiores detalhes, sugere-se os trabalhos: a) Cox & Kamprath (1972), em que os autores fazem um estudo extenso destes mét tam os mais comuns, inclusive com níveis críticos para os mesmos; b) Viets & Lindsay (19 apresentam uma revisão sobre métodos para avaliação de Zn, Cu, Mn e Fe; c) Reisenauer (1973), com discussão de métodos para S, B, Mo e Cl.

Cabem, entretanto, alguns comentários sobre trabalhos mais recentes em termos de pios e métodos de avaliação da disponibilidade de micronutrientes aplicáveis à situação d tropical e ao Brasil em especial.

De acordo com Lindsay & Cox (1985), extratores ácidos ou básicos usados em análi lo dissolvem parcialmente os sólidos que contém formas lábeis dos micronutrientes. Ácid dos têm sido usados com freqüência em solos ácidos, enquanto bases, tais como carbonatos natos, são utilizadas em solos alcalinos. Ácidos diluídos geralmente tem maior probabilid

cesso em solos contendo caulinita na fração argila do que solos jovens com abundância de bases ainda presente.

Quelatos e agentes complexantes têm sido amplamente usados como extratores para avaliação da disponibilidade de cátions micronutrientes. As soluções extratoras, neste caso, têm sido cuidadosamente selecionadas para simular o meio ambiente químico de absorção das raízes em solos neutros ou calcários (Lindsay & Norvell, 1978). O uso de tais extratores poderá obter sucesso em solos semelhantes na região tropical; entretanto em solos cauliníticos, altamente intemperizados, ácidos, as vantagens destes extratores podem ser obliteradas (Lindsay & Cox, 1985). Estes autores afirmam ainda que, talvez, um extrator mais forte, tamponado a valores mais baixos de pH, projetado para simular o meio ambiente das plantas desenvolvendo-se em solos mais ácidos, seria mais recomendável. A maioria dos extratores usados em solos ácidos tem sido soluções de ácidos diluídos e a inclusão de complexantes não tem sido particularmente benéfica. Conclui-se que há necessidade de pesquisas em métodos de extração que melhor simulem o meio ambiente nutricional em solos ácidos.

A habilidade dos quelatos em extraírem micronutrientes dos solos inundados é freqüentemente modificada pelas reações de redução-oxidação. Época de amostragem para esta situação é da maior importância, uma vez que o potencial redox muda consideravelmente sob solo alagado, quando comparado com as condições mais oxidadas das mesmas áreas quando secas. Conseqüentemente, os níveis críticos de certos nutrientes mudam de acordo com a época de amostragem. É pouco provável que métodos desenvolvidos para condições de oxidação sejam igualmente eficientes quando os solos estão sob condições de redução.

Outro aspecto que merece ser comentado, em relação a extratores para micronutrientes, é a necessidade de avaliação dos mesmos para extração simultânea de vários micronutrientes, o que aumentaria, sem dúvida, a aplicabilidade destes às análises de rotina. Neste aspecto, uma extensa revisão foi feita por Lindsay & Cox (1985) concluindo estes autores o seguinte: a) se for recomendado um extrator para ferro, manganês, zinco e cobre que poderia ser aplicável às análises de rotina de solos nos trópicos, este seria, provavelmente, DTPA (Lindsay & Norvell, 1978) ou bicarbonato de amônio - DTPA (Soltanpour & Schwab, 1977; Soltanpour & Workman, 1979) para solos alcalinos (e possivelmente solos ácidos) e ácido duplo (HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N) para solos ácidos com inclusão de outras propriedades do solo (notadamente pH, matéria orgânica e textura); b) infelizmente, não existe análise de rotina para boro e molibdênio; água quente (Berger & Truog, 1944, adaptado por Wear, 1965) é ainda o extrator padrão para boro, embora HCl 0,05N tenha se mostrado promissor; oxalato de amônio a pH 3,3 (Grigg, 1953) ainda é o extrator mais comumente usado para molibdênio.

1.3. Interpretação de resultados

Uma das fases mais críticas de um programa de avaliação da fertilidade do solo, tanto para macro como para micronutrientes, é a calibração de métodos de análise de solos e correlação com respostas de produção. Um resultado obtido de uma análise de solo não apresenta nenhum valor "per si", e pode ou não refletir a disponibilidade do nutriente em questão.

Os valores obtidos na análise de solos por um respectivo extrator somente tornam-se utilizáveis quando os mesmos têm correlação com as respostas de produção das culturas. Tais correlações são, em geral, obtidas em dois níveis: a) em um deles, considerado exploratório e desenvolvido em casa de vegetação com um grande número de solos que apresentam amplas variações em suas propriedades químicas, físicas e mineralógicas, por exemplo: textura, matéria orgânica, material de origem, etc; b) em outro, considerado definitivo, conduzido a nível de campo, envolvendo um menor número de solos cuidadosamente selecionados. O ponto que merece ser enfatizado é que uma boa correlação obtida sob condições de casa de vegetação não prova a eficiência de um método particular de análise de solos; isto somente pode ser definitivamente avaliado a nível de experimentação no campo.

No Brasil, a grande maioria dos trabalhos de calibração e correlação que permitiram avaliar níveis críticos, foi desenvolvida com os elementos fósforo, potássio, cálcio e magnésio. São bastante raros estudos sistemáticos envolvendo avaliações de níveis críticos para análise de enxofre e micronutrientes a nível de campo. Esta lacuna necessita ser preenchida a curto prazo, quando se almeja fazer uso eficiente e inteligente de análises químicas do solo como instrumento válido para diagnose de problemas de micronutrientes para as condições de solo e culturas brasileiras.

Um exemplo de calibração para micronutrientes no Brasil é apresentado na Figura 1. tudo desenvolvido por Santos & Sobral (1980), com a finalidade de avaliar nível crítico par solúvel no extrator HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N, para a cultura da cana de açúcar na Região No permitiu definir 0,8 ppm de Cu como o limite superior para alta probabilidade de resposta a ção de fertilizantes cúpricos nestes solos.

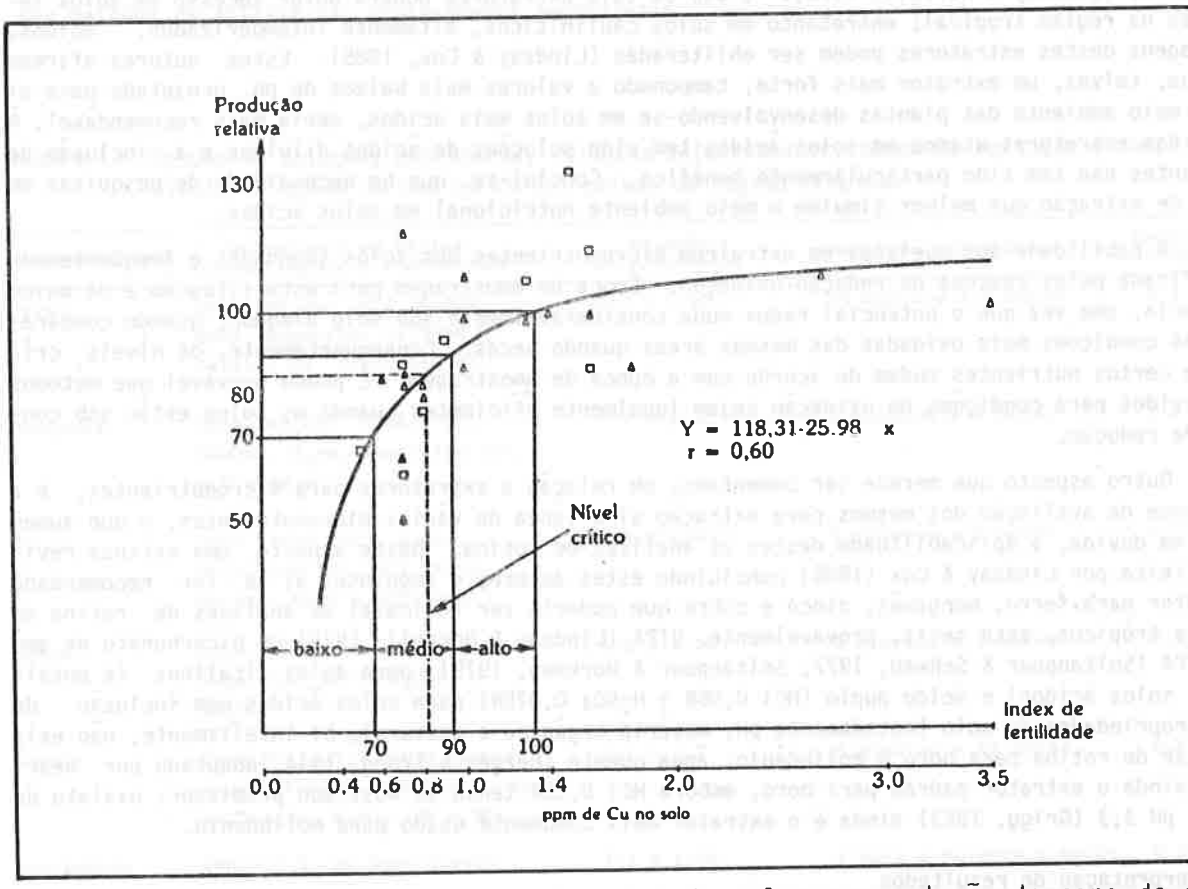


Figura 1. Relação entre os teores de cobre do solo e a produção de cana-de-

Fonte: adaptado de Santos & Sobral (1980).

Embora ainda em número reduzido para um diagnóstico completo que permita incorpora tiva de análises de micronutrientes na rotina dos laboratórios no Brasil, e usando sobretud vado grau de bom senso numa primeira aproximação para se estabelecer possíveis "faixas cr sugerem-se os seguintes valores para nortear, ao nível atual de conhecimento, o processo d no uso de fertilizantes com micronutrientes: Zn 0,8 a 1,0 ppm, Cu 0,5 a 0,8 ppm, Mn 2 a 5 p tração com HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N); B 0,4 a 0,6 ppm (extração com H_2O quente) e Mo 0,1 a (extração com oxalato de amonio pH 3,3).

2. Outros métodos

Além da análise química do solo ou da planta existem outros métodos de avaliação d lidade do solo, bastante úteis em determinadas situações e aplicáveis na diagnose de proble micronutrientes.

São os testes biológicos que envolvem experimentos de campo, cultivo em faixas e em vasos em casa de vegetação.

Os experimentos de adubação a campo, embora mais caros e mais demorados (repetidos em várias épocas), são os melhores meios para determinar todos os fatores de produção de uma gleba e cultura específica. Quando conduzidos em condições variadas de clima, solo e cultura permitem além da solução de problemas locais com micronutrientes, estabelecer bases para programas regionais de correlação e calibração de análise de solo e planta.

O cultivo em faixas fornece, de uma maneira simplificada, informações sobre a deficiência ou não de determinado nutriente em um local. Consiste na aplicação do nutriente apenas em algumas faixas na cultura e pela comparação com as faixas não tratadas, avalia-se a deficiência.

Os experimentos em vasos em casa de vegetação permitem obter informações em um tempo menor sobre um maior número de solos. O mais comum é o de "diagnose por subtração" que consiste na comparação do aspecto e produção de plantas submetidas a um tratamento "completo" com plantas submetidas a tratamentos com omissão de um nutriente de cada vez. Uma vez determinados os nutrientes mais limitantes é que são feitos estudos de fontes, níveis e métodos de aplicação dos mesmos. A vantagem desse tipo de estudo é que o mesmo permite uma triagem para futuros experimentos a serem levados para o campo.

Existem também os chamados métodos microbiológicos que baseiam-se no fato de que certas bactérias e fungos tem comportamento a exigências nutricionais semelhantes aos vegetais superiores. O uso destes microorganismos na avaliação do suprimento de nutrientes pelo solo exigiria um menor volume de terra e menor tempo para se obterem as informações. Existem técnicas desenvolvidas inclusive para micronutrientes envolvendo microorganismos com *Aspergillus niger*, *Azotobacter*, etc.

CRITÉRIOS PARA DIAGNOSE DE MICRONUTRIENTES NAS PLANTAS

Na avaliação do estado nutricional das plantas, existem vários critérios de diagnose que são mais ou menos adequados a determinadas situações. Eles incluem análise de plantas ou diagnose foliar, teste de tecidos, testes bioquímicos e diagnose visual.

Não há um sistema simples ideal para avaliar problemas nutricionais nas plantas, sendo sempre recomendável utilizar-se do maior número possível de instrumentos de diagnose.

1. Análise de Plantas ou Diagnose Foliar

A aptidão das plantas em absorver e utilizar os elementos minerais se reflete nos seus teores desses elementos e em seu equilíbrio nutricional, sobre os quais informações úteis podem ser colhidas por intermédio da análise química de certos tecidos.

Embora o solo seja, na maioria dos casos, o fornecedor ou o intermediário obrigatório para se fornecer à planta os elementos minerais, sua análise, que é largamente utilizada, informa somente sobre as disponibilidades oferecidas à nutrição vegetal. Só a análise do próprio vegetal é capaz de fornecer indicações sobre o estado dessa alimentação. Portanto, além dos sintomas característicos de uma ou outra desordem que só se manifestam em casos graves, a identificação do nível nutricional da planta não é acessível a não ser pela análise química da mesma.

O órgão de controle escolhido mais freqüentemente é a folha, pois a mesma é a sede do metabolismo e reflete bem, na sua composição, as mudanças na nutrição.

O uso da diagnose foliar se baseia nas premissas de que existem, dentro de limites, relações diretas entre: a) dose de adubo e produção; b) dose de adubo e teor foliar; c) teor foliar e produção.

1.1. Nível do nutriente e crescimento da planta

O conhecimento da relação entre a concentração do nutriente e o crescimento da planta é essencial na interpretação e seleção do tecido mais adquado para análise. Uma representação esquemática, baseada em Smith (1962) e Ulrich (1976) é dada na Figura 2. O segmento "AB" representa uma zona na qual a produção cresce à medida que a concentração do nutriente decresce a níveis severos de deficiência. O problema dos efeitos Steenbjerg ou Piper-Steenbjerg ocorre nesta zona (Steenbjerg, 1951 e Loneragan, 1975). Bates (1971) refere-se a curvas com zonas "AB" como sendo

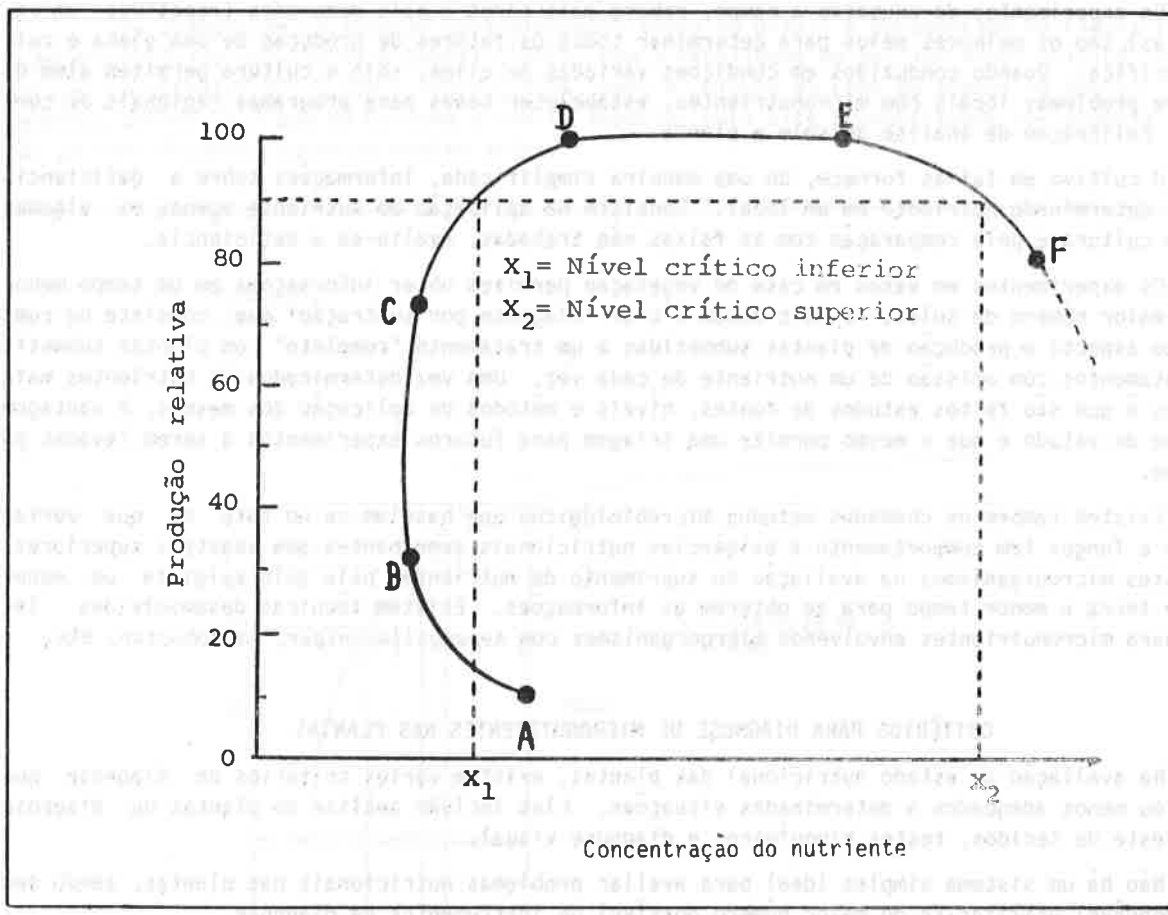


Figura 2. Representação esquemática da relação entre produção e concentraçã nutriente e dos conceitos de níveis críticos.

Fonte: adaptado de Smith (1962) e de Ulrich (1976).

"curvas em C". O segmento "BC" corresponde a uma zona de grandes aumentos na matéria sec quenos incrementos na concentração de nutrientes e é equivalente a zona de "deficiência" (1976). O segmento "CD" é a zona na qual a concentração do nutriente aumenta à medida q dução também aumenta a uma taxa relativamente menor; esta taxa corresponde a zona de "tran Ulrich (1976). "DE" é uma zona na qual nenhum aumento de produção é observado apesar de aumentos na concentração de nutrientes; corresponde a zona de "consumo de luxo" de Mac ou zona "adequada" de Ulrich (1976). Finalmente, no segmento "EF" encontra-se a zona co "tóxica", onde as produções decrescem com o aumento na concentração do nutriente.

Segundo Bates (1971), as "curvas em C" causam problemas na interpretação da anális Dois tipos distintos dessa curva tem sido observados: a) aqueles associados com baixas pro vido a deficiência do elemento requerido (Steenbjerg, 1951); e b) aqueles associados com a de um elemento em níveis abaixo da quantidade mínima necessária, isto é, quando outro eleme ta a produção de acordo com a "Lei do Mínimo de Liebig" (Terman et alii, 1972). Problemas primeiro tipo podem ser identificados amostrando-se folhas recém maduras logo após o apa de sintomas (Bates, 1971). As causas dessa anomalia podem ser senescência precoce, estímu dução de carboidratos que causam um efeito de diluição, toxidez por excesso de outro el baixos níveis do elemento em questão ou redução no número de perfilhos em cereais (Moragha O segundo tipo de situação está associado com respostas em crescimento causadas pela apli um segundo elemento deficiente. A possibilidade de complicações devidas a deficiências deve ser sempre considerada com dados analíticos de plantas severamente deficientes.

A situação ideal em análise de plantas é eliminar a possibilidade de trabalhar na zona AB. Variações acentuadas na zona de "transição" CD e na zona "tóxica" EF com valores críticos reproduzíveis e pouco afetados pela época de amostragem tornam o diagnóstico mais fácil. A análise de planta é de valor limitado a menos que seja feita pesquisa adequada para interpretação e seleção de técnicas apropriadas de amostragem, preferivelmente com os genótipos de interesse. Existem grandes diferenças entre as cultivares de muitas espécies com relação a suscetibilidade a deficiência e toxidez de micronutrientes. Os níveis críticos para deficiência de zinco em milho variam entre genótipos (Massey, 1971); e cultivares de trigo, algodão e soja mostram diferentes níveis críticos para toxidez de manganês (Foy et alii, 1978).

Vários termos são empregados para descrever as relações quantitativas ou semiquantitativas em análise de plantas. Os valores críticos superiores e inferiores representam os níveis de nutrientes na zona CD e EF, respectivamente. Ulrich & Hills (1969) e Ohki (1975) associaram esses valores inferior e superior, com reduções de 10% na produção. Outros pesquisadores definem o nível crítico inferior como sendo: a) aquele teor no qual o nutriente está ligeiramente acima do ponto de crescimento limitante (Smith, 1962); b) o nível no qual pode ocorrer um estresse no crescimento (Melsted et alii, 1969); c) nível correspondente a um crescimento máximo sob uma série de condições (Moore et alii, 1957); e d) a concentração do nutriente que é limiar para o crescimento máximo (Ulrich, 1952).

Dow & Roberts (1982) em concordância com Smith (1962) são a favor do uso de uma faixa crítica de nutriente, ao invés de uma concentração crítica, uma vez que é difícil estabelecer, experimentalmente, um ponto ou um único valor que pode variar sob diferentes condições. Os valores de composição foliar são também expressos como uma série de faixas tais como deficiente ou mostrando sintomas de toxidez (Chapman, 1966; Leece, 1976a e Ward et alii, 1973).

1.2. Seleção da parte da planta e época de amostragem

A composição dos tecidos vegetais é influenciada pelos seguintes fatores:

a) fatores da própria planta como, natureza da espécie ou cultivar, natureza do porta-enxerto, estádio vegetativo ou idade da planta, abundância, distribuição e funcionamento das raízes, volume de produção dos frutos;

b) fatores do ambiente natural ou cultural como variações climáticas, suprimento de água, estado sanitário da planta, natureza e manejo do solo, etc;

c) interações entre os elementos minerais.

Considerações insuficientes dos efeitos relativos desses fatores sobre a composição mineral da planta é, provavelmente, a origem de certos fracassos registrados na utilização da análise foliar no estabelecimento de programas de adubação.

Em virtude dos fatores anteriormente citados, a padronização na amostragem para análise foliar deve ser bastante detalhada. Com relação a escolha da parte da planta a ser amostrada, a maioria dos autores cita a folha recentemente madura como a mais satisfatória, pois segundo Martin-Prevel et alii (1984) a mesma é a sede do metabolismo e reflete bem, na sua composição, as mudanças na nutrição. Entretanto, alguns pesquisadores preferem análise da planta inteira (parte aérea) nos primeiros estádios de crescimento para culturas como trigo, aveia e centeio (Melsted et alii, 1969 e Ward et alii, 1973) e arroz (Trani et alii, 1983).

Alguns critérios que devem ser considerados na escolha da parte amostrada são os seguintes (Moraghan, 1985):

a) A transição na curva de produção x concentração de nutrientes entre as zonas "adequada", "deficiente" e "tóxica" deve ser abrupta.

b) A probabilidade de ocorrência de efeitos Steenbjerg que resultam em valores de concentração no tecido maiores que aqueles associados com deficiência precisa ser minimizado. Bates (1971) cita que esse problema pode ser reduzido se a amostragem for restrita às plantas com sintomas recentemente desenvolvidos.

c) A parte da planta que é amostrada deve ser preferencialmente aquela cuja conc de nutriente seja pouco afetada pela época de amostragem.

d) Facilidade de amostragem deve ser outro fator considerado na seleção da parte am

Uma amostragem adequada fornecerá no plano qualitativo a natureza exata da relação objeto da análise e a população amostrada, e no aspecto quantitativo, a intensidade dessas r

Sugestões de amostragem para diagnose foliar para as principais culturas brasilei apresentadas no Quadro 2, extraída de Trani et alii (1983).

1.3. Preparo das amostras

Os seguintes pontos devem ser observados durante a preparação da amostra (Moragha

a) as perdas por respiração devem ser evitadas durante o transporte da amostra at ratório;

b) técnicas adequadas de sub-amostragem devem ser usadas antes e após a moagem;

c) as amostras precisam ser efetivamente moídas no tamanho de partículas desejado

d) técnicas efetivas de secagem e armazenamento devem ser empregadas;

e) devem-se evitar contaminações em todos os estágios.

Qualquer amostra que apresente sinais de deterioração durante o período de proc deve ser descartada. A maioria das amostras que não pode ser processada dentro de aproxi quatro horas deve ser acondicionada em sacos de papel, transportadas em recipientes com mantidas em refrigerador até que possam ser feitas a lavagem e secagem.

Não mais que 100g de tecido pode ser moído convenientemente. Sub-amostragem do t co antes da moagem tende a aumentar grandemente os erros de sub-amostragem devido a separ tecidos das nervuras e internervais. Se necessário, as amostras frescas podem ser cortada cadeiras ou facas de aço inoxidável, misturadas uniformemente e então sub-amostradas. O seco moído também precisa ser homogeneizado antes de ser tomadas sub-amostras.

A maioria dos métodos recomendados de análise requerem 0,5 a 3g do material moído terial deve passar em peneiras de 20-40 meshes. Material mais fino é preferível com amo faixa de 0,5 a 1g. Moinhos tipo Wiley em aço inoxidável são freqüentemente usados e deve- o cuidado para que todos os materiais da planta passem pela peneira. Como o material vege terogêneo, é necessário um tempo considerável para triturar os tecidos fibrosos. Em um es to por Smith et alii (1968), frações de diferentes tamanhos de partícula continham difere res de nutrientes, porém os efeitos diferiram entre as espécies, indicando que tanto um quanto uma homogeneização cuidadosa são essenciais.

A atividade enzimática é usualmente interrompida pelo aquecimento em estufas com ção forçada, preferivelmente dotadas de filtro para remover a poeira e mantidas a 60-70°C ção de peso constante. As folhas secam mais facilmente que caules e pecíolos, que freq precisam ser cortados em pedaços pequenos. O tecido da planta é higroscópico, e o pó fin do precisa ser seco novamente após a moagem, antes de ser submetido ao processo analític cagem a 85°C por 12 horas do material já moído parece ser adequada para a maioria das aná

1.4. Problemas de contaminação

O conhecimento das prováveis causas de contaminação é essencial para aumentar a de um programa de análise de plantas, especialmente quando envolvem micronutrientes. Dev muito cuidado para: a) remover qualquer superfície de contaminação; e b) evitar contamina te a coleta, secagem, moagem e armazenamento do tecido de planta; e c) evitar contaminaçã as análises.

a) Qualquer superfície de contaminação que possa interferir nas análises deve se logo após a coleta do tecido e antes da secagem ou murcha. A lavagem do tecido requer a ponibilidade de água destilada ou deionizada.

Quadro 2. Procedimento de amostragem para diagnose foliar em diversas culturas.

Cultura	Parte da planta	Idade, época, posição da folha	Número de folhas e número de plantas
Abacateiro	Limbo	3 ou 4 meses da brotação da primavera.	4 folhas árvore, nos 4 pontos cardeais, 25 árvores.
Abacaxi	Folha "D" inteira	No florescimento.	1 folha por planta, amostras de 50 plantas. Cortar as folhas em pedaços e retirar 200 g.
Aipô	Pecíolo	Folha mais nova completamente desenvolvida, metade do ciclo vegetativo, plantas com 25 a 35 cm.	1 por planta, amostra de 50 plantas.
Alface	Nervura mediana	Da folha envolvente, no aparecimento da cabeça.	1 por planta, amostra de 50 plantas.
Alfafa	Seção média da haste	No florescimento.	Amostra de 50 plantas.
Algodão	Limobo	Da 5ª folha a partir do ápice da haste principal, no florescimento (1ª folha é aquela completamente aberta).	1 por planta, amostras de 30 plantas.
Ameixeira	Folha com pecíolo	Da parte média do ramo no ano, situado a altura média da planta, no florescimento.	4 a 8 folhas por árvore, nos pontos cardeais, amostras de 25 árvores.
Amendoim	Folha com pecíolo	Do 4º renque do ramo principal, a partir da base, sem contar os ramos cotiledonares.	Uma por planta, amostras de 50 plantas.
Amoreira	Limbo	Da 1ª folha adulta abaixo do ponto de crescimento, na época da colheita.	2 folhas por planta, amostras de 50 plantas.
Arroz	Toda parte aérea	30 dias após a germinação.	Amostras de 20 plantas.
Aspargo	Ramos	No outono, 30 cm superiores dos ramos, eliminando-se a haste.	Amostras de 25 plantas.
Aveia	Limbo	Das 4 primeiras folhas, a partir do ápice, no florescimento.	Amostras de 50 plantas.
Bananeira	Folha	10 cm centrais da 3ª folha a partir do ápice, eliminando-se a nervura central e metades periféricas, na época de emissão da inflorescência.	1 folha por planta, amostras de 25 plantas.
Batata	Folíolo	Da 3ª folha, a partir do tufo apical, aos 30, 50 e 70 dias.	Amostras de 30 plantas.
Beterraba	Limbo	A partir da coroa intermediária, na metade do ciclo.	Amostras de 50 plantas.
Brócoli	Nervura central de folhas externas	No início da formação da cabeça.	Amostras de 50 plantas.

Quadro 2. Continuação.

Cultura	Parte da planta	Idade, época, posição da folha	Número de folhas e número de plantas
Cacaueiro	Folha sem pecíolo	2ª e 3ª folhas verdes, a partir do ápice do ramo, da altura média da planta, 4 a 8 semanas após o florescimento principal.	4 folhas por árvore, amostras de 25 plantas.
Cafeeiro	Folha com pecíolo	3º par a partir do ápice dos ramos, da altura média da planta, no verão.	4 folhas por planta nos pontos cardeais, amostras de 25 plantas.
Cana-de-açúcar	Folhas	20 cm centrais da folha + 3, excluída a nervura central, aos 9 meses de idade. (Obs.: -para "*cana de ano*" a amostragem é feita aos 4-5 meses de idade.	1 por planta, amostras de 100 plantas.
Cenoura	Folhas com pecíolo	Época de maior florescimento de raízes, cortar a coroa.	Amostras de 50 plantas.
Centeio	Limbo ou toda parte aérea	Das 4 primeiras folhas a partir do ápice, no florescimento.	Amostras de 50 plantas.
Coqueiro	Folíolo, 3 de cada lado da parte central da folha. Retirar 10 cm centrais do folíolo, eliminando-se a nervura central.	Até 4 anos: folha nº 4; de 5 a 7 anos: folha nº 9; mais de 8 anos: folha nº 14.	Amostras de 25 plantas.
Couve de Bruxelas	Folhas sem pecíolo	Folhas mais novas, plenamente desenvolvidas no verão.	Amostras de 50 plantas.
Couve-flor	Nervura central das folhas externas	No início da formação da cabeça.	Amostras de 50 plantas.
Chá	Folhas	2ª folha a partir do ápice dos ramos não lignificados, maio a junho.	4 folhas por planta, amostras de 25 plantas.
Citrus	Folha com pecíolo	Folhas geradas na primavera, com 6 meses de idade, nos ramos com frutos.	4 folhas por árvore nos pontos cardeais, amostras de 25 árvores.
Dendezeiro	Folíolo, 2 de cada lado da parte central da folha. Retirar 10 cm cen-	Até 2 anos: folha nº 9; de 2 a 4 anos: folha nº 9 e 17; mais de 4 anos: folha nº 17.	Amostras de 25 árvores.

trais, eliminando-se a nervura central.

Quadro 2. Continuação.

Cultura	Parte da planta	Idade, época, posição da folha	Número de folhas e número de plantas
Ervilha	Limbo ou pecíolo	Do 3º nó a partir do ápice, quando a planta estiver com 8 a 9 nós.	Amostras de 50 plantas.
Feijoeiro	Folhas	Todas as folhas no florescimento.	Amostras de 10 plantas.
Fumo	Folhas	4ª a 6ª folhas acima da base, no florescimento.	Amostras de 30 plantas.
Macieira	Folhas com pecíolo	Do ramo do ano, no florescimento.	4 a 8 por árvore, nos pontos cardeais, na altura média da planta, amostras de 25 árvores.
Mandioca	Limbo (folíolo)	Da folha que faz um ângulo de 90° com o caule (aproximadamente a 1ª folha a partir do ápice da haste principal). A 1ª coleta quando a planta tiver 1/3 de sua altura, a 2ª após a ramificação sobre os ramos primários e a 3ª coleta é feita sobre os ramos secundários.	Amostras de 30 plantas por época.
Mangueira	Folha com pecíolo	Da parte média dos ramos do último ano, na altura média das plantas no florescimento.	4 folhas por árvore nos pontos cardeais, amostras de 25 árvores.
Milho	Folha	30 cm do terço basal na folha + 4, a partir do ápice, excluída a nervura central na idade de 9 semanas (folha em que a inserção da bainha com o colmo é vizível).	Amostras de 30 plantas.
Morangueiro	Limbo	Das 3ªs folhas, a partir do ápice, no florescimento.	1 folha por planta, amostras de 50 plantas.
Pastagem (gramíneas de várias espécies)	Porção da parte aérea retirada pelo gado no pastoreio.	No verão.	Amostra de aproximadamente 200 gramas de material fresco.
Nogueira Pecã	Folíolo	Um par da parte média da folha com ráquis que aparece nos ramos terminais, 6 a 8 semanas após o florescimento.	4 pares por árvore, nos pontos cardeais, na altura média da planta, amostras de 25 plantas.
Pereira e pessegueiro	Folhas com pecíolo	Dos ramos do ano no florescimento.	4 a 8 folhas nos pontos cardeais, na altura média da planta, amostras de 25 plantas.
Pinus	Folha (agulhas)	Dos ramos no último ano, no verão.	10 por árvore, amostras de 30 árvores.
Repolho	Nervura central da folha externa envolvente	No início da formação da cabeça.	Amostras de 50 folhas.

Quadro 2. Continuação.

Cultura	Parte da planta	Idade, época, posição da folha	Número de folhas e número de plantas
Seringueira	Folhas sem pecíolo	Árvore até 4 anos: 4 folhas da base de um buquê terminal situado no exterior da copa e em plena luz. Essas folhas têm de 4 a 6 meses. Árvores com mais de 4 anos: 4 folhas da base de um mesmo buquê. Essas folhas devem ter de 10 a 12 meses.	Amostras de 25 árvores.
Soja	Folha com pecíolo	3ªs folhas, no florescimento.	Amostras de 30 plantas.
Sorgo	Folha	30 cm do terço médio da folha + 4 a partir do ápice, excluída a nervura central na idade de 9 semanas.	Amostras de 30 plantas.
Tomate	Folhas sem pecíolo	1ª abaixo do 2º cacho floral, na época da sua emissão.	Amostras de 30 plantas.
Trevo (e similar)	Limbo	Do terço médio, no florescimento.	Amostras de 50 plantas.
Trigo	Limbo ou toda parte aérea	Das 4 primeiras folhas, a partir do ápice, no florescimento.	Amostras de 50 plantas.
Videira	Limbo	Das 6ªs folhas a partir do ápice, no florescimento.	1 folha por planta, amostra de 25 plantas.

Fonte: adaptada de Trani et alii (1983).

A contaminação com partículas de solo é removida muito mais facilmente que pulverizações com micronutrientes aderentes ao tecido. O uso de detergente apenas parece ser tão efetivo quanto HCl ou misturas HCl-detergente para remover solo, porém lavagens com HCl-detergente são recomendadas se as plantas receberam pulverizações alcalinas contendo micronutrientes.

Entretanto tais pulverizações são difíceis de remover mesmo com detergente-ácido ou EDTA-detergente. Se detergentes são usados para lavagem, deve-se tomar cuidado para evitar contaminações com qualquer elemento de interesse.

Perdas pequenas ou desprezíveis ocorrem na maioria dos tecidos durante as lavagens de curta duração. Entretanto, quando folhas de maçã foram mergulhadas em HCl 1N por 10 minutos, para remover o Zn pulverizado e fortemente aderido, elementos como K, Mg e Mn foram aparentemente perdidos na água de lavagem (Orphanos, 1977).

A maioria dos trabalhos tem mostrado que quando for realizada com cuidado, a lavagem tem pequeno efeito nos teores de Cu, Zn, Mo e B de plantas não pulverizadas. Entretanto, a lavagem ocasionalmente tem provocado pequenas reduções na concentração de Mn. Experiência e conhecimento da situação local são fatores a serem considerados na decisão de se lavar ou não as amostras.

Uma sugestão prática em termos de lavagem de partes de plantas seria a seguinte: 1) se a planta não foi pulverizada, as folhas devem ser lavadas em água corrente e enxaguadas com água deionizada; 2) caso contrário, o material vegetal deve ser lavado com uma solução de detergente (1 ml/litro), enxaguada várias vezes com água corrente e em seguida com água deionizada.

b) Deve-se tomar cuidado para que utensílios usados na coleta e preparo da amostra não contaminem o material. Alguns sacos de papel contém boro e causam contaminação (Winsor, 1957). As estufas de secagem devem, de preferência ser construídas em aço inoxidável e pintadas com tinta epóxi de boa qualidade; bandejas galvanizadas não devem ser usadas devido a provável contaminação com zinco. Durante a moagem as partes em contato com a planta no moinho devem ser em aço inoxidável.

c) É necessário extremo cuidado para evitar introdução sistemática ou acidental de elementos estranhos durante as várias operações analíticas. Sempre que possível, os reagentes devem ser armazenados em frascos de polietileno. A lavagem de vidraria com HCl 1N seguida de água destilada ou deionizada é essencial.

A borracha usada na tubulação, tampas, pinças de agitadores, etc, podem causar contaminação com zinco e seu uso deve ser evitado (Mitchell, 1960). Bulbos de borracha ligados a pipetas podem causar contaminação com zinco, cobre e ferro (Baker et alii, 1964). Vidros "Pyrex" ou "Kimax" contém boro e qualquer solução usada para análises desse elemento devem ser armazenadas em garrafas de polietileno. Corrosão de superfícies metálicas dentro do laboratório podem ser particularmente problemáticas. Materiais de cobre e latão devem ser substituídos ou recobertos com tinta epóxi ou resina, uma vez que os sais básicos formados na superfície do cobre podem se espalhar facilmente em forma de poeira fina. A vidraria usada para análise de micronutrientes deve ser reservada para esse fim. As análises colorimétricas para fósforo freqüentemente contaminam o laboratório com molibdênio, e tal determinação deve ser feita fora de um laboratório que faça determinações de Mo. Todo esforço deve ser tomado para controlar a poeira no laboratório. Atenção cuidadosa deve ser dada ao sistema de água destilada e deionizada. Borracha, latão, bronze ou cobre não devem entrar em contacto com a água purificada e frascos de polietileno devem ser usados para o armazenamento de água.

1.5. Precisão e exatidão

Máximo cuidado é necessário para assegurar boa precisão e exatidão durante as análises químicas. A precisão, que representa os erros ao acaso do laboratório, pode ser facilmente calculada como um coeficiente de variação fazendo-se análises de sub-amostras de uma amostra relevante. Entretanto isso não mede a exatidão do método (McFarren et alii, 1970).

A medida da exatidão é melhor obtida incluindo uma amostra padrão, para o controle em cada bateria de amostras desconhecidas. Nos EUA e Europa existem instituições que fornecem essas amostras, cujas concentrações dos nutrientes são conhecidas.

Vários laboratórios ou grupos de analistas podem preparar e padronizar amostras para aferição contínua dos padrões de precisão e exatidão desejados. Trocas entre laboratórios de amostras

apropriadas são importantes na avaliação de novos métodos e no controle de qualidade.

1.6. Métodos de análise

Os métodos químicos de determinação dos elementos totais baseados em espectroscop emissão, espectrofotometria de absorção atômica (AAS), espectroscopia de emissão de plasma d gônio (ICAP), e colorimetria requerem que a matéria orgânica seja removida e os elementos sol zados antes da análise. Técnicas de digestão via seca ou via úmida são comumente usadas.

A digestão via seca apresenta a vantagem de não requerer uma digestão separada para o qual é difícil de analisar por métodos de digestão úmida devido a contaminação associados uso de vidros Pyrex e volatilização durante a digestão. Essa técnica tem sido estudada por pesquisadores. Entre os problemas citam-se perdas por volatilização, reações dos micronutr com as superfícies dos cadinhos e com a sílica das plantas e dificuldade de dissolução efetiv elementos.

A disponibilidade de blocos aquecedores de alumínio que permitem a digestão em tubos ml em uma pequena área popularizou as técnicas de digestão via úmida. Algumas misturas dige que tem sido usadas são: HNO_3 - $HClO_4$; HNO_3 - $HClO_4$ - H_2SO_4; H_2SO_4 - H_2O_2; metanol -H_2SO_4 -

Ácido nítrico apenas, segundo Havlin & Soltanpour (1980), tem se mostrado com efic semelhante a HNO_3 - $HClO_4$ que é a mistura digestora mais comum em análise de plantas.

Métodos de digestão via úmida envolvendo o uso de HNO_3-$HClO_4$, para destruir a matér gânica, são de boa eficiência na recuperação de cobre, zinco, manganês e possivelmente molib mas não para ferro ou boro. Wolf (1971) descreveu um método de digestão via úmida para dete ção de boro envolvendo o aquecimento da planta com H_2SO_4-H_2O_2 em tubos Vycor.

No IAPAR, Miyazawa et alii, (1984) e Correia et alii (1985) desenvolveram um método gestão para extração de boro, cobre, manganês e zinco em tecidos de plantas. O método consi tratamento do material com HCl 1N a 80°C por 15 minutos, seguido de agitação por 60 minutos tragem. Os resultados para cobre, manganês e zinco foram semelhantes aos obtidos com digestã trico perclórica e para boro semelhantes aos obtidos com digestão via seca. Observações pe indicaram que no caso de laranjeira, os resultados de cálcio extraído com HNO_3-$HClO_4$ foram o dos obtidos com a extração usando H_3C-OH-H_2O_2-H_2SO_4.

A escolha do método de análise vai depender do equipamento disponível, número de am a serem analisadas e custos. Métodos colorimétricos são mais adequados para determinação de molibdênio quando não se dispõe de equipamento de espectroscopia de emissão de plasma de argôn espectrofotometria de absorção atômica é usada na determinação de cobre, ferro, manganês e zi

1.7. Interpretação e Dificuldades

Existem dois métodos mais comumente usados para interpretação dos resultados de di foliar: o do "nível crítico" e o "Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação - DRIS", desenv por Beaufils (1971 e 1973).

A determinação dos "níveis críticos" para os nutrientes em relação às diversas cul uma das fases da diagnose foliar que demanda grande esforço por parte da pesquisa. Embora mu teja por ser feito em relação a esse assunto, já existem informações sobre "níveis críticos" algumas culturas mais importantes no Brasil e que podem ser usadas como um guia básico para pretação desse instrumento de diagnose (Quadro 3).

No caso de culturas sobre as quais não se estabeleceram ainda bases para interpreta resultados analíticos, é preferível comparar dados de plantas aparentemente normais com os d tas que apresentam alguma anomalia. Comparações de grande valor também podem ser obtidas, c do-se amostras em três situações de nível de tecnologia adotado e produtividade obtida, por alto, médio e baixo, estabelecendo padrões para interpretação dos resultados.

A diagnose usando "níveis críticos" apresenta várias limitações: a) exige época pad da de amostragem; b) quando um elemento está em nível baixo, o equilíbrio nutricional da pl alterado, o que não significa que apenas aquele nutriente está limitando a produção (Summer,

Quadro 3. Teores mínimos adequados (níveis críticos) para diversas plantas cultivadas.

Cultura	Macronutrientes						Micronutrientes						Fonte
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo	
	%						ppm						
Abacaxi (10 meses)	1,50	0,12	3,00	0,50	0,30	-	-	-	-	-	-	-	TRANI et alii (1983)
Algodão	3,20	0,17	1,50	2,00	0,50	0,40	50	8	-	-	30	-	TRANI et alii (1983)
Algodão	3,50	0,20	1,30	2,50	0,20	1,30	130	10	-	15	30	1	MALAVOLTA (1980)
Amendoim	4,00	0,20	1,00	-	-	-	100	-	-	200	-	-	MALAVOLTA (1980)
Arroz	3,00	0,12	2,00	0,60	0,30	-	30	15	-	-	20	-	TRANI et alii (1983)
Bananeira	2,60	0,22	2,80	0,60	0,30	0,20	15	8	70	-	20	-	TRANI et alii (1983)
Bananeira	2,60	0,20	2,70	1,50	0,40	-	-	-	-	-	-	-	MALAVOLTA (1980)
Batatinha (30 dias)	5,00	0,30	3,00	-	-	-	20	-	-	-	-	-	TRANI et alii (1983)
Batata	3,80	0,30	1,30	1,00	0,30	-	-	3	-	40	25	-	MALAVOLTA (1980)
Cacau	2,80	0,20	3,30	0,30	0,40	0,30	32	15	-	-	30	-	MALAVOLTA (1980)
Cafeeiro	3,00	0,15	2,00	1,50	0,40	0,20	60	10	100	100	15	0,2	MALAVOLTA (1980)
Cafeeiro	2,80	0,12	1,80	1,00	0,35	0,20	40	6	70	50	10	-	TRANI et alii (1983)
Cana-de-açúcar	1,60	0,12	1,20	0,40	0,20	0,20	10	6	100	50	10	-	TRANI et alii (1983)
Cana-de-açúcar	2,00	0,20	2,00	0,70	0,20	0,20	10	5	100	50	20	0,3	MALAVOLTA (1980)
Citrus	2,50	0,20	1,50	4,00	0,40	-	-	10	100	100	70	-	MALAVOLTA (1980)
Citrus	2,20	0,12	1,00	3,00	0,30	0,20	50	6	60	25	25	-	TRANI et alii (1983)
Coqueiro	1,70	0,10	0,50	0,50	0,30	-	-	-	-	-	-	-	MALAVOLTA (1980)
Couve-flor	2,50	0,50	2,50	3,50	-	-	40	5	-	60	-	-	MALAVOLTA (1980)
Feijão (todas as folhas)	3,00	0,30	2,00	2,50	0,50	0,20	20	8	-	-	30	-	TRANI et alii (1983)
Macieira	2,20	0,18	1,30	0,95	0,35	0,20	60	-	-	-	-	-	TRANI et alii (1983)
Macieira	2,50	0,20	1,50	1,20	0,30	-	20	10	-	75	30	0,2	MALAVOLTA (1980)
Milho	3,00	0,20	2,00	1,50	0,30	0,30	40	5	-	10	15	0,3	MALAVOLTA (1980)
Milho	3,00	0,22	2,00	0,45	0,25	0,20	20	9	-	-	20	-	TRANI et alii (1983)
Pessegueiro	2,50	0,20		-	-	-	-	-	-	-	-	-	MALAVOLTA (1980)
Pinus spp	1,30	0,20	1,00	-	0,20	0,20	20	5	100	200	-	0,1	MALAVOLTA (1980)
Soja	3,50	0,30	3,00	1,00	0,40	0,30	20	-	100	100	-	-	MALAVOLTA (1980)
Soja	4,50	0,25	1,70	1,00	0,40	0,25	20	10	50	20	20	-	TRANI et alii (1983)
Sorgo	3,00	0,50	2,20	0,35	0,25	-	-	9	-	-	20	-	TRANI et alii (1983)
Tomateiro	4,00	0,40	3,80	2,00	0,50	-	-	-	-	-	-	-	TRANI et alii (1983)
Tomateiro	3,00	0,40	3,00	4,00	0,40	0,30	100	20	150	100	50	0,7	MALAVOLTA (1980)
Videira	2,50	0,20	1,50	0,40	0,40	-	100	15	-	-	-	-	MALAVOLTA (1980)

Fonte: adaptado de Trani et alii (1983) e de Malavolta (1980).

Da mesma forma, quando um nutriente está em nível alto, pode induzir a deficiência d nutriente que estaria em teores considerados normais para uma situação ideal de equilíbrio n nal. Exemplificando: com altos teores de fósforo na planta pode haver deficiência de zinco, sive com sintomas visuais, sem que o nível absoluto de zinco na análise indique esta deficiên

Em vista dessas limitações, há uma tendência de se estabelecer relações ideais entr trientes ao invés de níveis adequados de cada nutriente isolado. Kenworthy (1950) apresent sultados da análise de dez elementos em uma mesma amostra em forma de um círculo com raios d primento diferente; o comprimento diferente dos raios é feito para representar o grau de des brio entre os nutrientes. Esse esquema se refere a idéia de que os elementos na situação c rada ideal devem ter, entre eles, uma relação ótima compatível com a espécie, idade e condiç rais de crescimento da planta (Figura 3).

Beaufils (1961) aperfeiçoou o sistema introduzindo as relações entre os elementos. presentação é também de raios em um círculo e os dados são as relações entre elementos pelas se define uma zona de bom equilíbrio, uma zona de tendências e uma zona de desequilíbrio.

Estas noções foram aperfeiçoadas para dar origem ao "Sistema Integrado de Diagnose mendação", DRIS. Embora existam poucos trabalhos utilizando o DRIS para micronutrientes, o se sistema facilitará bastante a interpretação de resultados de diagnose foliar para esta si

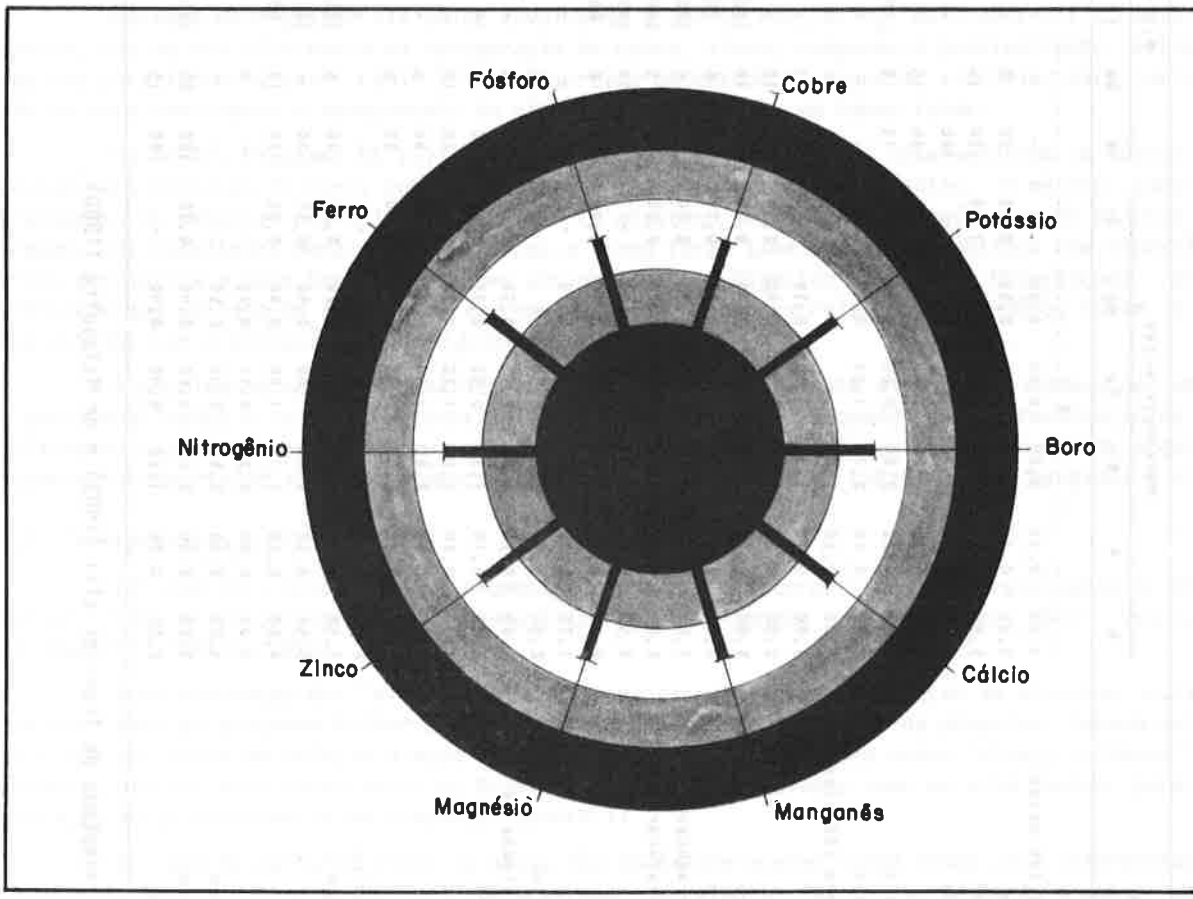


FIG. 3. Representação do balanço de elementos nutritivos, segundo Kenworthy (1950).

2. Testes de tecido

Os testes de tecido são testes rápidos para determinação de certos nutrientes no suc lar de tecidos frescos. Os resultados são comparados com tabela de cores e classificados co

to baixo, baixo, médio, alto ou muito alto. A finalidade não é obter valores quantitativos exatos mas obter informações de suficiência ou não dos nutrientes testados.

No Brasil são fabricados estojos para testes de tecido envolvendo nitrogênio, fósforo e potássio. Entretanto, existem técnicas desenvolvidas para cobre, ferro, manganês e zinco.

Cobre: o princípio do método se baseia na determinação da atividade da oxidase do ascorbato através da medida da taxa de oxidação do ácido ascórbico adicionado à lâminas de folhas novas fechadas, homogeneizadas em solução tampão de fosfato com EDTA, como agente quelante de íons metálicos. Imediatamente após a adição de ácido ascórbico, a reação de oxidação do ascorbato é interrompida e o ácido ascóbico não oxidado remanescente é determinado por titulação com iodo usando amido como indicador (Delhaize et alii, 1982).

Ferro: o método foi desenvolvido por Bar-Akiva et alii (1978) e baseia-se na determinação da atividade da peroxidade em discos de folha. Os discos são colocados em placas de porcelana com tampão de acetato, ácido ascórbico e H_2O_2. A adição de benzidina e NaOH provoca o desenvolvimento de uma coloração correspondente a atividade da enzima.

Manganês: o método citado por Syltie et alii (1972) baseia-se na determinação por tetrabase de Feigl. O reagente I é preparado com KIO_4 e o reagente II com p,p-metilenobis (N,N-dimetilanilina) e ácido acético glacial. O aparecimento da coloração azul durante a adição desses reagentes com o suco da planta indica a presença de manganês.

Zinco: o método descrito por Fernandes (1967) baseia-se na formação de um composto róseo a vermelho entre o zinco e ditizona.

Embora a execução a campo dos testes de tecido seja simples, alguns princípios gerais devem ser levados em conta para aumentar a eficiência dos mesmos:

a) Acompanhar a evolução do estágio nutricional das plantas fazendo cinco a seis testes durante o ciclo das mesmas.

b) As maiores exigências das plantas em relação ao estado nutricional adequado ocorre no estádio da floração. Se a área for testada apenas uma vez durante o ciclo, esta é a época mais adequada; entretanto, se houver deficiência é geralmente tarde para aplicação de medidas corretivas para a cultura naquele ano.

c) É sempre interessante comparar áreas contrastantes no campo. Deve-se testar plantas de áreas deficientes e áreas com aparência normal.

d) Para evitar variabilidade entre plantas, é recomendável fazer o teste em 10 a 15 plantas, tirando-se a média dos resultados.

e) Os testes não devem ser feitos em condições anormais de clima. Excesso de chuva ou deficiência hídrica, por exemplo, alteram sensivelmente os resultados.

f) Para fazer uma interpretação adequada do teste deve-se estar familiarizado com a fisiologia da planta a ser avaliada. Alguns fatores adicionais que devem ser conhecidos e considerados são: aspecto geral e vigor das plantas; nível de outros nutrientes na planta; incidência de insetos ou doenças; condições do solo, tais como problemas de aeração e desenvolvimento de raízes; condições climáticas.

3. Testes Bioquímicos

O uso de testes bioquímicos na avaliação do estado nutricional das plantas se baseia no fato de que determinadas enzimas exigem metais específicos para sua formação ou para sua atividade. Uma revisão bem abrangente sobre o assunto, inclusive com as técnicas de determinação, foi feita por Carnauba et alii (1983).

Segundo Rending & McComb (1961), as plantas suficientemente providas e as deficientes em um determinado elemento podem mostrar maiores diferenças no conteúdo de certos metabólitos orgânicos do que no teor do próprio nutriente.

Pode ocorrer também que uma proporção significativa de um nutriente esteja numa forma fisiologicamente inativa; neste caso, os métodos convencionais de análise de planta que medem a con-

centração total do elemento na mesma superestimam o estado nutricional real. Isso foi por Leece (1976b) que detectou zinco inativo em folhas expandidas de milho (com 30 dias d cultivado em solos alcalinos. Embora a concentração de zinco nessas plantas fossem sufici ra um crescimento normal, as plantas mostravam sintomas acentuados de deficiência de zinco resultados mostraram que a deficiência de zinco não pode ser diagnosticada pelos processos cos convencionais.

Quando se utiliza a análise foliar para determinar o estado nutricional, um dos está no fato de que não são avaliados possíveis efeitos das interações entre íons (Bar- alii, 1967). Outra vantagem do teste bioquímico se refere ao tamanho das amostras; enquant lises usuais exigem umas 30-50 folhas, os testes bioquímicos são feitos em poucas folhas, do o trabalho com plantas jovens onde o número de folhas é limitado. A lavagem das folhas do e detergente diluído é essencial em análises convencionais para remover os contaminante to que para os testes bioquímicos uma ligeira limpeza superficial é suficiente.

O uso de pequenas amostras e o procedimento rápido nos testes bioquímicos permite zação de muitas amostras pequenas ao invés de uma só amostra grande, o que aumenta a prob de se ter uma diagnose correta (Bar-Akiva, 1964 e 1970).

Com exceção do bóro, que segundo Malavolta (1980) é o único nutriente para o qu encontrou nenhum composto vital de que participe da estrutura química, nem se identificou reação crucial para o metabolismo que deixe de ocorrer na sua ausência, para os demais mic tes existem estudos que correlacionam atividade de enzimas com a atividade dos mesmos ta.

Loneragan et alii (1982), em estudos relacionando a atividade da oxidase do ácid bico, oxidase do O-difenois, e oxidase de diamina, concluíram que a atividade da oxidade bato apresentou-se como parâmetro mais adequado para diagnosticar deficiências de cobre em subterrâneo (Figura 4).

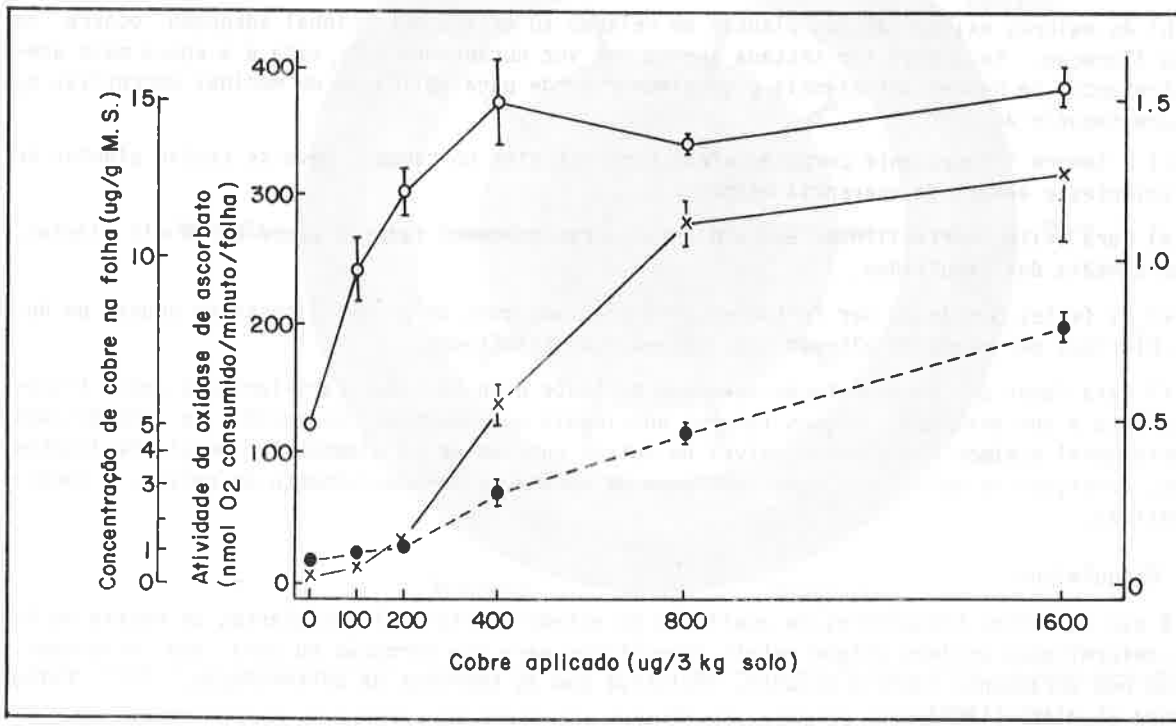


FIG. 4. Relação entre suprimento de cobre e produção de matéria seca da part (O), atividade de oxidase de ascorbato (X), e concentração de cobre lha mais nova aberta (O) de trevo subterrâneo crescendo por 75 di areia deficiente em cobre. Barras verticais representam os erros quando estes são maiores que os símbolos.

Fonte: adaptado de Loneragen et alii (1982).

Bar-Akiva (1961) observou um aumento na atividade da peroxidase em folhas de citrus deficientes em ferro (Quadro 4). Posteriormente, Bar-Akiva et alii (1978) propuseram um teste rápido para diagnose de ferro em culturas através da medida da atividade da peroxidase; este método foi utilizado com êxito na cultura de tomate e milho.

Quadro 4. Efeito da deficiência de ferro na atividade da peroxidase em folhas de citrus.

Variedades de citrus	Tratamento	Atividade da peroxidase[1]
Limão "Rough"	Controle	33
	- Fe	180
Lima "Sweet"	Controle	27
	- Fe	61
Laranja "Sour"	Controle	47
	- Fe	73
Limão "Eureka"	Controle	32
	- Fe	59
Grapefruit "Duncan"	Controle	32
	- Fe	125
Laranja "Shamouti"	Controle	48
	- Fe	154

[1] A atividade da peroxidase está expressa em números de segundos necessários à completa oxidação de 75 µg de pyrogalol por 1 g de folha fresca.

Fonte: adaptado de Bar-Akiva (1961).

No caso do manganês, Bar-Akiva (1964) observou efeitos da deficiência de Mn nos teores de pentose livre, de clorofila, na razão de clorofila a/b e na atividade da peroxidase em citrus (Quadro 5).

Redução na atividade da anidrase carbônica provocada pela deficiência de zinco foi observada por Bar-Akiva & Lavon (1969) em citrus e por Gibson & Leece (1981) em milho.

Nenhuma técnica bioquímica é ainda utilizada em rotina para diagnose de deficiências minerais no campo, provavelmente pela complexidade dos métodos. Segundo Loneragan et alii (1982), se essas técnicas pudessem ser simplificadas suficientemente para que fossem utilizadas por agricultores, a fim de diagnosticar possíveis deficiências minerais a tempo de corrigí-las, haveria seguramente grandes benefícios através de conseqüentes aumentos na produção.

Quadro 5. Efeito da deficiência de manganês no conteúdo de clorofila, pentose e na atividade roxidase em folhas de citrus.

Variedades de citrus	Tratamento	Clorofila (% de material fresco)[1]				Atividade da peroxidase[2]
		Total	a	b	a/b	
Limão "Rough"	Controle	0,1040	0,0770	0,0270	2,84	32
	- Mn	0,0507	0,0332	0,0175	1,89	12
Lima "Sweet"	Controle	0,120	0,0843	0,0356	2,40	27
	- Mn	0,0709	0,0459	0,0250	1,83	13
Laranja "Souer"	Controle	0,0954	0,0680	0,0274	2,48	47
	- Mn	0,0852	0,0540	0,0312	1,70	14
Limão "Eureka"	Controle	0,822	0,0596	0,0226	2,63	32
	- Mn	0,0339	0,0223	0,0116	1,92	15
Grapefruit "Duncan"	Controle	0,0849	0,0615	0,0234	2,62	32
	- Mn	0,0687	0,0452	0,0235	1,92	16
Laranja "Shamouti"	Controle	0,0951	0,0668	0,0283	2,36	48
	- Mn	0,0645	0,0423	0,0222	1,93	21

1/ Os valores são médias de 3-4 amostras de folhas de diferentes idades.

2/ A atividade da peroxidase é expressa em segundos, necessários à completa oxidação de 75 µ pyrogallol por 5 mg de material de folha (fresca).

3/ Cada amostra de folha, mesmo o controle, desenvolveu alguma coloração com reagente orcino valor do controle foi arbitrariamente dado como 100.

Fonte: adaptado de Bar-Akiva (1961).

4. Diagnose visual

A diagnose visual é uma técnica baseada no fato de que plantas com deficiência a ou toxicidade de um elemento mineral, normalmente apresentam sintomas definidos e caracte dos distúrbios causados pela falta ou excesso deste nutriente. Sua principal vantagem est to de que a planta age como integradora de todos os fatores de crescimento e se constitue n to final de interesse do produtor. Outra vantagem é que não requer equipamentos sofisticad ros e pode ser usada como um suplemento às outras técnicas de diagnose da fertilidade do estado nutricional da planta.

Segundo Malavolta (1980), a manifestação externa de uma carência ou excesso tóxico concebida como o último passo de uma seqüência de eventos, conforme está resumido na Figura melhor entendimento, o mesmo autor cita um exemplo: o sintoma típico da deficiência de zi encurtamento dos internódios; sabe-se que o zinco é necessário para a síntese do triptofano sor do ácido indol acético. Tem-se então: lesão molecular = menor nível de auxina; lesão lar = paredes menos plásticas; lesão celular = células menores; lesão no tecido = conjunto las menores; manifestação visível = internódios curtos.

A diagnose visual pode ser facilitada através de observações de plantas indicadora ficiências, que por serem mais exigentes e possuírem menor capacidade de absorção ou translo um determinado nutriente, mostram os sintomas enquanto outras não o fazem. Por outro lado,

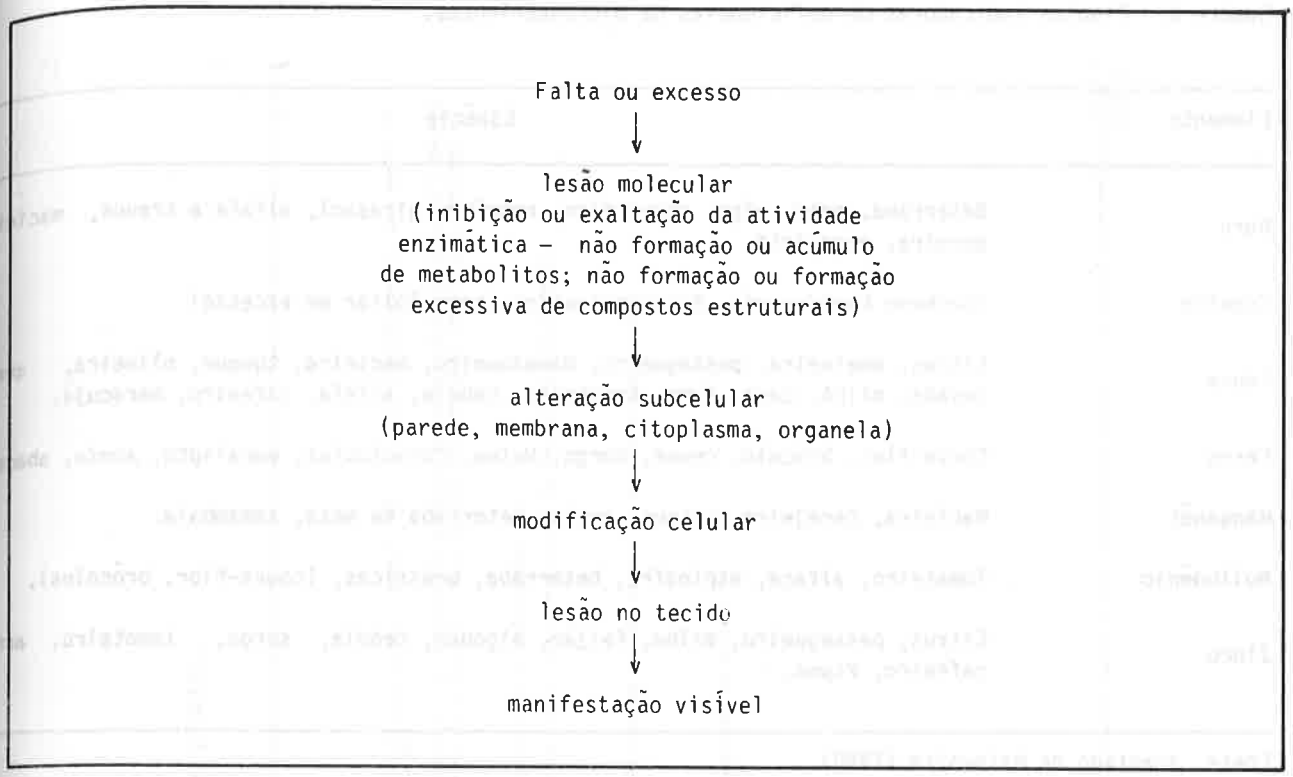


FIG. 5. Seqüência de eventos que conduzem à anormalidade visível.

Fonte: adaptado de Malavolta (1980).

pécies "acumuladoras" toleram concentrações de determinados nutrientes que seriam tóxicas para outras espécies (Quadro 6).

Como limitações da diagnose visual tem-se os seguintes aspectos:

- quando os sintomas chegam a se manifestar, a produção geralmente já está comprometida;

- exige pessoal altamente habilitado para distinção dos sintomas aparentes;

- não se aplica na detecção da "fome" ou "toxicidade" oculta (situação em que o crescimento e a produção já foram afetados e a planta ainda não apresentou os sintomas visuais característicos);

- nos casos de deficiências múltiplas, o que ocorre na maioria dos casos, fica difícil identificar quais os elementos que estão em nível deficiente ou tóxico.

Para aumentar a eficiência da diagnose visual é absolutamente indispensável trabalhar com descrições de sintomas para uma cultura específica, obtidas através de cultivo de plantas em solução nutritiva onde o único fator limitante é o nutriente em questão. Existem chaves específicas com sintomas de deficiência, inclusive com fotografias coloridas para as principais culturas, e que constituem um valioso instrumento de diagnose. No Quadro 7 são mostrados sintomas gerais de deficiência e toxicidade de micronutrientes.

FATORES QUE AFETAM A DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES

Além dos critérios para diagnose de problemas com micronutrientes anteriormente citados, um dos instrumentos de maior valor para esta finalidade é o conhecimento dos fatores que afetam a disponibilidade destes. Através do conhecimento de fatores de solo, clima e outros, mais passíveis de influenciarem no aparecimento de deficiência ou toxicidade de micronutrientes, é perfeitamente

Quadro 6. Plantas indicadoras de deficiências de micronutrientes.

Elemento	Espécie
Boro	Beterraba, nabo, aipo, couve-flor, repolho, girassol, alfafa e trevos, pereira, eucalipto.
Cobalto	*Clethera barbinervis*, *Nyssa sylvatica* (teor foliar em excesso)
Cobre	Citrus, ameixeira, pessegueiro, damasqueiro, macieira, tunque, oliveir cevada, milho, cana, fumo, tomateiro, cebola, alfafa, cafeeiro, maracu
Ferro	Couve-flor, brócolo, couve, sorgo, *Malva*, *Convulvulus*, eucalipto, *Acai*
Manganês	Macieira, cerejeira, citrus, aveia, beterraba de mesa, samambaia.
Molibdênio	Tomateiro, alface, espinafre, beterraba, brássicas, (couve-flor, bróco
Zinco	Citrus, pessegueiro, milho, feijão, algodão, cebola, sorgo, tomatei cafeeiro, *Vigna*.

Fonte: adaptado de Malavolta (1980).

factível selecionar áreas ou solos com maior probabilidade de ocorrência de problemas.

Um resumo destes fatores, agrupados para cada micronutriente, é apresentado a seg mando-se como base de referência uma série de trabalhos que de uma forma mais ou menos d enfocam o assunto (Lucas & Knezek, 1973; Tisdale & Nelson, 1975; Potash & Phosphate Institut Malavolta, 1981; Dennis, 1982 e Sillanpää, 1982).

Boro:

a) Maior disponibilidade na faixa de pH 5,0 a 7,0;

b) Condições de alta pluviosidade e altos graus de perdas por lixiviação, reduzem nibilidade, notadamente em solos mais arenosos;

c) Condições de seca aceleram o aparecimento de sintomas de deficiência, que, mu zes tendem a desaparecer quando a umidade do solo atinge níveis adequados. Dois fatores este comportamento:

- Matéria orgânica é uma importante fonte de boro para o solo. Sob condições d decomposição desta diminui, liberando menos boro para a solução do solo.
- Condições de seca reduzem o crescimento das raízes, induzindo a menor exploraç lume do solo, o que leva a um menor índice de absorção dos nutrientes, inclusiv

d) Uma vez que os limites entre deficiência e toxicidade de boro são muito estreit cação de fertilizantes com este micronutriente em sistemas de rotação envolvendo culturas c rentes graus de sensibilidade, deve ser feita com cuidado.

Cobre:

a) Maior disponibilidade na faixa de pH 5,0 a 6,5;

b) Solos orgânicos são os mais prováveis de apresentarem deficiência de cobre. Ta

Quadro 7. Sintomas de deficiência e toxicidade de micronutrientes em plantas.

BORO	
Sintomas de deficiência	<u>Visíveis</u>
	Folhas pequenas, com clorose irregular ou sem clorose, de formas bizarras ou deformadas, mais grossas e quebradiças, com nervuras suberificadas (cortiça) e salientes; às vezes tons vermelhos ou roxos.
	Morte do meristema apical do caule - comum em muitas plantas (cafeeiro); a regeneração a partir de gemas axilares pode dar; galhos em leque (cafeeiro) na parte do ramo principal ou do caule, aspecto de arbusto (pinheiro) clorose, margens necróticas, deformação das folhas ocorrem diferentemente nas várias espécies.
	O caule às vezes racha (tomateiro).
	As raízes podem ser escuras com as pontas engrossadas e depois necróticas e ramificadas.
	O florescimento pode não ocorrer; frutos deformados com lesões externas e internas, cortiça na casca; má polinização.
	<u>Anatômicos</u>
	A parenquima se desenvolve às custas de tecidos vasculares. As células em muitas partes da planta ficam maiores.
	Paredes celulares muito finas.
	Colapso dos vasos condutores.
Sintomas de excesso	Clorose reticulada (cafeeiro) e queima das margens (zonas de acumulação de boro).
CLORO	
Sintomas de deficiências	<u>Visíveis</u>
	Diminuição no tamanho das folhas (primeiro sintoma).
	Murchamento de folíolos apicais das folhas mais velhas (tomateiro).
	Clorose, bronzeamento, necrose.
	Supressão de frutificação.
	Raízes curtas, não ramificadas.
Sintomas de excesso	Necrose das pontas e margens
	Amarelecimento prematuro e abscissão das folhas.

Cont.

Quadro 7. Continuação.

COBRE	
Sintomas de deficiências	Visíveis
	Folhas inicialmente verde escuras localizadas em "ramos aquosos" vigorosos (laranjeiras) tornando-se cloróticas (pontas, margens); as folhas se encurvam e as nervuras podem ficar muito salientes (cafeeiro). Falta de perfilhamento e "topo caído" (cana-de-açúcar).
	Lesões na casca de ramos novos.
	Morte descendente (dieback) de ramos.
	Gemas múltiplas.
	Químicos
	Aumento na concentração de N alfa amínico; menor absorção de O_2.
Sintomas de excesso	Deficiência de ferro induzida.
	Manchas aquosas e depois necróticas das folhas; desfolhamento precoce (cafeeiro).
	Diminuição no crescimento, diminuição na ramificação (cafeeiro).
	Cessação do crescimento radicular e radículas e enegrecidas (cafeeiro).
FERRO	
Sintomas de deficiências	Visíveis
	Clorose das folhas novas (rede verde fina das nervuras sobre fundo amarelado) seguida de branqueamento; o padrão coincide com a distribuição do ferro no tecido.
	Diminuição no crescimento e na frutificação.
	Químicos
	Menor teor de clorofila, elevada produção de pigmentos vermelhos e amarelos.
	Alta relação K/Ca.
	Alto teor de ácido cítrico.
Sintomas de excesso	Manchas necróticas nas folhas.

Cont.

Quadro 7. Continuação.

MANGANÊS	
Sintomas de deficiências	Visíveis
	Clorose das folhas novas (rede verde grossa das nervuras sobre fundo amarelado) seguida de branqueamento.
	Manchas pequenas e necróticas nas folhas.
	Formas anormais das folhas.
	Citológicos
	Cloroplastos vacuolados
	Químicos
	Menor teor de amido.
	Fisiológicos
	Respiração diminuída, menor atividade fotossintética.
Sintomas de excesso	A princípio deficiência de ferro induzida, depois manchas necróticas ao longo do tecido condutor; encarquilhamento de folhas largas.
	Menor nodulação nas leguminosas.
MOLIBDÊNIO	
Sintomas de deficiências	Visíveis
	Clorose malhada geral, manchas amarelo-esverdeadas ou laranja brilhantes em folhas mais velhas e depois necrose (manchas relacionadas à distribuição do Mo).
	Murcha das margens e encurvamento do limbo para cima (tomateiro) ou para baixo (cafeeiro).
	Áreas úmidas e translúcidas em algumas espécies.
	Floração pode ser suprimida.
	Leguminosas podem mostrar sintomas de falta de N.
	No gênero Brassica o "rabo de chicote" (Whiptail) consiste de folhas que crescem rapidamente quase desprovidas de limbo.
	Menor nodulação nas leguminosas.
	Químicos
	Alto teor de nitrato.
Sintomas de excesso	Glóbulos amarelo ouro no ápice da planta (tomateiro).
	A faixa de concentração entre deficiências e excesso pode ser de um milhão de vezes.

Cont.

Quadro 7. Continuação.

ZINCO	
Sintomas de deficiências	Visíveis
	Diminuição no comprimento dos internódios com a formação dos tufos terminais de folhas em plantas perenes ("rosette" de laranjeira, cafeeiro, pessegueiro) ou plantas anãs (milho, arroz, cana-de-açúcar).
	Folhas novas pequenas, estreitas e alongadas.
	Diminuição na produção de sementes.
	Químicos
	Acumulação de amidas (glutamina e asparagina) de N alfa amínico.
	Certos sintomas foliares podem ser induzidos pela aplicação de L (+) isoleucina.
	Maior atividade da RNAse.
Sintomas de excesso	Indução de carência de Fe.

Fonte: adaptado de Malavolta (1980).

geralmente apresentam abundância deste micronutriente, mas formando complexos tão estáveis com a matéria orgânica que somente pequenas quantidades são disponíveis para a cultura;

c) Solos arenosos com baixos teores de matéria orgânica, podem tornar-se deficientes em cobre em função de perdas por lixiviação;

d) Solos argilosos apresentam menores probabilidades de apresentarem deficiência deste micronutriente;

e) Presença excessiva de íons metálicos como ferro, manganês e alumínio, reduz a disponibilidade de cobre para as plantas. Este efeito é independente do tipo de solo.

Ferro

a) Maior disponibilidade na faixa de pH 4,0 a 6,0;

b) Deficiência de ferro acredita-se ser causada, principalmente, por desequilíbrio em relação a outros metais tais como molibdênio, cobre ou manganês;

c) Outros fatores que podem levar a deficiência deste micronutriente são: excesso de fósforo no solo, efeitos combinados de pH elevado, calagem excessiva, encharcamento, baixas temperaturas e altos níveis de bicarbonato.

Manganês:

a) Maior disponibilidade na faixa de pH 5,0 a 6,5;

b) Solos orgânicos, pela formação de complexos muito estáveis entre matéria orgânica e manganês, tendem a apresentar problemas de deficiência;

c) Umidade do solo também afeta a disponibilidade de manganês. Sintomas de deficiência são mais severos em solos com alto teor de matéria orgânica durante a estação fria quando estes estão saturados de umidade. Os sintomas tendem a desaparecer à medida que o solo seca e a temperatura se eleva;

d) Solos arenosos, com baixa CTC e sujeitos a altos índices pluviométricos são mais propensos a apresentarem problemas de deficiência deste micronutriente;

e) Desequilíbrios em relação a cálcio, magnésio e ferro podem, também, causar deficiências de manganês.

Zinco:

a) Maior disponibilidade na faixa de pH 5,0 a 6,5;

b) Alguns solos quando recebem doses de corretivos para elevar o pH acima de 6,0 podem desenvolver sérias deficiências de zinco, principalmente se forem arenosos;

c) Deficiências de zinco podem ocorrer quando se usam altas doses de fertilizante fosfatado. Várias espécies de plantas já mostraram os efeitos da interação zinco-fósforo. A interação complica-se ainda mais pelo efeito de valores de pH próximos a neutralidade.

d) Grandes quantidades de zinco podem ser "fixadas" pela fração orgânica do solo, induzindo a deficiências. Este micronutriente pode ser, também, temporariamente imobilizado nos corpos dos microorganismos do solo, especialmente quando da aplicação de estercos;

e) Baixas temperaturas, associadas a excesso de umidade, podem fazer com que as deficiências sejam mais pronunciadas; isso tende a se manifestar no estádio inicial de crescimento das plantas, e, geralmente, os sintomas desaparecem mais tarde;

f) Sistematização do solo para irrigação por inundação, induz a deficiência de zinco;

g) Zinco é fortemente adsorvido pelos colóides do solo, o que ajuda a diminuir perdas por lixiviação, aumentando o efeito residual. Entretanto, solos arenosos, com baixa CTC e sujeitos a chuvas pesadas podem apresentar problemas de deficiência.

Molibdênio:

a) Maior disponibilidade acima de pH 7,0;

b) Deficiências de molibdênio, têm maior probabilidade de ocorrer em solos ácidos nor que 5,5 ou 5,0). Quando o solo recebe calagem adequada, haverá correção da deficiência níveis deste micronutriente forem adequados;

c) Solos arenosos apresentam com mais freqüência deficiência de molibdênio do que textura média ou argilosos;

d) Doses pesadas de fertilizantes fosfatados aumentam a absorção de molibdênio pel tas, ao passo que, doses elevadas de fertilizantes contendo sulfato podem induzir deficiê molibdênio;

e) Molibdênio em excesso é tóxico, especialmente para animais sob pastoreio. O si racterístico é forte diarréia;

f) Molibdênio também afeta o metabolismo do cobre. Animais em pastoreio em áreas d tes de molibdênio e com níveis elevados de cobre podem sofrer toxicidade por este elemento. tratados com forragem com alto teor de molibênio podem apresentar deficiência de cobre, le molibdenose.

CORREÇÃO DAS DEFICIÊNCIAS E EXCESSOS

1. Filosofias de recomendação

"Para correção das deficiências de micronutrientes, há duas filosofias gerais: a preventiva e prescritiva. A filosofia preventiva tem sido usada para adicionar pequenas q des de mais de um, ou algumas vezes de todos os micronutrientes ao solo. Este método, fundame suprimento de todos os nutrientes removidos pela cultura, pode ser considerado como um prog manutenção. Em geral, não considera necessidades específicas das culturas ou níveis de trientes disponíveis no solo. Muitos dos micronutrientes aplicados de acordo com esta filo dem não ser necessários para a cultura (ferro e manganês, em muitos solos do Brasil, por e e conseqüentemente este método pode resultar num desperdício de recursos.

Aplicações de manutenção podem ser econômicas para culturas de alto valor, tais co hortaliças, etc. O custo do fertilizante neste programa é em geral baixo em comparação com veis decréscimos em lucro em decorrência de quedas na produção e/ou qualidade destas cultur alto valor. Esta filosofia pode também ser usada para outras culturas onde o estado nutric solo ou as necessidades das culturas em uma dada região não foram determinadas.

A filosofia prescritiva requer a utilização de resultados de análises de solos e d tas para avaliar a disponibilidade de micronutrientes no solo e os teores nas culturas. Nes a recomendação para uso de micronutrientes é feita somente daqueles que são necessários, e são aquelas para um específico nível de produção em uma área específica. Esta prática ajud nir a aplicação de quantidades excessivas dos micronutrientes necessários e elimina a aplic queles já presentes em quantidades adequadas. Recomendações mais precisas também protegem antagonismos entre micronutrientes, comuns em nutrição de plantas devido a relações desbal no solo.

O ideal seria o uso da filosofia prescritiva para recomendação de fertilização com nutrientes para todas as áreas. Entretanto, o uso eficiente deste sistema exige, para sua tação, considerar os seguintes aspectos: a) critérios confiáveis para interpretação de re de análises de solo e plantas, somente viáveis de serem atingidos através de trabalhos de ção e calibração em experimentos de campo; b) caracterização adequada dos solos onde os correlação e calibração foram obtidos, de modo a permitir extrapolações dos resultados para ções semelhantes de solo, cultura e clima; c) formulação de tipos específicos de fertiliza micronutrientes para cada área" (Mortvedt, 1985).

2. Fontes de micronutrientes

Detalhes sobre fontes de micronutrientes foram tratados recentemente por Lopes (1984) e serão também motivo de outro trabalho neste simpósio. Entretanto, como preâmbulo aos tópicos eficiência agronômica e métodos de aplicação, seria recomendável uma discussão sucinta dos principais materiais usados como fertilizantes com micronutrientes.

Inorgânicas: minerais que ocorrem na natureza, e produtos manufaturados na forma de óxidos, carbonatos e sais metálicos como sulfatos, cloretos e nitratos são as principais fontes inorgânicas de micronutrientes. O grau de solubilidade destas formas, assim como a eficiência agronômica, potencial de lixiviação e efeito residual, dependem de uma série de fatores, notadamente do íon acompanhante. Alguns óxidos, como o Cu_2O, podem ser usados diretamente do material extraído das minas, mas a disponibilidade para as plantas de outros óxidos que ocorrem na natureza, como o MnO_2, é tão baixa que seu uso não é recomendável (Mortvedt, 1985). Sulfatos são as formas mais comuns de sais metálicos e apresentam propriedades físicas que permitem misturas em fertilizantes mistos. Oxi-sulfatos são produzidos por acidulação parcial de óxidos de modo que o produto contém micronutrientes, especialmente zinco e manganês, nas formas de óxido e sulfato.

Os sulfatos de cobre, ferro, manganês e zinco são amplamente usados para aplicações no solo e pulverizações, embora $FeSO_4$ não seja recomendado para aplicações no solo. Os óxidos em geral, custam menos por unidade de micronutrientes do que sulfatos, todavia não são solúveis em água e conseqüentemente não são eficientes se aplicados na forma granular, uma vez que a superfície específica é muito reduzida nesta forma. Óxidos devem ser aplicados na forma de pó e misturados com o solo para aumentar a eficiência de absorção pelas plantas. Uma regra prática de acordo com Mortvedt (1985), é que a fonte de micronutriente deve ser constituída em pelo menos um terço na forma solúvel em água para ser eficiente na forma granulada.

O bórax ($Na_2B_4O_7.10\ H_2O$) é a fonte de boro mais comumente usada para aplicações no solo, enquanto o ácido bórico (H_3BO_3) é mais recomendável para pulverizações foliares. A colemanita ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$) é uma outra fonte de boro com baixa solubilidade em água.

Para fornecer molibdênio, as fontes mais usadas são molibdato de sódio (Na_2MoO_4), molibdato de amônio [$(NH_4)_6\ Mo_7\ O_{24}$] e óxido molíbdico (MoO_3). Os primeiros são totalmente solúveis em água, enquanto que o MoO_3 é menos solúvel (Mortvedt, 1985).

Orgânicos: quelatos naturais ou sintéticos, complexos orgânicos naturais e várias combinações constituem as fontes orgânicas de micronutrientes. Quelatos são formados pela combinação de um agente quelante com um metal através de ligações em coordenação. Quelatos podem ser sintéticos (manufaturados) ou naturais (de açúcar ou outros produtos naturais). Um agente quelante é um composto que pode combinar com um íon metálico para formar uma estrutura cíclica chamada de quelato. A estabilidade da ligação metal-quelato é o que, geralmente, determina a disponibilidade do nutriente aplicado para as plantas. Um quelato eficiente é aquele no qual a taxa de substituição do micronutriente quelatado por cátions da solução do solo é baixa, o que em conseqüência, mantém o nutriente aplicado na forma de quelato por tempo suficiente para ser absorvido pelas raízes das plantas (Mortvedt, 1985).

Alguns agentes quelantes para produção de micronutrientes na forma de quelatos são: ácido etileno diamino tetracético (EDTA), ácido N (hidroxietil) etileno diamino triacético (HEDTA), ácido dietileno triamino pentacético (DTPA), ácido etileno diamino di (o-hidroxifenilacético) (EDDHA), ácido nitrilo triacético (NTA), ácido glucoheptônico, e ácido cítrico. O agente quelante mais comum usado para micronutrientes é o EDTA. Vários quelatos são comercializados na forma líqüida porque os custos de produção por unidade de micronutriente são menores que aqueles na forma de pó, que requer secagem. Neste caso, eles são utilizados para misturas com fertilizantes fluidos. Quelatos secos são incorporados em alguns casos a fertilizantes NPK granulados, mas seu uso é restrito a culturas de alto valor comercial (Mortvedt, 1985).

Complexos orgânicos naturais, tais como lignosulfonados, fenóis, e poliflavonóides, são produzidos comercialmente por reações de sais metálicos com sub-produtos da indústria de polpa de madeira. O tipo de ligação química dos metais com os componentes orgânicos destes produtos ainda não é completamente compreendido (Mortvedt, 1985).

FTE (Fritted trace elements): é fabricado por incoporação dos micronutrientes em um triz de silicatos ou vidro para formar um pó. Os componentes são secos, misturados, fundidos dos para passar em peneira de 180 a 200 meshs. A solubilidade destes produtos é controlada grau de moagem e variações na composição da matriz. De acordo com Mortvedt (1985), este ma somente é usado em solos arenosos e em regiões com alto potencial de lixiviação. De acordo mesmo autor, o FTE é mais apropriado para programas de manutenção do que para correção de ciências severas de micronutrientes.

3. Métodos de aplicação e eficiência agronômica

Face a importância dos métodos de aplicação de micronutrientes e suas inter-relações eficiência agronômica, estes aspectos justificam uma discussão mais detalhada. Dentre os de aplicação serão discutidos: a) tratamento de sementes e imersão de raízes; b) adubação c) aplicação no solo e d) aplicação com fertilizantes NPK.

a) Tratamento de sementes e imersão de raízes: As quantidades de micronutrientes dem ser aplicadas via tratamento de sementes são muito limitadas, daí o fato de, em geral, a molibdênio poder ser efetivamente aplicado desta forma (Mortvedt, 1985). Aplicações de 12,9 Mo/ha e 0,25g de Co/ha, por umidecimento de sementes, aumentaram a produção de feijão em 100 respectivamente, em um experimento na zona da Mata-MG (Junqueira Netto et alii, 1977). Para casos, aplicações de $ZnSO_4$ através de tratamento de sementes de batata, têm sido tão efi quanto adubação foliar e aplicação no solo (Grewel & Trehan, 1979).

Em outras situações, imersão de sementes ou raízes de mudas em soluções com micron tes tem dado bons resultados em comparação com outros métodos de aplicação. Os dados do C indicam que imersão de raízes de mudas de arroz em suspensão com ZnO 1% forneceu zinco a um muito menor do que através de pulverização ou aplicação no solo, em quantidades suficiente atingir relativamente altas produções (Yoshida et alii, 1970). Este sistema de imersão de é hoje uma prática sistemática em arroz inundado no transplantio de mudas. Decididadmente, sas de incorporação de certos micronutrientes, via tratamento de sementes e/ou de mudas por do transplante devem merecer atenção especial no Brasil, quando da avaliação de métodos de ap

b) Adubação foliar: o uso de soluções contendo um ou mais micronutrientes vem se cada vez mais comuns na solução de problemas específicos de deficiências. Segundo Mortvedt

Quadro 8. Efeito de fontes e métodos de aplicação de zinco na produção de arroz sob inunda Paquistão.

Fonte de Zn	Dose de Zn	Método de aplicação	Prod g
	(kg/ha)		--(t
Testemunha	-	-	4,
$ZnSO_4$	10	Pré-plantio	5,
$ZnSO_4$	100	Pré-plantio	6,
$ZnSO_4$	10	Lanço após preparo	6,
$ZnSO_4$	100	Lanço após preparo	6,
$ZnSO_4$	10	Lanço após primeiros sintomas	5
$ZnSO_4$	100	Lanço após primeiros sintomas	6
ZnO	0,1[2]	Imersão plântulas em suspensão de ZnO a 1%	5

[1] Valores seguidos pela mesma letra não são diferentes ao nível de 95% de probabilidade.

[2] Dose de Zn aproximada.

Fonte: adaptado de Yoshida et alii (1970).

algumas vantagens da adubação foliar são: a) as doses para aplicação são muito menores do que as aplicações via solo; b) uniformidade de distribuição é facilmente obtida; c) respostas à aplicação do micronutriente é quase imediata e conseqüentemente as deficiências podem ser corrigidas durante a estação de crescimento; d) suspeitas de deficiências podem ser facilmente diagnosticadas através de ensaios simples de pulverização.

Algumas desvantagens da adubação foliar são: a) a demanda de nutriente é, geralmente, alta quando as plantas são pequenas e a área foliar é insuficiente para absorção foliar; b) com alta concentração salina pode ocorrer queima das folhas; c) pode ser muito tarde para corrigir as deficiências e ainda obter produções máximas; d) pequeno efeito residual; e) custos de aplicações extras podem ser necessárias, em função da necessidade de mais de uma aplicação no ciclo da planta.

A eficiência da adubação foliar pode ser afetada por fatores inerentes à planta (fatores intrínsecos), à solução e/ou às condições ambientais (fatores extrínsecos). Dentre os fatores intrínsecos, destacam-se os seguintes: a) permeabilidade da cuticula; b) idade da folha; c) estado iônico interno; d) via de assimilação de carbono; e) estado fisiológico da cultura. Os fatores extrínsecos que devem ser considerados são: a) nutriente específico; b) fonte do nutriente; c) composição e concentração da solução; d) pH da solução; e) uso de surfactantes; f) luz; g) temperatura e umidade do ar; h) eficiência do equipamento de pulverização. Detalhes sobre a influência destes fatores na eficiência da adubação foliar foram tratados por Camargo & Silva (1975), Malavolta (1980) e Rosolem (1984), sendo recomendáveis para maior conhecimento deste tópico.

Dentre os vários fatores que afetam a eficiência da adubação foliar, destaca-se a composição da solução. Neste contexto, Rosolem (1984) apresenta um resumo, com base em vários autores, de aspectos relevantes para serem levados em conta:

a) a uréia, por sua rápida absorção, sinergismo com outros elementos, alta solubilidade e baixo índice salino, deve estar presente na solução;

b) os sais de magnésio, principalmente o sulfato, são agentes protetores contra injúrias foliares nas concentrações mais altas;

c) o fósforo ($H_2PO_4^-$) em presença de radical amônio, precipita vários metais (Mg, Zn, Cu);

d) o magnésio em presença do fósforo acelera consideravelmente a translocação, favorecendo a absorção;

e) a presença de açúcar na solução tem a virtude de retardar a absorção de uréia ou de favorecer esqueletos carbônicos, que aceitando a amônia, diminuem a concentração no tecido, evitando a fitotoxicidade.

f) entre os agentes protetores, encontram-se o $Ca(OH)_2$, cal sodada (CaO + NaOH) e cal sulfurada (CaS), que permitem maiores concentrações de Zn ou de Cu na solução, sem causar injúrias.

g) o $MgSO_4$, o ácido bórico e os boratos são incompatíveis com sais de cobre, ao passo que sais de Zn não podem ser misturados em substâncias oleosas;

h) a uréia, cloreto de potássio e sulfato de magnésio, quando presentes na solução, aumentam a absorção de Zn do sulfato de zinco, com vantagens para o KCl. A aplicação de MAP ou NPK-Mg na mesma solução com Zn prejudica um pouco a absorção desta.

Deve-se ressaltar ainda, o fato de que a velocidade de absorção de nutrientes via foliar é extremamente variável, confome dados do Quadro 9, o que justifica a aplicação de certos princípios básicos, para que, em conjunto, eles interfiram em uma maior eficiência da adubação foliar. Neste contexto deve-se lembrar os seguintes pontos:

a) a presença da uréia nas soluções usadas em adubação foliar é sempre indicada, devido à "difusão facilitada" dos nutrientes que a mesma promove;

b) embora haja certo grau de inibição na absorção de zinco, pela mistura com fertilizantes contendo boro e cobre em soluções, uma maior concentração de zinco nesta mistura contorna esta inibição, permitindo aplicação conjunta dos três micronutrientes via foliar;

c) o uso de surfactantes, que promovem maior grau de aderência da solução nas folhas é imprescindível no aumento da eficiência da adubação foliar;

Quadro 9. Velocidade de absorção de nutrientes aplicados às folhas.

Nutriente	Tempo para 50% de absorção
Nitrogênio	1/2 - 36 horas
Fósforo	16 horas-15 dias
Potássio	10 horas-4 dias
Cálcio	2-4 horas
Magnésio	10-24 horas
Enxofre	16 horas-4 dias
Cloro	1-4 dias
Ferro	10-20 dias
Manganês	1-2 dias
Molibdênio	10-20 dias
Zinco	1-2 dias

Fonte: adaptado de Rosolem (1984), citando vários autores.

d) as pulverizações devem ser feitas no final da tarde ou pela manhã, quando o orva sente favorece a absorção dos micronutrientes;

e) quando da combinação de pulverizações com pesticidas e adubação foliar, deve-se cer os micronutrientes na forma de quelatos, devido a maior compatibilidade destes em mistur

f) quando possível utilizar pesticidas que contenham micronutrientes para que os forneçam estes nutrientes para as plantas;

g) não misturar, face ao alto grau de incompatibilidade, sais de zinco com óleos mi e nem sais de cobre com sulfato de magnésio, ácido bórico ou boratos;

h) para soluções com alta concentração, o pH deveria ser ajustado para valores entr 6,5;

c) Aplicação no solo: os métodos mais comuns na aplicação de micronutrientes ao s a lanço, antes do preparo do solo ou em sulco por ocasião do plantio. Aplicações a lanço que maior volume de solo, na zona das raízes, seja beneficiado pelo fertilizante. Entretant maior reação das partículas do solo com o micronutriente aplicado, a sua eficiência agro reduzida. Aplicações de micronutrientes inorgânicos a lanço, sem incorporação posterior, u te são menos eficientes para as culturas, porque os micronutrientes metálicos não se movime se movimentam pouco para a zona de desenvolvimento radicular. Neste aspecto, há vantagem n micronutrientes na forma de quelatos, pois estes não são fortemente adsorvido pelos colóide lo e lixiviam para a zona de desenvolvimento radicular.

A melhor eficiência agronômica por aplicação no sulco de plantio sobre aplicações a lanço é muito mais acentuada para fertilizantes contendo manganês e ferro do que para zinco e cobre. Fontes inorgânicas de ferro e manganês oxidam para formas não disponíveis no solo, não sendo o caso para fertilizantes contendo cobre e zinco. No caso de fertilizantes contendo boro, deve-se tomar cuidado para, quando das aplicações em sulco de plantio, colocá-lo a certa distância da semente, uma vez que o boro pode ser tóxico para certas plantas no estádio inicial de crescimento, mesmo quando se faz uso de pequenas doses (Mortvedt, 1985).

d) Aplicações com fertilizantes NPK: É muito difícil aplicar separadamente as fontes de micronutrientes de maneira uniforme, nas doses normais, que em geral são menores que 10 kg/ha. Neste aspecto, tem aumentado em anos recentes no Brasil, a combinação de fertilizantes NPK com micronutrientes, o que permite uma distribuição mais uniforme com equipamentos convencionais, eliminando o custo adicional da aplicação de micronutrientes em separado.

Embora haja ainda necessidade de muitos estudos para avaliação da eficiência agronômica de micronutrientes em vários tipos de mistura, revestimento ou incorporação aos fertilizantes NPK, Mortvedt (1985) cometa alguns aspectos já definidos sobre o assunto:

a) incorporação de micronutrientes com fertilizantes NPK, com contato íntimo entre os componentes sob condições de alta temperatura e umidade, aumenta a taxa de reações químicas e pode diminuir, em alguns casos, a eficiência de fontes isoladas de certos micronutrientes;

b) incorporação da fonte de micronutrientes após "amoniação" tende a aumentar a eficiência das fontes em comparação com incorporação antes deste processo;

c) eficiência agronômica de micronutrientes contendo zinco revestindo fertilizante granulado solúvel deve ser similar ao micronutriente incorporado durante o processo de fabricação, mas absorção de zinco deve ser maior quando $ZnSO_4$ é misturado ao fertilizante NPK (Quadro 10).

Quadro 10. Produção e concentração de zinco em feijão em função de fonte de Zn e método de inclusão com fertilizante granulado NPK em Michigan.

Fonte de Zn[1]	Método de inclusão	Produção (t/ha)	Zn nas plantas (mg/kg)
-	-	12,3	20
$ZnSO_4$	Misturado	16,6	40
$ZnSO_4$	Incorporado	16,4	31
$ZnSO_4$	Revestimento	17,0	34
ZnO	Incorporado	16,2	23
ZnO	Revestimento	16,7	26
DMS (0,05)		1,7	3

[1] Fertilizantes aplicados em sulco no plantio para suprir 3 kg de Zn/ha.

Fonte: adaptado de Ellis et alii (1965).

d) misturas de fertilizantes granulados contendo micronutrientes com fertilizantes NPK granulados ajudam a prevenir segregação, entretanto, o tamanho do grânulo do fertilizante com micronutrientes reduz o número de locais de aplicação no solo;

e) micronutrientes na forma de óxidos granulados podem não ser disponíveis para tas, porque eles são relativamente insolúveis em água e sua superfície específica é grande duzida na forma granular;

f) aplicações de bórax ($Na_2B_4O_7$) na forma granulada pode resultar em altas conc de B no solo, próximo ao local de aplicação de grânulo, podendo atingir níveis tóxicos pa cies sensíveis.

RECOMENDAÇÕES PARA O USO DE FERTILIZANTES COM MICRONUTRIENTES NO BRASIL

Embora as análises de rotina para avaliação de fertilidade do solo no Brasil ainc cluam avaliações da disponibilidade de micronutrientes, o uso dos vários instrumentos de anteriormente discutidos, permitem aumentar as probabilidades de sucesso na identificação ou solos que necessitem de correção de problemas de deficiência e/ou toxicidade.

No caso específico de correções de deficiências, existem, agrupadas por Estados e turas, sugestões de doses e formas de aplicação de micronutrientes, que servem de orientac sobre o assunto. Sem pretender esgotar o tópico, e tão somente com a intenção de fazer u destas recomendações, são apresentados no Quadro 11 algumas sugestões para aplicação de trientes em diversas culturas, dadas por diversos autores.

NECESSIDADES DE PESQUISA

Com base nos dados desta revisão de literatura, levantam-se as seguintes necessi pesquisa, possivelmente para serem implementadas em um programa abrangente a nível nacion

a) Áreas com falta de informações básicas sobre problemas com micronutrientes (to deficiências) devem, na fase inicial, ser estudadas através de técnicas adequadas de l (avaliação de extratores) e casa de vegetação (diagnose por subtração), em cultivos suces a fase de produção das plantas testes. O monitoramento através da análise de solo e de indispensável.

b) Áreas que já passaram por esta fase preliminar, devem ser trabalhadas a níve em solos representativos, procurando avaliar extratores, níveis ou faixas críticas, relaç micronutrientes no solo e nas plantas, correlação e calibração, sempre em relação à produ

c) Completa caracterização física, química e mineralógica das amostras de solos tanto no item a) como no item b) devem merecer especial atenção, para obtenção de um banc que permitam extrapolações futuras.

d) Aprimoramento na obtenção de níveis críticos ou faixas críticas ou relações d trientes no solo e na planta devem receber alta prioridade, através de levantamentos do e tricional de culturas de interesse econômico, por região. Dados comparativos, envolvendo de solo e planta, em áreas de alta, média e baixa produtividade, com detalhado histórico permitem obter informações do maior valor e a curto prazo, no que respeita a possíveis pro micronutrientes.

e) Testes de tecidos e testes bioquímicos para a determinação de problemas com trientes, desenvolvidos e já em uso de outros países, devem ser reavaliados para as condi los e para as culturas brasileiras.

f) Os experimentos para avaliação de métodos de aplicação, doses e eficiência de micronutrientes, já bastante comuns no Brasil, necessitam de monitoração através das anál los e plantas, além de completa caracterização do local do ensaio para permitir avaliaçõe teriosas das causas dos efeitos e extrapolações dos resultados.

g) Amostras de levantamentos de solos no Brasil, são, em geral, armazenadas após rização para esta finalidade específica. Análises destas amostras avaliando níveis de mi tes totais e solúveis, e correlação com outras características físicas, químicas e mine darão informações valiosas para diagnose mais correta de solos potencialmente com problem

Quadro 11. Recomendações de micronutrientes para diversas culturas.

Estado	Culturas	Dosagens e Modo de Aplicação	Observações
CEARÁ[1]	Alho	**Solo:** Aplicar junto com os demais adubos 5 a 7 kg de bórax/ha e 5 a 10 kg de sulfato de zinco/ha ou **Pulverização:** 3 a 6 aplicações de bórax a 0,2% e 1 a 3 aplicações de sulfato de zinco.	
	Cafeeiro	**Boro:** 10 a 20 g de bórax/cova ou pulverização com ácido bórico a 0,3% - aplicando 3 g/cova. **Zinco:** pulverizar com sulfato de zinco a 0,6-0,8%.	
	Repolho	Pulverizar com bórax 0,1% quinzenalmente a partir do pegamento das mudas. Fazer até 4 aplicações.	
GOIÁS[2]	Arroz de sequeiro	10 kg sulfato de zinco/ha	Exceto em solos de alta fertilidade.
	Arroz inundado	40 kg sulfato de zinco/ha	Aplicar como adubação corretiva.
	Cafeeiro	**Boro** **No solo:** 10 a 30 g de bórax por planta/ano ou 5 a 30 g de ácido bórico por planta/ano. **Pulverização:** Três aplicações com 1,5 kg de ácido bórico por ha.	Dependendo da idade e intensidade da deficiência.
		Zinco **Pulverização:** Três aplicações com 3,0 kg de sulfato de zinco/ha.	
		Boro + Zinco **Pulverização:** Três aplicações com 600 g de sulfato de zinco + 300 g de ácido bórico em 100 litros de água.	Espaçadas 30 dias no período chuvoso.

Continua...

Quadro 11. Continuação.

Estado	Culturas	Dosagens e Modo de Aplicação	Observações
GOIÁS[2] (cont.)	Mandioca		Usar fórmulas que contenham zinco
	Milho	10 kg de sulfato de zinco/ha	
	Alho, Brássicas, Tomate	**Pulverização**: ácido bórico 0,2% **Brássicas**: pulverização com molibdato de sódio a 0,1%.	
	Pastagens	20 kg de sulfato de zinco/ha	Aplicar no período de formação.
	Soja	10 kg de sulfato de zinco/ha.	
	Silvicultura	**Pulverização**: ácido bórico 0,03%, sulfato de zinco 0,06% e molibdato de sódio 0,02%.	
MINAS GERAIS[3]	Eucalipto	8 kg de sulfato de zinco + 5 kg de bórax/ha.	
	Alho	15 kg de bórax/ha.	
	Cafeeiro	**Boro**: 1,5, 2 e 4 g de boro/planta, respectivamente para 1º, 2º e 3º ano pós-plantio, na forma de bórax. **Zinco**: pulverizações com sulfato de zinco 0,6% em novembro e fevereiro.	Para cafeeiro em produção devem ser tomados cuidados em relação a boro e zinco que geralmente são deficientes.
	Couve-flor	**Boro**: 20 kg de bórax/ha **Molibdênio**: 1 g de molibdato de sódio ou de amônio/litro.	**No viveiro**: fazer 2 aplicações, usando 1 litro de solução por 4 m^2. **No campo**: fazer 2 a 3 aplicações, para fornecer até 2,5 kg de sal/ha em cada aplicação.

Continua...

Quadro 11. Continuação.

Estado	Culturas	Dosagens e Modo de Aplicação	Observações
MINAS GERAIS[3] (cont.)	Tomate Salada	2 g de bórax/cova + 2 a 3 pulverizações com 3 g de ácido bórico/litro.	Iniciar as aplicações logo após o aparecimento das flores.
PARANÁ[4]	Cafeeiro	Boro: 10 a 20 g de bórax em solos arenosos e 10 a 30 g em solos argilosos. Zinco: pulverizações com sulfato de zinco a 0,5-0,8%.	
RIO GRANDE DO SUL e SANTA CATARINA[5]	Alho	10 kg de bórax + 10 kg de sulfato de zinco/ha.	Misturando à adubação de plantio.
	Alfafa	20 kg de bórax/ha.	Com a adubação de manutenção.
	Bananeira		Com aparecimento de sintomas característicos de deficiência.
	Citrus	Zinco, manganês e magnésio: $ZnSO_4$ 400 g + $MnSO_4$ 200 g + $MgSO_4$ 2000 g + Adesivo 100 cm^3 + água 100 litros. Estes nutrientes podem ser aplicados isoladamente.	Duas pulverizações foliares por ano (setembro e fevereiro). Aplicar zinco quando o solo tiver menos de 1 ppm ou as folhas de 8 a 10 meses tiverem menos de 20 ppm. Aplicar manganês quando estas folhas tiverem menos de 20 ppm.
	Marmeleiro		Com aparecimento de sintomas aplicar os micronutrientes via foliar.
	Nogueira Pecan	idem a citrus	

Continua...

Quadro 11. Continuação.

Estado	Culturas	Dosagens e Modo de Aplicação	Observações
SÃO PAULO[6]	Alface, Almeirão Chicória e Escarola	10 kg de bórax/ha	Em mistura com o solo e adubos mineirais, pelo menos 15 dias antes da semeação ou transplante.
	Algodão	0,5 kg de boro/ha	Em solos arenosos, pobres em matéria orgânica, calcariados e adubados.
		1,0 kg de boro/ha	Em solo que tenha sido constatada a deficiência deste micronutriente.
	Alho	3 kg de boro/ha	Em mistura com o adubo mineral e orgânico, 8 a 10 dias antes do plantio.
	Arroz	5 kg de zinco/ha	Adubação no plantio.
	Banana-prata	4 g de zinco por família	
	Brócolos, couve-flor e repolho	3 g de bórax/planta	Em mistura com o adubo mineral e orgânico, no plantio.
		5 g de molibdato de sódio/10 litros de água	Pulverização, 15 dias após o transplante.
	Cacau	30 g de sulfato de zinco/planta.	Juntamente com outros nutrientes, parcelado em outubro, dezembro e março.
	Cafeeiro	**Plantio:** 50 mg de bórax/litro de volume de cova.	Áreas deficientes de boro, quando não usar adubo orgânico.
		Produção: 15 g de bórax e/ou 20 g de sulfato de zinco/cova.	Em Novembro e fevereiro.
		6 g de sulfato de zinco/litro mais 3 gotas de espalhante adesivo.	Quando ocorrerem sintomas de carência de zinco. Pulverizar em novembro e fevereiro.

Continua...

Quadro 11. Continuação...

Estado	Culturas	Dosagens e Modo de Aplicação	Observações
SÃO PAULO[6] (cont.)	Citrus	Pulverização com sulfato de zinco a 0,25%, sulfato de manganês a 0,15% e ácido bórico a 0,05%.	Aplicar nos meses de agosto/setembro e fevereiro.
	Couve-manteiga	1 g de bórax/cova 5 g de molibdato de sódio/10 litros de água	Misturado ao adubo orgânico e mineral Pulverização 20 dias após o transplante.
	Ervilha	10 kg de bórax/ha e 500 g de molibdato de sódio/ha	Aplicar na época de plantio.
	Girassol	1 kg de sulfato de zinco/ha	Em solos de baixa fertilidade e que necessitem calagem.
	Mamão	5 g de bórax e 10 g de sulfato de zinco/planta	Juntamente com a adubação de florescimento e frutificação, parcelada em 3 vezes (setembro, dezembro e março)
	Mandioca	20 kg de sulfato de zinco/ha	Em solos de baixa fertilidade e que necessitem calagem.
	Milho	5 kg de Zn/ha	Quando constatar deficiência.
	Quiabo e Feijão-Vagem	Molibdato de amônio a 0,02%	Duas aplicações por via foliar até a floração.

Fontes: adaptado de:
1. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará (1978)
2. Comissão Estadual de Fertilidade de Solos (1978)
3. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1978)
4. Muzilli et al. (1978)
5. FECOTRIGO (1981)
6. Van Raij et al. (1985).

h) Para atingir as metas almejadas, há a necessidade urgente de melhorar às condiçõe muitos laboratórios, assim como treinamento de laboratoristas para trabalharem com a precisão ciência que a área de micronutrientes exige. Há também falta de pessoal técnico de alto nível treinamento a nível de MSc e PhD nesta área específica.

i) E, finalmente, sente-se a necessidade de uma coordenação nacional, possivelmente vés da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, no que respeita a manutenção de amostras pa tanto de solo como de tecido vegetal que sirvam de base para controle da exatidão dos resul analíticos obtidos nos diversos laboratórios.

LITERATURA CITADA

BAKER, D.E.; GORSLINE, G.W.; SMITH, C.B.; THOMAS, W.I.; GRUBE, W.E. & RAGLAND, J.L. Technique analysis of corn leaves for eleven elements. Agron. J., 56:133-136. 1964.

BATES, T.E. Factors affecting critical nutrient concentration in plants and their evaluation a review. Soil Sci., 112:116-130. 1971.

BAR-AKIVA, A. Biochemical indications as a means of distinguishing between iron and manganes deficiency symptoms in citrus plants. Nature, 190(3):647-648, 1961.

BAR-AKIVA, A. Visible symptons and chemical analysis vs biochemical indicators as a mean of diagnosing iron and manganese in citrus plants. Pl. Anal. Fert. Prob., 4:9-23, 1964.

BAR-AKIVA, A. & LAVON, R. Carbonic anahydrase activity as an indicator of zinc deficiency in citrus leaves. J. Hortic. Sci. 44:359-369, 1969.

BAR-AKIVA, A. Chemical and biochemical measurements on plant as a mean of controlling yield plant performance. In: CONGRESS INTERNATIONAL OF POTASH INSTITUTE, 9, Antibes, 1970. Proceeding... Berna, International Potash Institute, 1970. p.211-220.

BAR-AKIVA, A.; MAYNARD, D.N. & ENGLISH, S.E. A rapid tissue test for diagnosing iron deficie in vegetable crops. Hort. Science, 13(3):284-285, 1978.

BAR-AKIVA, A. KAPLAN, M. & LAVON, R. The use of a biochemical indicator for diagnosing micronutrient deficiencies of grape-fruit trees under field conditions. Agrochimica, 11: 288, 1967.

BEAUFILS, E.R. Les desequilibres dans la composition chimique de l'Hevea: le méthode du dia physiologique, s.l., Univ. de Paris, 1961. n.p.

BEAUFILS, E.R. Physiological diagnosis: a guide for improving maize production based on pri developed for rubber trees. Fert. Soc. South Afr., 5(1):1-30, 1971.

BEAUFILS, E.R. Diagnosis and recomendations integrated system (DRIS), a general scheme for experimentation and calibration based on principles developed for research in plant nutri Soil Sci. Bulletin, (1):1-32, 1973.

BERGER, K.C. & TRUOG, E. Boron determination in soils and plants. Ind. Eng. Chem., Anal. E 11:540-545, 1939.

BERGER, K.C. & TRUOG, E. Boron tests and determination for soil and plants. Soil Science, 57:25-36, 1944.

CAMARGO, P.N. & SILVA, O. Manual de adubação foliar. São Paulo. La Libreria e Herba. 1975. 258p.

CARNAUBA, B.A.A.; ROSSETO, R.; MORTATTI, J. & PRADO, H. Testes bioquímicos para a avaliação do estado nutricional de plantas. Piracicaba, ESALQ, 1983. 107p. (mimeo.).

CHAPMAN, H.D. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, Univ. California. Div. Agr. Sci., 1965. 793p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 3ª aproximação. Belo Horizonte, EPAMIG, 1978, 80p.

COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DE SOLOS. Recomendações de fertilizantes para Goiás, 4ª aproximação. Goiânia, 1978. 54p.

CORREIA, A.E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Método de não digestão para extração de boro em folhas de plantas. Pesq. agropec. bras., 20(10):1213-1216, 1985.

COX, F.R. & KAMPRATH, E.J. Micronutrient soil tests. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. Micronutrients in Agriculture. Madison Soil Science Society of America, Inc., 1972. p.289-317.

DELHAIZE, E.; LONERAGAN, J.E. & WEBB, J. Enzymic diagnosis of copper deficiency in subterranean clover. II A simple field test. Austr. J. Agric. Research, 33:981-987, 1982.

DENNIS, E.J. Micronutrientes: uma nova dimensão na agricultura. Campinas, Fundação Cargill, 1982. p.1-61.

DOW, A.I. & ROBERTS, S. Proposal: critical nutrient ranges for crop diagnosis. Agron. J., 74:401-403, 1982.

ELLIS, B.G., DAVIS, J.F. & JUDY, W.H. Effect of method of incorporation of zinc in fertilizer on zinc uptake and yield of pea beans. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 29:635-636, 1965.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO CEARÁ. Comissão Estadual de Fertilidade do Solo. REcomendações de adubação para o Estado do Ceará, 1ª aproximação. Fortaleza, 1978. 68p.

MANUAL DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA CULTIVOS AGRÍCOLAS NO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA. Trigo e Soja, (56):4-34, 1981.

FERNANDES, C.S. Análise de tecidos vegetais por meio de "spot test". Pesq. agropec. bras., 2: 237-244, 1967.

FOY, C.D.; CHANEY, R.L. & WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. Ann. Rev. Plant Physiol., 29:511-566, 1978

GIBSON, T.S. & LEECE, D.R. Estimation of phisiologically active zinc in mayze by biochemical assay. Plant and Soil, 63:395-406, 1981.

GRIGG, J.L. Determination of available molybdenum of soils. New Zeal. J. Sci. Technol., 34:405-414, 1953.

GREWEL, J.S. & TREHAN, S.P. Micronutrient for potatoes. Fert. News, 24(8):27-30, 1979.

HAVLIN, J.L. & SOLTANPOUR, P.N. A nitric acid plant tissue digest method for use with inductively coupled plasma spectrometry. Commun. Soil Sci. Plant. Anal., 11:969-980, 1980.

JUNQUEIRA NETTO, A.; SANTOS, O.S. dos; AIDAR, H. & VIEIRA, C. Ensaios preliminares sobre a aplicação de molibdênio e do cobalto na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Rev. Ceres, Viçosa, 24(136):628-633, 1977.

KENWORTHY, A.L. Nutrient element composition of leaves from fruit trees. Proc. Am. Soc. Hort Sci., 55:44-46, 1950.

LEECE, D.R. Diagnosis of nutritional disorders of fruit trees by leaf and soil analyses and biochemical indices. J. Aust. Inst. Agr. Sci., 42:3-19, 1976a.

LEECE, D.R. Occurrence of phisiologically inactive zinc in maize on a black earth soil. Pl. 44:481-486, 1976b.

LINDSAY, W.L. & COX, F.R. Micronutrient soil testing for the tropics. In: VLEK, P.L.G. ed. Micronutrients in tropical food crop production. Dordrecht, M. Nijhoff, Dr. W. 1985. 260p. (Developments in plant and soil sciences, 14).

LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and J. Soil Sci. Soc. Am., 42:421-428, 1978.

LONERAGAN, J.F. The availability and absorption of trace elements in soil-plant systems and their relation to movement and concentration of trace elements in plants. In: NICHOLAS, D & EGAN, A.R. eds. Trace elements in soil-plant animal systems, New York, Academic Press, 1 p.109-134.

LONERAGAN, J.F.; DELHAIZE, E. & WEBB, J. Enzymic diagnosis of copper deficiency in subterran clover. I Relationship of ascorbate oxidase activity in leaves to plant copper status. A J. Agric. Res. 33:967-979, 1982.

LOPES, A.S. Uso eficiente de fertilizantes com micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZ NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. Anais... Brasília, EMBRAPA-DEP, 1984. (EMBRAP Documentos, 14).

LUCAS, R.E. & KNEZEK, B.D. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies plants. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. eds. Micronutrients in Agricult Madison. Soil Sci. Soc. Am., 1973. 666p.

McCUNE, D.L. & POPENOE, H. Foreword. In: VLEK, P.L.G. ed. Micronutrients in tropical food production. Dordrecht, M. Nijhoff, Dr. W. Junk, 1985. 260p. (Developments in plant and so sciences, 14).

McFARREN, E.F.; LISHKA, R.J. & PARKER, J.H. Criterion for judging acceptability of analytica methods. Anal. Chem., 42:358-365, 1970.

MACY, P. The quantitative mineral nutrient requirements of plants. Pl. Physiol. 11:749-764.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Agronômica Ceres, 1980.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: adubos e adubações. 3. ed. São Paulo. Agronômica C 1981. 37p.

MARTIN-PREVEL, P.; GAENARD, J. & GAUTIER, P. L'analyse vegetable dans le controle de l'alimentation des plantes temperées et tropicales. Paris, Technique e Documentation, 198 802p.

MASSEY, H.F. Interstrain variation as a factor to be considered in soil and plant studies of deficiency in maize. Agron. Abstr., 1971. 92p.

MELSTED, S.W.; MOTTO, H.L. & PECK, T.R. Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data. Agron. J., 61:17-20, 1969.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & BLOCK, F.M. Determination of Ca, Mg, K, Mn, Cu, Zn, Fe and P in coffee, soybean, corn, sunflower, and pasture grass leaf tissues by a HCl extraction method. Commun. in Soil Sci. Plant Anal., 15(2):141-147, 1984.

MITCHELL, R.L. Contamination problems in soil and plant analysis. J. Sci. Food Agr., 11:553-560, 1960.

MOORE, D.P.; HARWARD, M.E.; MASON, D.D.; HADER, R.J.; LOTT, W.L. & JACKSON, W.A. An investigation of some of the relationships between copper, iron and molibdenum in the growth and nutrition of lettuce. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 21:65-74, 1957.

MORAGHAN, J.T. Plant tissue testing for micronutrient deficiencies and toxicities. Fert. Res., 7:201-219, 1985.

MORTVEDT, J.J. Micronutrient fertilizers and fertilization practices. In: VLEK, P.L.G. ed. Micronutrients in tropical food crop production. Dordrecht, M. Nijhoff, Dr. W. Junk, 1985. 260p. (Developments in plant and soil sciencies, 14).

MUZZILI, O.; LANTMANN, A.F.; PALHANO, J.B.; OLIVEIRA, E.B.; PARRA, M.S.; COSTA, A.; CHAVES, J.C.D. & ZOCOLER, D.C. Análise de solos - interpretação e recomendação de calagem e adubação para o Estado do Paraná. Londrina, IAPAR, 1978. 49p. (IAPAR. Circular, 9).

OHKI, K. Lower and upper critical zinc levels in relation to cotton growth and developement. Physiol. Pl., 35:96-100, 1975.

ORPHANOS, P.I. Removal of zinc residues from apple leaves by hydrochloric acid and leaching of other nutrients in the process. J. Sci. Fd. Agr. 28:643-646, 1977.

PONNAMPERUMA, F.N., CAYTON, M.T. & LANTIN, R.S. Dilute hydrochloric acid as an extractant for available zinc, copper and boron in rice soils. Pl. Soil, Netherlands, 61:297-310, 1981.

POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE. Soil fertility manual. PPI Research and Education, Atlanta, 1979. 88p.

REISENAUER, H.M., WALSH, L.M., & HOEFT, R.G. Testing soils for sulphur, boron, molybdenum, and chlorine. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D., ed. Soil testing and plant analysis. Madison, Soil Science Society of America, 1973. 491p.

RENDING, V.V. & McCOMB, E.A. Effect of nutritional stress on plant composition. Pl. Soil, 14(2):176-86, 1961.

ROSOLEM, C.A. Adubação foliar. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. Anais... Brasília, EMBRAPA-DEP, 1984. 642p. (EMBRAPA-DEP. Documentos, 14).

SANTOS, M.A.C. & SOBRAL, A.F. Calibration of copper in sugarcane in Northeast Brasil. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 17, Manila, 1980. Proceedings... s.l., ISSCT, 1980. v.1. p.411-420.

SILLANPÄÄ, M. Micronutrients and nutrient status of soils: a global study. Rome, FAO Soils Bulletin, 48. 1982. 444p.

SILLANPÄÄ, M. & VLEK, P.L.G. Micronutrients and the agroecology of tropical and mediterranean regions. In: VLEK, P.L.G. ed. Micronutrients in tropical food crop production. Dordrecht, M. Nijhoff, Dr. W. Junk, 1985. 260p. (Developments in plant and soil sciences, 14).

SMITH, P.F. Mineral analysis of plant tissues. Ann. Rev. Pl. Physiol., 13:81-108, 1962.

SMITH, J.H.; CARTER, D.L.; BROWN, M.J. & DOUGLAS, C.L. Differences in chemical composition of plant samples fractions resulting from grinding and screening. Agron. J. 60:149, 1968.

SOLTANPOUR, P.N. & SCHWAB, A.P. A new soil test for simultaneous extraction of macro and micronutrients in alkaline soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 3:195-207, 1977.

SOLTANPOUR, P.N. & WORKMAN, S.M. Modification of the NH_4HCO_3 - DTPA soil test to omit carbon black. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 10:1411-1420, 1979.

STEENBJERG, F. Yield curves and chemical plant analysis. Pl. Soil, 3:97-109. 1951.

SUMMER, M.E. Interpretation of foliar analysis for diagnostic purposes. Agron. J., 71:343-3 1979.

SYLTIE, P.W., MELSTED, S.W. & WALKER, W.M. Rapid tissue tests as indicator of yield plant composition, and soil fertility for corn and soybeans. Comm. Soil Sci. Plant. Anal., 3:37 1972.

TERMAN, G.L.; NOGGLE, J.C. & ENGELSTAD, O.P. Concentration of N and P in young corn plants a affected by various growth-limiting factors. Agron. J., 64:384-388, 1972.

TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers. New York, MacMillan, 1975. 694

TRANI, P.E.; HIROCE, R. & BATAGLIA, O.C. Análise foliar: amostragem e interpretação. Campir Fundação Cargill, 1983. 18p.

ULRICH, A. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. Ann. R Pl. Physiol., 3:207-228, 1952.

ULRICH, A. Plant tissue analysis. In: REISENAUER, H.M. ed. Soil and plant-tissue testing i California, California, Univ. California. Div. Agr. Sci., 1976. p.1-4 (Bull. 1879).

ULRICH, A. & HILLS, F.J. Sugar beet nutrient deficiency symptoms: a color atlas and chemica guide. California. Univ. California - Div. Agr. Sci., 1969. 36p.

VAN RAIJ, B.; SILVA, N.M. da; BATAGLIA, O.C. da; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI JUNIOR, R.; DECHEN, A. R. & TRANI, P.E. Recomendações de adubação e calagem pa Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico, 1985. 107p. (Instituto Agronômico, Boletin Técnico, 100).

VIETS JUNIOR, F.G. & LINDSAY, W.L. Testing soils for zinc, copper, manganese and iron. In: L.M.; BEATON, J.D. eds. Soil testing and plant analysis. Madison. Soil Science Society o America, 1973. p.153-172.

WARD, R.C.; WHITNEY, D.A. & WESTFALL, D.G. Plant analysis as an aid in fertilizing small gra In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D. eds. Soil Testing and plant analysis. Madison. Soil Scie Society of America, 1973. p.329-488.

WEAR, J.I. Boron. In: BLACK, C.A. et alii, eds. Methods of soil analysis. Madison, ASA, 19 pt.2. p.1059-1063. (ASA, Agronomy, 9).

WINSOR, H.W. Boron contamination of soil samples collected in paper bags. Soil Sci., 84:389 1957.

WOLF, B. The determination of boron in soil extracts, plant materials, composts, manures, wa and nutrient solutions. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 2:363-374, 1971.

YOSHIDA, S., McLEAN, G.W., SHAFI, M. & MUELLER, K.E. Effects of different methods of zinc applications of growth and yields of rice in a calcareous soil, West Pakistan. Soil Sci. Nutr., 16:147-149. 1970.

CAPÍTULO 8

NUTRIÇÃO DAS PLANTAS COM MOLIBDÊNIO E COBALTO

Caio Vidor[1]
José Roberto R. Peres[2]

RESUMO

O molibdênio participa como cofator em enzimas envolvidas em reações bioquímicas importantes ao metabolismo das plantas. O metabolismo do nitrogênio pode ser seriamente prejudicado em condições de deficiências de molibdênio, devido à sua participação como componente da nitrogenase e redutase do nitrato. As espécies vegetais apresentam diferenças quanto às suas necessidades em molibdênio, sendo as leguminosas e algumas crucíferas consideradas de alta exigência e as gramíneas de baixa exigência. O cobalto funciona como elemento integrante da coenzima cobamida, de importante função no metabolismo de alguns microorganismos procariontes capazes de fixar o N_2. Esta coenzima participa em reações bioquímicas junto com a enzima metilmalonilmutase que converte o metilmalonil-coenzima A a sucinilcoenzima A. Essas reações constituem etapas iniciais da síntese de leghemoglobina existente nos nódulos das leguminosas. Deficiência de cobalto resultará em síntese inadequada da cobamida, com reflexos na síntese da leghemoglobina e na fixação do N_2. A melhor maneira de suprir as necessidades da planta nestes dois elementos é através da peletização das sementes com misturas de sais contendo molibdênio, cobalto e calcário ou rocha fosfatada finamente moída. Entretanto, as culturas com sementes graúdas podem apresentar reservas cotiledonares, suficientes para suprir as necessidades de molibdênio e cobalto durante o ciclo. Portanto, seria desejável que as sementes comercializadas apresentassem níveis adequados destes nutrientes, para evitar possíveis deficiências em solos com baixa disponibilidade de molibdênio e cobalto.

Termos de indexação: disponibilidade de molibdênio, disponibilidade de cobalto, adubação com molibdênio, adubação com cobalto, fixação biológica do N_2, nutrição de plantas.

---

[1] Engenheiro Agrônomo, Equipe de Microbiologia do Solo, Secretaria da Agricultura (RS) e Professor Adjunto do Deptº de Solos/UFRGS, Caixa Postal 776, 90.001, Porto Alegre, RS. Bolsista do CNPq.

[2] Engenheiro Agrônomo, CPAC-EMBRAPA, Caixa Postal 70.0023 - 73.300, Planaltina, DF.

SUMMARY

PLANT NUTRITION WITH MOLYBDENUM AND COBALT

Molybdenum participates as cofactor in enzymes involved in important biochemical rea required to the plant metabolism. Nitrogen metabolism can be seriously damaged in conditions molybdenum deficiencies due to its involvement as a component of nitrogenase and nitrate redu Crops exhibit different requirements on molybdenun in which legumes and some brassicas require molybdenum than grasses. Cobalt participates in the cobamide coenzyme which has an important on N_2 fixation by procaryotic microorganisms. Cobamide together with methylmalonylmutase con methylmalonylcoenzyme A to succinylcoenzyme A. This reaction represents one of the previous of leghemoglobin synthesis in the nodules of legumes. Cobalt deficiency causes a decrease in cobamide synthesis with implications on leghemoglobin synthesis and N_2 fixation. The best wa supply molybdenum and cobalt to crops is by pelleting the seeds with a mixture of molybdenum cobalt salts with lime or finely ground roch phosphate. However, large seed crops usually co enough seed reserves capable of supplying molybdenum and cobalt during their growth period. Hence, it would be desirable the obtention of seeds high in molybdenum and cobalt by seed produccers to assure good plant growth by overcoming problems of deficiency in soils low in molybdenum and cobalt.

Index terms: molybdenum availability, cobalt availability, molybdenum fertilization, cobalt fertilization, biological N_2 fixation, plant nutrition.

INTRODUÇÃO

O molibdênio (Mo) e o cobalto (Co) participam ativamente como integrantes de enzimas vidas em reações bioquímicas necessárias ao metabolismo das plantas. Suas disponibilidades n dependem de diversos fatores, sendo que o tipo de rocha matriz e o estágio de intemperização, presentado pelo aumento da acidez e das concentrações de óxidos de ferro, alumínio e mangane fluenciam marcantemente suas concentrações na solução do solo. Assim, as concentrações desse mentos no tecido vegetal estarão intimamente relacionadas com suas intensidades de ocorrência lução do solo, uma vez que o fluxo de massa constitui-se no principal mecanismo de suprimen Mo e Co às plantas.

Em geral, os solos apresentam níveis de suficiência para estes elementos. Em condiçõ peciais, podem ocorrer deficiências que se caracterizam por clorose generalizada, principa em leguminosas, que lembra os sintomas característicos de deficiência de nitrogênio. Mesmo c jam absorvidos em quantidades excessivas, é muito difícil ocorrerem sintomas visuais de toxi nas plantas. No entanto, o consumo de forragem com concentrações elevadas de Mo pode resultar libdenose, que é representada por uma metabolização deficiente de cobre pelos animais, especi te os ruminantes.

O Mo e o Co podem ser suplementados às culturas através de adubação de solo ou aderic sementes através da peletização. Devido à mobilidade do Mo na planta, o mesmo ainda pode ser cionado em soluções via adubação foliar. No caso do Co, esta forma de adubação é contra inc devido à sua baixa absorção e mobilidade nas folhas. Em muitos casos, a quantidade exi nas sementes é suficiente para dar atendimento às necessidades nutricionais das culturas nest mentos. Portanto, a multiplicação de sementes em áreas bem supridas ou suplementadas com Mo poderia se constituir em meio eficiente para controlar possíveis deficiências, quando cult posteriormente em solos deficientes nestes dois elementos.

MOLIBDÊNIO

Mecanismo de ação

Concentrações de Mo em torno de 1 ppm no tecido vegetal têm sido apresentadas como a das para a maioria das plantas cultivadas. O suprimento é feito predominantemente na forma libdato (MoO_4^{2-}), presente na solução do solo, via fluxo de massa (Gupta & Lipsett, 1981). Ap não ser perfeitamente caracterizada a forma pela qual ele é translocado das raízes para as

jovens das plantas, Tiffin (1972) propôs que o Mo seria transportado no xilema como íon molibdato ou complexado com compostos orgânicos, possivelmente aminoácidos sulfurados, açúcares ou outros compostos polihidroxilados. Em condições de deficiência na solução do solo, ele pode ser translocado das partes mais velhas para as mais novas da planta, devido à sua mobilidade. Portanto, ao contrário do que ocorre com os outros micronutrientes, a deficiência de Mo manifesta-se inicialmente nas folhas mais velhas ou nas intermediárias, através de colorações amarelada ou verde-amarelada e bordos enrolados (Mengel & Kirkby, 1978).

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 nitrogenase é uma enzima adaptativa, presente em microorganismos procariontes capazes de fixar o N_2. Essa enzima é formada por dois componentes distintos que se combinam para reduzir o N_2 a amônia. O "componente I" é uma proteína que contém ferro e molibdênio e um peso molecular em torno de 180.000, enquanto que o "componente II" apresenta um peso molecular de 50.000 e contém apenas o ferro como cofator. Relações adequadas entre os dois componentes e entre molibdênio e ferro na molécula, são necessárias para que haja um perfeito funcionamento da enzima, além de outros fatores que influenciam sua atividade (Bergersen, 1974). Assim, a deficiência de Mo irá ocasionar uma diminuição na síntese da enzima que se refletirá em sua menor atividade e conseqüentemente, numa redução da fixação biológica do N_2.

A simbiose entre espécies de *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* com as leguminosas caracteriza-se como um dos sistemas fixadores de N_2 mais eficientes que se conhece na atualidade. Diferenças na eficiência nodular entre duas estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (nova denominação para *Rhizobium japonicum* conforme Jordan, 1984), sendo uma delas considerada de eficiência excepcional, podem estar associadas com a concentração da nitrogenase nos nódulos de soja induzidas pelas duas estirpes, uma vez que o teor de Mo nos nódulos ocupados pela estirpe de eficiência excepcional é duas vezes maior que nos ocupados pela estirpe normal (Pedrosa et alii, 1970). Leguminosas eficientemente noduladas apresentam concentrações de Mo nos nódulos que chegam a ser dez vezes superiores às encontradas nas folhas. Em condições de deficiência de Mo, ele tende a acumular nos nódulos em detrimento das outras partes da planta (Pate, 1977). Os sintomas de deficiência podem ser eliminados pela adição de pequenas quantidades de Mo como adubo foliar, o qual irá estimular a fixação do N_2. Períodos de cinco dias são suficientes para que as plantas deficientes se recuperem e apresentem coloração semelhante às não deficientes (Meagher et alii, 1952).

A redução do nitrato a nitrito é catalizada pela enzima adaptativa redutase do nitrato que requer a presença de flavina (NAD) e molibdênio durante a reação. Plantas nutridas com nitrato apresentam maior concentração de Mo do que as nutridas com amônio. Esta diferença na concentração é devida quase que inteiramente ao Mo presente na redutase do nitrato (Gupta & Lipsett, 1981). Porém, plantas nutridas com amônio podem manifestar sintomas de deficiência quando se desenvolvem na ausência de Mo. Este comportamento pode estar associado com um possível acúmulo de nitrato na planta, resultante da nitrificação do amônio e síntese insuficiente da redutase do nitrato, ou à participação do Mo em outras enzimas. Assim, Mengel & Kirkby (1978) reportaram que tubérculos de batatinha apresentam a enzima oxidase do gliceraldeído que requer Mo para sua atividade.

Além de menor atividade da redutase do nitrato em condições de deficiência de Mo, Agarwala et alii (1978) constataram diminuição na atividade de diversas enzimas em milho, tais como catalase, aldolase e alaninaaminotransferase, bem como maior atividade de peroxidase, B-glycerofosfatase e ribonuclease. Estas alterações podem resultar em modificações no conteúdo de N orgânico e de outros compostos como ácidos málico e cítrico, clorofila, vitamina C e açúcares (Gupta & Lipsett, 1981). Adições de Mo resultarão em maior síntese da redutase do nitrato e, conseqüentemente, em maior atividade redutora principalmente na presença de altas concentrações de nitrato. Nestas condições, ocorrerá um aumento na síntese de aminoácidos, devido ao aumento das reações de aminação entre o amônio formado pela redução assimilativa do nitrato e nitrito e os ácidos orgânicos provenientes da fotossíntese. Na ausência de Mo, a adição de nitrato evidenciará mais ainda as deficiências de N, uma vez que a planta acumulará nitrato por ser incapaz de reduzí-lo a amônio. Segundo Gupta & Lipsett (1981), medições do teor de nitrato na planta poderiam servir como indicadoras de possíveis deficiências de Mo. Na presença de altas aplicações de N, Lipsett & Simpson (1973) demonstraram uma boa resposta de plântulas de trigo ao Mo, na Austrália.

Disponibilidade no solo

O teor de Mo total encontra-se na faixa de 0,5 a 5,0 ppm na maioria dos solos, onde oc 1) solúvel na solução do solo; 2) adsorvido na fração coloidal; 3) retido na rede cristalina d nerais primários e 4) quelato na matéria orgânica (Gupta & Lipsett, 1981). Devido a isto, a disponibilidade não está intimamente relacionada com seu conteúdo total, sendo considerados no valores médios em torno de 0,2 ppm (Mengel & Kirkby, 1978). Mesmo assim, solos neutros a alca com teor de Mo total inferior a 0,5 ppm podem atingir níveis de deficiência, após vários ano cultivo intensivo sem suplementação com Mo (Anderson, 1956 e Gupta & Lipsett, 1981). No Brasil, da existe uma grande carência de informações quanto à disponibilidade de Mo existente nos solo ocorrem nas diferentes regiões do país. Revisão bibliográfica recente (Lopes, 1984) demonstr grande variabilidade nos níveis de Mo disponível (extraído com oxalato de amônio a pH 3,3) em sos tipos de solos brasileiros. Grande parte das informações recolhidas, situa os níveis de d nibilidade entre 0,01 a 0,16 ppm, ocorrendo, entretanto, situações com valores superiores a ppm.

Em condições de pH extremamente baixo, o Mo existente na solução do solo encontra-se dominantemente em forma não dissociada de ácido molíbdico (H_2MoO_4). Com o aumento do pH, o H se dissocia em $HMoO_4^-$ e posteriormente a MoO_4^{2-} o qual se torna a forma predominante em solos d neutro a alcalino (Davies, 1956 e Tiffin, 1972). Trabalhando com solos ácidos (pH 4,2 a 5,9), witz (1978), mediante o uso de diagramas Eh-pH, demonstrou que o Mo ocorre como MoO_2^+ e, predom temente, como $HMoO_4^-$. Segundo ele, as formas capazes de ocorrerem no solo, dependendo da fai pH, seriam $HMoO_4^-$, MoO_2^+ e MoO_4^{2-}, enquanto que Mo^{3+} e Mo_3O_8 não devem ser normalmente encontrad sim, baseado na dissociação do H_2MoO_4, a forma predominante em solos com pH inferior a 6,2 $HMoO_4^-$ e em solos neutros a alcalinos o MoO_4^{2-}.

O molibdato lembra mais o comportamento dos fosfatos e sulfatos do que o dos outros nutrientes. Normalmente, as concentrações de Mo no tecido das plantas decrescem na medida qu mentam as concentrações de sulfato no solo (Singh & Kumar, 1979). Segundo eles, ocorre uma tição direta entre os íons sulfato e molibdato por sítios de absorção na raiz, devido aos se manhos semelhantes. Pesquisa conduzida por Gupta & MacLeod (1975) demonstrou que aumentos cr tes de sulfato no solo resultaram em diminuição da concentração de Mo no tecido de *Phleum pr* e *Trifolium pratense* (Quadro 1). Em solos com problemas de toxidez de Mo, seria possível r os efeitos da molibdenose mediante a adição de enxofre, o qual determinaria uma menor absorç Mo pela pastagem. Resultados obtidos por Sims et alii (1979), com fumo, reforçam a importân relação entre estes dois nutrientes, mostrando que a presença de adubos ricos em enxofre p ocasionar um desequilíbrio na absorção de Mo, pelo aumento de enxofre no solo.

O tipo de material originário do solo também pode afetar a concentração de Mo na solu solo. O Mo ocorre normalmente em feldspatos e minerais ferro-magnesianos como a biotita e a na. As rochas sedimentares, por serem formadas após a intemperização e transporte do materia ginário, retém uma pequena fração do Mo originalmente existente na rocha matriz (Gupta & Li 1981). O Mo é facilmente liberado dos minerais primários pela intemperização e, comparado c outros micronutrientes, ele permanece relativamente móvel como molibdatos potencialmente sol Entretanto, estes molibdatos são adsorvidos nas superfícies de minerais primários e da fração loidal, fazendo com que a disponibilidade do Mo no solo seja dependente do pH. Em pH neutro, sorção do Mo pela fração coloidal é muito pequena, mas ela aumenta com o abaixamento do pH, que sua adsorção pela hematita pode ser reduzida em 80% pela elevação do pH de 4,0 para 7,5 & Lipsett, 1981). Resultados semelhantes foram obtidos por Catani et alii (1970) e Siqueira loso (1978), em que a adsorção de Mo diminuiu com o aumento do pH e aumentou com o aumento da tração de Mo na solução de equilíbrio. Na Figura 1, é mostrado o efeito positivo da calagem mento da disponibilidade de Mo às plantas (Anderson & Moye, 1952). Parcelas que não re $Ca(OH)_2$ apresentaram plantas amareladas, sem nódulos e não responderam à adição de Mo, send rendimento foi de apenas 376 kg/ha. Com 251 kg/ha de $Ca(OH)_2$ houve uma alta resposta ao Mo, do o rendimento de grãos de 2384 para 4643 kg/ha. Os autores observaram que a adição de Mo mentou a nodulação, mas estimulou a fixação do N_2 em nódulos já formados, e que a quantid $Ca(OH)_2$ necessária para uma boa nodulação é bem menor que a requerida para liberar quantid Mo ao solo. Nessas condições, pequenas quantidades de calcário são suficientes para ocasion boa nodulação. Portanto, pequenas doses de calcário associadas a adubações com Mo estimulam

Quadro 1. Efeito de aplicações de sulfato na concentração de molibdênio no tecido de Timothy (*Phleum pratense*) e trevo vermelho (*Trifolium pratense*) na presença de adubações diferenciadas com molibdênio.

Enxofre	Molibdênio adicionado, ppm			
	0	0,2	0,5	1,0
ppm	---Concentrações de Mo no tecido em ppm---			
	Phleum pratense			
0	0,48	2,13	5,94	8,14
50	0,56	2,43	3,52	5,49
100	0,53	1,30	3,32	5,94
200	0,62	0,91	1,82	3,87
	Trifolium pratense			
0	0,64	2,80	9,34	15,18
50	0,45	3,92	7,85	11,01
100	0,45	1,49	4,71	11,08
200	0,42	1,71	3,41	5,57

Fonte: adaptado de Gupta & MacLeod (1975).

xação do N_2 e, conseqüentemente, ocasionam aumentos de rendimento da leguminosa hospedeira. Resultados semelhantes foram obtidos por Rolt (1968) em que 2t/ha de calcário enriquecido com Mo, proporcionou produtividade do trevo branco semelhante à obtida com adição de 4t/ha de calcário, sem Mo. Lantmann et alii (1985) observaram que a resposta da soja à adição de Mo esteve intimamente relacionada com o pH do solo, sendo que as maiores respostas foram observadas em solos com pH mais baixo (Figura 2). Eles também observaram que o nível de resposta foi dependente do local e do ano de cultivo. Em alguns casos, a resposta foi favorecida pela adição de 2t/ha de calcário. Pesquisa não publicada, conduzida por Gupta & MacLeod, segundo citação de Gupta & Lipsett (1981), demonstrou um aumento na concentração de Mo no tecido de cevada com aumentos crescentes de calcário (0 a 20 g/kg solo) no leste canadense. Entretanto, estas respostas só serão possíveis em condições onde a deficiência de Mo é mais importante qua a acidez do solo, representada pela toxidez de alumínio e manganês trocáveis. O princípio da liberação do Mo pela calagem é dependente do conteúdo total de Mo no solo. Assim, aplicações de 11.200 kg/ha de calcário foram insuficientes para eliminar a necessidade de aplicaçeos de Mo, para manter uma boa população de alfafa em solos altamente oxidados no sudeste dos Estados Unidos (Giddens & Perkins, 1972). Provavelmente, estas observações se devam à que solos corrigidos ou com pH natural neutro possam ser exauridos em Mo através de cultivo intensivo e lixiviação (Johnson et alii, 1952). Portanto, a disponibilidade de Mo é menor em solos ácidos, aumentando pela calagem desde que o solo não seja deficiente em Mo total.

Outro fator importante na disponbilidade de Mo é a textura do solo, sendo possível esperar-se deficiências em solos arenosos, mesmo que o pH seja elevado para 6,5 (Gupta, 1969).

A umidade do solo também é um fator importante que afeta a disponibilidade de Mo. Solos mal drenados acumulam MoO_4^{2-} de tal forma que as plantas podem ocasionar problemas de molibdenose em ruminantes (Davies, 1956 e Kubota et alii, 1961). Devido ao cultivo em condições oxidantes, o arroz sequeiro apresenta maior necessidade que o inundado, resultante da ativação da redutase do nitrato.

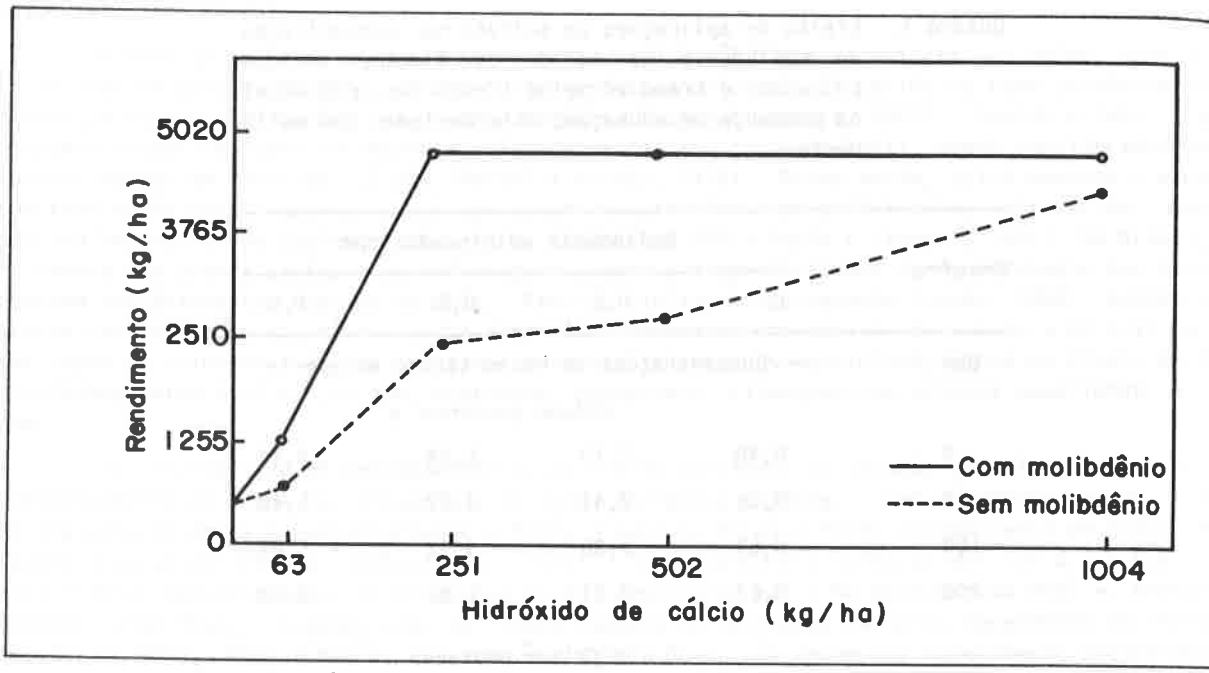


Figura 1. Efeito da adição de 115 g MoO_3/ha e de doses crescentes de $Ca(OH)_2$ sobre o rendime feno de trevo subterrâneo (Anderson & Moye, 1952).

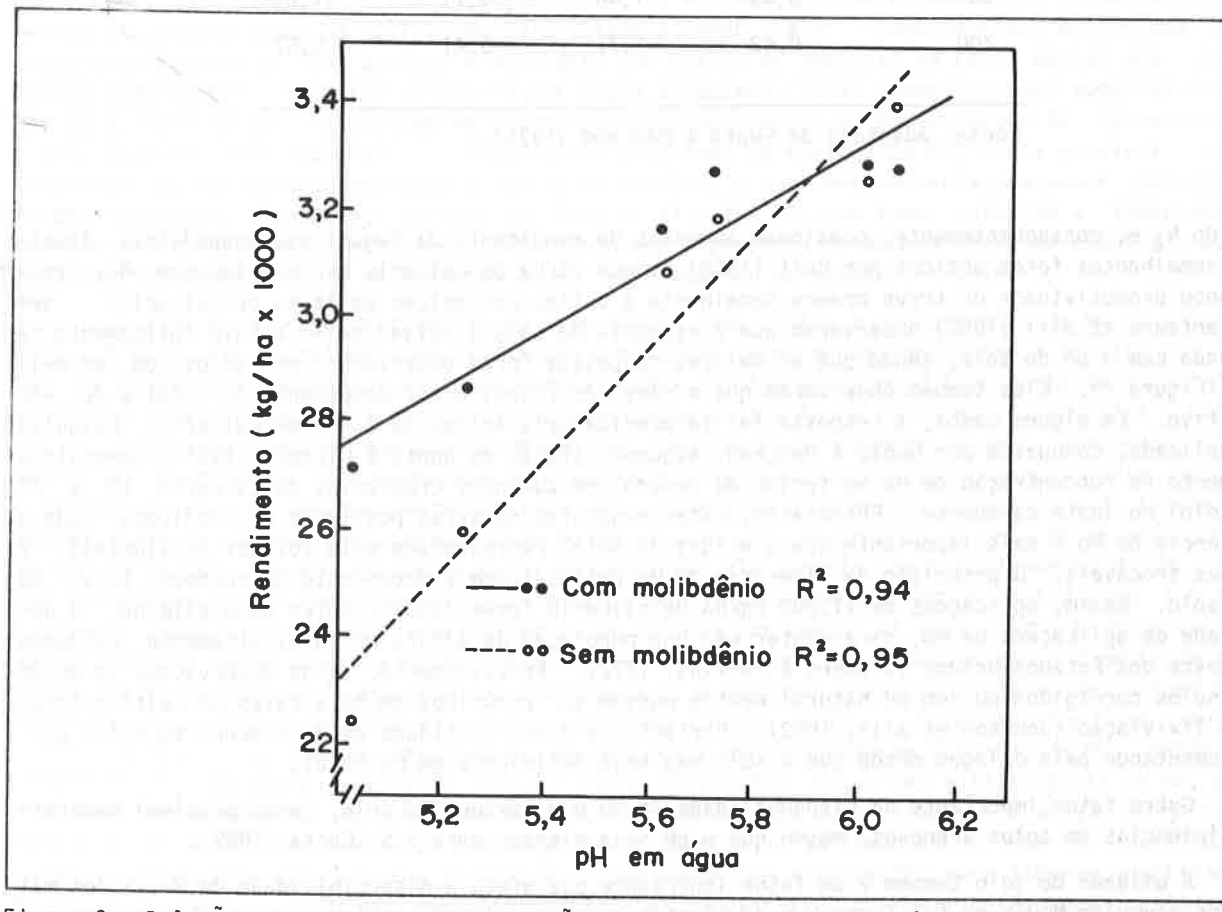


Figura 2. Relação entre o rendimento de grãos de soja (cultivar Paraná) e pH do solo, com e aplicação de molibdênio em Latossolo Roxo álico de Campo Mourão (Lantmann et alii, 1

Em condições alagadas, apesar da forma predominante de N ser o amônio, pode ocorrer uma diminuição da absorção de Mo, necessária para ativar a redutase do nitrato (absorção de nitrato pelas plantas da camada de oxidação superficial do solo), devido a presença de elevadas concentrações de Fe^{2+} e S^{2-} (Gupta & Lipsett, 1981).

Os solos deficientes em Mo apresentam sinais de terem sido formados em períodos geológicos de intensa lixiviação. Portanto, o conteúdo atual de Mo reflete perdas substanciais anteriores que nunca foram repostas (Gupta & Lipsett, 1981). Com tantos fatores afetando a disponibilidade de Mo no solo e sua absorção pelas plantas, associados com as pequenas concentrações normalmente existentes no solo, seria de se esperar uma baixa eficiência dos extratores químicos como indicadores das quantidades que são efetivamente extraídas pelas plantas. Assim, Peres et alii (1975) propuseram um método biológico para predizer possíveis deficiências de Mo no solo. O método baseia-se na avaliação da atividade da nitrogenase de *Azotobacter paspali* em meio de cultura completo comparado com meio sem Mo e com adição de quantidades variáveis de solo como fonte deste elemento. Conforme os autores, foram obtidos coeficientes de correlação superiores a 0,90 entre a porcentagem do aumento de atividade da nitrogenase de *A. paspali* com a porcentagem de aumento do N total de *Centrosema*, em quatro grupos de solos. De um total de 41 solos do Rio de Janeiro, 36 apresentaram aumentos significativos à adição de Mo. Apesar de todas as tentativas de encontrar um método sensível e prático para a determinação do Mo disponível no solo, a análise de tecido ainda é a que tem sido caracterizada como melhor indicador da disponibilidade de Mo às plantas (Gupta & Lipsett, 1981). Entretanto, o método microbiológico pode se constituir em importante alternativa, uma vez que permite prever deficiências de Mo antes da implantação da cultura. As dificuldades relacionadas com a implementação para análise de rotina podem vir a ser superadas ao se difundir os problemas decorrentes da deficiência de Mo e a constatação de que ocorre em escala maior do que geralmente se supõe, fato que resultaria em solicitação de maior número de análises e esforços no sentido de superar as dificuldades.

Níveis de deficiência, suficiência e toxidez de molibdênio nas culturas

Os sintomas de deficiência de Mo estão intimamente associados com o metabolismo do N. No caso das leguminosas, a deficiência de Mo afeta a síntese e funcionamento da nitrogenase, o que resultará em fixação deficiente do N_2. Na inibição da síntese e atividade da redutase do nitrato, as plantas apresentar-se-ão cloróticas e, mesmo que seja adicionado adubo nitrogenado, as deficiências não serão corrigidas (Gupta & Lipsett, 1981). Porém, na maioria dos solos, as necessidades das plantas podem ser supridas pelas reservas do solo ou de semente. Em condições de lavoura, raramente têm sido apresentados problemas de toxidez de Mo, a não ser em casos de erros na aplicação que resultam em altas concentrações de Mo em áreas localizadas. Em pesquisa conduzida em solução nutritiva, Wallace et alii (1977) demontraram que 96 ppm de Mo foi altamente tóxico para *Phaseolus vulgaris* L. (Quadro 2). As plantas apresentavam-se amareladas, apesar de não evidenciarem distúrbios no metabolismo de ferro, o que contraria informações divulgadas por outros pesquisadores (Gupta & Lipsett, 1981).

Antes que ocorram sintomas de toxidez de Mo nas plantas, ocorrerão sérios distúrbios nutricionais em animais, principalmente nos ruminantes, devido a uma metabolização deficiente do cobre (Gupta & Lipsett, 1981). Apesar de ser variável de espécie para espécie e entre cultivares dentro de uma mesma espécie, são consideradas tóxicas aos ruminantes concentrações de Mo no tecido superiores a 5,0 ppm (Mengel & Kirkby, 1978).

Em casos de deficiência, é preferível adicionar pequenas quantidades de Mo do que elevar o pH apenas para aumentar a disponibilidade natural. Adições de 200 g Mo/ha como adubo foliar ou 400 g Mo/ha aplicado ao solo devem eliminar os sintomas de deficiência e o efeito residual deve persistir por um período de 2 a 3 anos (Gupta & Lipsett, 1981). Contudo, deve-se ter muita cautela para evitar problemas de toxidez aos animais, devido a dificuldades de uniformização que normalmente ocorrem durante a aplicação de misturas de fertilizantes com Mo ao solo. Assim, um produto comercial produzido para adubações de solo com o nome de molysuper na Austrália, contendo supostamente uma concentração de 400 ppm Mo, apresentou variações na concentração dentro do saco de adubo. A fração fina (fundo do saco) apresentou cerca de 1900 ppm Mo comparado com 1500 ppm na fração média (meio do saco) e 260 ppm na fração grosseira existente na parte superior do saco (Lipsett & David, 1977). Em vista disto, os autores sugeriram que a adição de Mo deveria ser feita nos estágios iniciais de fabricação, tal como em mistura com ácido no momento do tratamento da rocha fosfatada para

ter uma distribuição uniforme no adubo. Nestas condições, seriam eliminados possíveis problemas concentrações excessivas de Mo nas plantas.

Quadro 2. Matéria seca e concentrações de molibdênio nas folhas, caules e raízes de feijoeiro em resposta à adubação com molibdênio.

Molibdênio	Matéria seca			Concentração de Mo		
	Folhas	Caules	Raízes	Folhas	Caules	Raízes
ppm	g/planta			ppm		
0,0	2,28	0,57	0,44	0,2	0,7	3,3
9,6	1,48	0,39	0,39	189,0	414,0	3990,0
19,2	1,64	0,46	0,38	322,0	954,0	3250,0
96,0	0,42	0,24	0,10	710,0	1054,0	5920,0

Fonte: adaptado de Wallace et alii (1977).

Formas e modo de aplicação

As formas de Mo mais utilizadas em adubações são os molibdatos de sódio e de amônio e o óxido de molibdênio, sendo ainda utilizado o ácido molíbdico e fertilizantes compostos contendo Mo em sua composição como as "fritas" - FTE (fritted trace elements). Estas formas podem ser s das às plantas como adubo de solo, aspersão foliar (exceto o FTE) ou peletizado com as semen Dados de 50 a 100 g Mo/ha são geralmente apresentados como aplicações de solo para a maioria cultivos agrícolas, sendo que 400 g Mo/ha pode ser necessário por algumas espécies olerícolas, mo é o caso da couve-flor (Gupta & Lipsett, 1981). Adubações superiores a 1 kg Mo/ha podem oca nar concentrações elevadas no tecido e resultar em toxidez aos ruminantes. Devido às pequenas cações de Mo ao solo, recomenda-se que ele seja adicionado em misturas com o calcário ou aos fe lizantes para se obter melhor uniformidade de aplicação. Cerca de 40 a 60% do Mo aplicado n forma pode ser recuperado no primeiro cultivo (Gupta & Lipsett, 1981). O Mo também pode ser a cado na superfície do solo para garantir uma boa uniformização. Testando uma nova modalidade aplicação do Mo, Sims et alii (1983) demonstraram que a utilização de uma solução, aplicada dir mente no sulco no momento do transplante do fumo, foi mais eficiente na absorção do Mo pelas p tas, além de permitir maior economia na aplicação e na quantidade de adubo (Figura 3).

Aplicações foliares favorecem uma rápida absorção do Mo pela planta, além de diminuir das por fixação quando adicionado ao solo. É recomendado o uso de substâncias hidratantes para mentar a superfície de aderência e absorção na folha. Gupta (1979) apresentou melhores result à adição de Mo através de adubações foliares do que em solo. Da mesma forma, Weir et alii (1 demonstraram que a adubação foliar foi mais eficiente que a de solo, apesar de ambas aumentarem sideravelmente a concentração do Mo no tecido de milho. Eles demonstraram também que aplicaçõe Mo em plantas com 80 cm de altura aumentaram a concentração de Mo no grão mais do que se tiv sido aplicado em estádios de crescimento mais precoces ou tardios.

Como as quantidades requeridas pelas plantas são mais pequenas, a aplicação do Mo aderi semente, através da peletização, constitui-se na forma mais prática e eficaz de adubação (Gupt Lipsett, 1981 e Reisenauer, 1963). De acordo com Reisenauer (1963), aplicações de molibdato nas mentes de ervilha foram 30 a 60 vezes mais eficientes que aplicações no solo, sendo adequada as sagens de 18 a 36 g Mo/ha. Entretanto, a peletização de sementes de leguminosas com o Mo na f

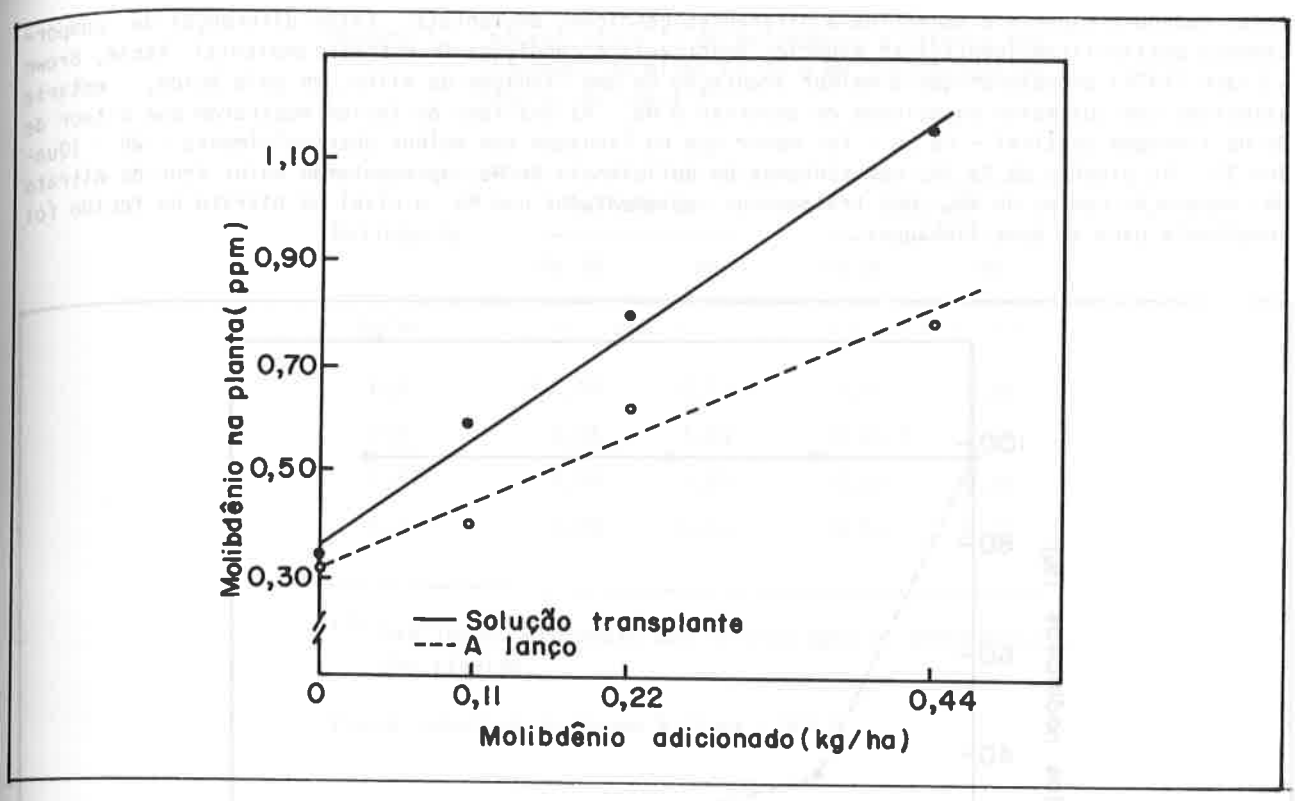


Figura 3. Relação entre as quantidades de molibdênio adicionadas ao solo e as concentrações no tecido de fumo em função de métodos de aplicação (Sims et alii, 1983).

de molibdato pode ocasionar sérios problemas de sobrevivência do *Rhizobium*, bem como prejuízos à nodulação e fixação do N_2 (Burton & Curley, 1966). Segundo esses autores, cerca de 99% das células de *Bradyrhizobium japonicum* morreram após um período de quatro dias em sementes de soja peletizadas com molibdato de sódio. Entretanto, não houve toxidez ao *B. japonicum* quando a peletização com Mo foi feita imediatamente antes da semeadura da soja, ocorrendo uma excelente nodulação e aumento de rendimento de grãos. Gartrell (1969) também obteve restrição severa de nodulação em trevo subterrâneo pela peletização das sementes junto com molibdato de sódio, efetuada três semanas antes da semeadura. Apenas 33% das plantas peletizadas apresentaram nódulos, em comparação com 97% quando o Mo foi misturado com o superfosfato e adicionado no sulco (Figura 4). O teor de Mo na planta do tratamento peletizado foi maior, mas prejudicou a nodulação e atingiu níveis capazes de ocasionar a molibdenose. Por outro lado, Date & Hillier (1968) observaram que a sobrevivência de *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii* (nova denominação para *Rhizobium trifolii* conforme Jordan, 1984) não foi afetada quando o Mo foi utilizado na forma de trióxido em mistura com calcário. O trióxido é cerca de 1000 vezes menos solúvel que o molibdato de sódio. Melhoria da nodulação e fixação do N_2 por feijão e soja, em resposta à peletização de sementes com misturas de molibdato de sódio e carbonato de cálcio ou rocha fosfatada finamente moída, foi apresentada por Ruschel et alii (1969, 1970). Atualmente está sendo comercializado nos Estados Unidos pela Agricultural Laboratories, em Ohio, inoculante para leguminosa contendo Mo e Co misturados com a turfa (Molyco). Segundo os fabricantes, não há prejuízos à sobrevivência de rizóbio no inoculante. Outras indústrias também estão adicionando molibdênio (trióxido) aos inoculantes.

Respostas das culturas

As espécies cultivadas apresentam diferenças quanto às suas necessidades em Mo, expressas por variações na capacidade de absorção, translocação, acúmulo no tecido e utilização. Boa parte destas diferenças são inerentes à própria espécie e, portanto, controladas geneticamente (Clark, 1938). Porém, a expressão da potencialidade genética pode ser marcantemente alte-

rada, quando a espécie é submetida a diferentes condições ambientais. Estas diferenças de com tamento possibilitam identificar espécies adaptáveis a condições de estresse ambiental. Assim, E & Clark (1974) propuseram que a melhor adaptação de uma linhagem de milho, em solo ácido, est associada com sua maior capacidade em absorver o Mo. As análises de tecido mostraram que o teo Mo na linhagem sensível - Pa 36 - foi menor que na linhagem com melhor desenvolvimento - WH - dro 3). As plantas de Pa 36, com sintomas de deficiência de Mo, apresentaram maior teor de nit em comparação com as da WH. Nos tratamentos suplementados com Mo, o nível de nitrato no tecido semelhante para as duas linhagens.

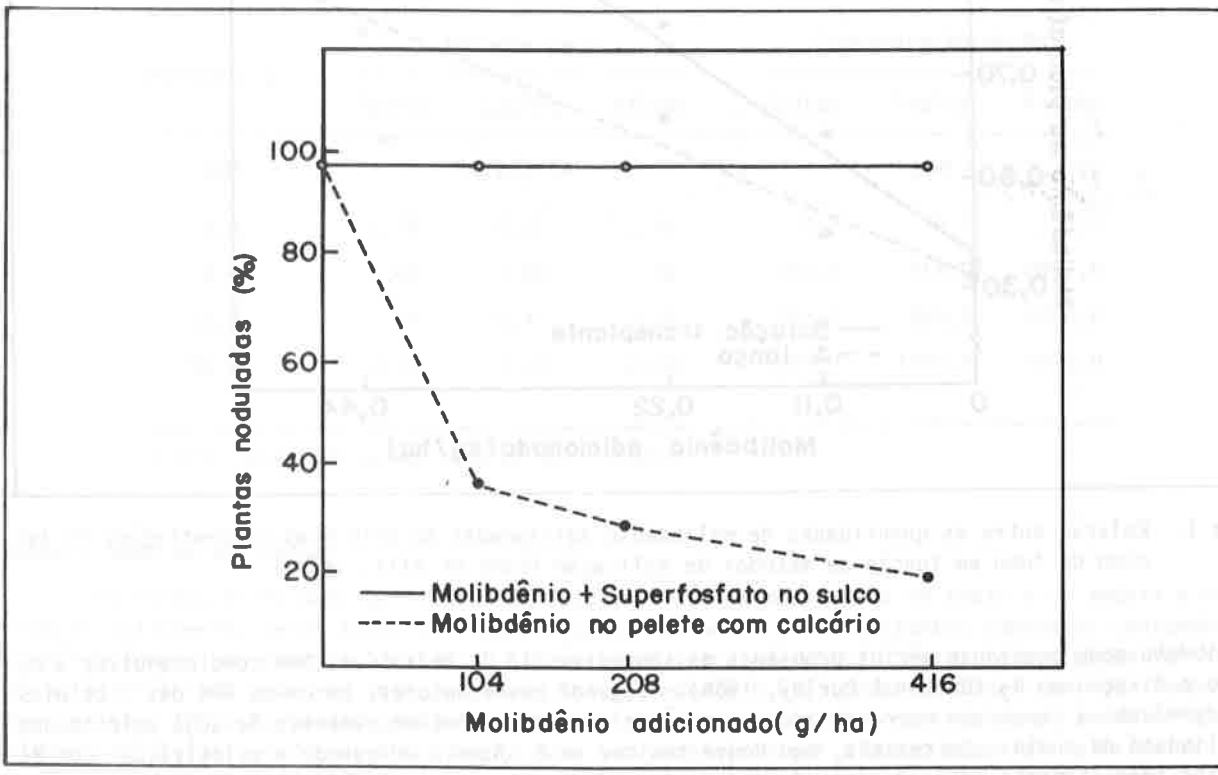


Figura 4. Efeito de métodos de adubação com molibdênio sobre a nodulação de trevo subter (Gartrell, 1969).

As crucíferas, especialmente a couve-flor e o repolho, apresentam alta demanda por Mo mesmo acontecendo com as leguminosas, devido às necessidades da nitrogenase (Gupta & Lipsett, 19 Hawes et alii (1976) observaram diferenças na capacidade de algumas espécies em extrair o Mo tente no solo como adubo residual do fumo (Quadro 4). As concentrações de Mo nos grãos foram dentes das quantidades previamente adicionadas ao solo. Entretanto, a soja acumulou mais Mo n cido do que o trigo e a cevada. Em geral as monocotiledôneas requerem menores quantidades de Entretanto, algumas gramíneas, como *Phalaris aquatica* (nova denominação para *Phalaris tuberosa* trigo, apresentaram altas respostas à adição de Mo, em solo previamente cultivado com azevém p por alguns anos (Lipsett, 1975). O estádio de plântula foi o mais crítico, principalmente q supridas com nitrato.

Além de diferenças entre as espécies, ocorrem também diferenças de concentrações de Mo tre as partes componentes da planta, as quais variam de acordo com a espécie. Assim, na matu de, a concentração de Mo em soja seguiu a ordem grão > folha > cascas das vagens > caule. Mai 58% do total de Mo requerido pela soja foi absorvido nos primeiros 45 dias. No final do ciclo ca de 67% do Mo estava contido nas vagens, evidenciando a grande translocação do Mo durante o cimento da soja (Singh & Kumar, 1979).

Quadro 3. Concentrações[1] de molibdênio e nitrato nas linhagens de milho Pa 36 e WH, cultivadas em solo ácido (pH 4,3).

Molibdênio	Molibdênio		Nitrato	
	Pa 36	WH	Pa 36	WH
kg/ha	---- ppm -----		------- % ------	
0,0	< 0,20	0,77	1,16	0,29
0,6	0,44	1,48	0,45	0,19
1,8	0,84	3,00	0,27	0,25
5,4	1,39	6,73	0,32	0,27

(1) Avaliações efetuadas aos 18 dias após a emergência das plantas.

Fonte: adaptado de Brown & Clark (1974).

Quadro 4. Efeito residual da aplicação de molibdênio em culturas sucessoras ao fumo.

Culturas	Molibdênio adicionado (kg/ha)					
	0	0,22	0,44	0,88	1,32	2,64
	---------- Molibdênio no grão (ppm)----------					
Cevada	0,28	0,30	0,30	0,46	0,55	0,66
Trigo	0,44	0,36	0,29	0,41	0,58	1,02
Soja	0,68	1,32	2,60	2,49	2,44	3,89

Fonte: adaptado de Hawes et alii (1976).

As respostas à adubação com Mo, no Brasil, têm sido bastante variáveis. Diversos experimentos conduzidos com soja não apresentaram aumentos de rendimento de grãos ou matéria seca (Bellintani Neto & Lâm-Sanchez, 1974; Borges et alii, 1974; Galrão, 1984; Kolling et alii, 1981; Lâm-Sanchez & Awad, 1976 e Mascarenhas et alii, 1967, 1973), embora tivesse ocorrido um aumento significativo da nodulação em uma das pesquisas (Bellintani Neto & Lâm-Sanchez, 1974). Por outro lado, aumentos significativos foram obtidos por Buzetti et alii (1981), em resposta à adubação com 400 g/ha de molibdato de sódio em Latossolo Vermelho-escuro. Similarmente, Vitti et alii (1984) obtiveram aumentos de até 32,7% pela utilização de doses crescentes de um produto comercial contendo 10% Mo e 1% Co (Quadro 5).

Quadro 5. Resposta da soja à adubação no solo com molibdênio[1] e cobalto[1] (média de quatro repetições).

Produto	Rendimento	Redutase do nitrato	Teores foliares	
			N Total	Mo
g/ha	kg/ha	$\mu gN\text{-}NO_2/gTF/h$[2]	%	ppm
0	2.622	11,8	2,87	0,10
100	3.281	20,5	4,19	0,17
200	3.480	20,6	4,00	0,20
300	3.029	18,8	4,27	0,30
400	3.178	20,3	3,83	0,61

(1) Produto contendo 10% de molibdênio e 1% de cobalto.
(2) TF= Tecido foliar.

Fonte: adaptado de Vitti et alii (1984).

Miranda et alii (1985) obtiveram um aumento na população de *Azospirillum* pela adição g/ha de Mo em Latossolo Vermelho-escuro fase Cerradão. Eles também observaram que o aumento de mento de matéria seca de *Brachiaria decumbens* foi de 19% e o N total de 29% quando comparados a testemunha. Trabalhando com *Stylosanthes* e *Centrosema* em casa de vegetação com um Podzólic melho-amarelo, Nery et alii (1975) demonstraram aumentos de resposta das duas leguminosas à de "fritas" (FTE) em pélete ou ao solo. Freitas & Freire (1968) obtiveram aumento no rendime matéria seca de *Lotononis bainesii* em resposta à adição de 400 g Mo/ha aos solos Altos das Ca São Jerônimo. Por outro lado, De Polli et alii (1975) obtiveram uma diminuição no número e p nódulos de soja em resposta à adição de Mo. Em contrapartida, houve um aumento de ocorrênci nódulos, da estirpe inoculada, indo de 36 para 54%. Pesquisa realizada por Ruschel & R (1973) demonstrou que a falta de Mo na solução nutritiva não resultou em reduções da nodula rendimento de matéria seca do feijoeiro. Alvarez et alii (1979) observaram, em apenas um loc um total de 23, que houve resposta de cana de açúcar à adubação com Mo. Segundo os autores, ciência de Mo, no geral, não constitui problema à lavoura canavieira de São Paulo.

A ausência de resposta à adição de Mo, em pesquisas apresentadas anteriormente, pode relacionada com níveis adequados de disponbilidade de Mo no solo ou a concentrações de Mo na te suficientes para satisfazer as necessidades das plantas. As sementes podem armazenar e pos mente colocar à disposição da planta quantidades de Mo bem superiores às que ela necessitará completar seu ciclo vegetativo (Meagher et alii, 1952). Entretanto, nem todas as espécies sã pazes de armazenar quantidades suficientes, na semente, para dar atendimento às necessidades d ta. Assim, Peterson & Purvis (1961) encontraram sintomas de deficiência de Mo em plantas de meira geração de brócolo, de couve-flor e de fumo crescidas em solução nutritiva sem Mo, en que em milho, algodão e soja só ocorreram sintomas de deficiência de Mo em plantas de segunda ção. Weir & Hudson (1966) observaram que plântulas de milho, provenientes de grãos com ma 0,08 ppm Mo, não apresentaram sintomas de deficiência, os quais manifestaram-se de forma mo em concentrações de 0,03 a 0,08 ppm e severa em contrações inferiores a 0,02 ppm. Após as p passarem pelo estádio de plântula, elas se recuperaram dos sintomas de deficiência, devido ac to na eficiência de absorção do Mo do solo. Observações semelhantes foram feitas por Meagh alii (1952). Segundo eles, concentrações de 0,5 ug Mo/semente (~ 0,25 ppm) em feijão e ervil consideradas satisfatórias para dar atendimento às necessidades da planta.

O local de produção da semente também é muito importante, uma vez que as variações naturais de Mo na solução do solo irão afetar a concentração final da semente. Analisando sementes de feijão multiplicadas em Goiânia, GO e em Davis, Ca (USA), Franco & Munns (1981) observaram que as sementes produzidas nos Estados Unidos apresentavam concentrações de Mo dez vezes superiores às obtidas no Brasil (Quadro 6). A cultivar americana Chief acumulou maior quantidade de Mo em comparação com as outras cinco cultivares.

Quadro 6. Concentração de molibdênio em sementes de cultivares de feijoeiro cultivadas em Goiânia, GO e Davis, Califórnia.

Cultivar	Coloração da semente	Local	Peso da semente	Mo da semente	
				Concentração	Total
			g/semente	ppm	µg/semente
Venezuela 35	preto	Goiânia	0,157	0,09	0,02
		Davis	0,189	2,03	0,39
Rico 23	preto	Goiânia	0,191	0,18	0,04
		Davis	0,208	2,21	0,45
Carioca	(1)	Goiânia	0,271	0,10	0,02
		Davis	0,216	1,86	0,40
Chief	branco	Davis	0,162	6,57	1,06
Light red Kidney	vermelho-claro	Davis	0,635	1,86	1,18
Sultan Pink	rosa	Davis	0,284	2,46	0,70

(1) Grão bicolor, sendo bege a cor predominante e marro a secundária em forma de listras.

Fonte: adaptado de Franco & Munns (1981).

COBALTO

Mecanismo de ação

O Cobalto é um elemento essencial aos microorganismos fixadores de N_2 mediante a participação na composição da vitamina B_{12} e da coenzima cobamida, também conhecida como DAcobalamina (5'-desoxiadenosilcobalamina). A cobamida funciona como ativadora das enzimas metilmalonilmutase e redutase do nucleotídeo (envolvida na redução dos ribonucleotídeos e desoxiribonucleotídeos) que catalizam reações bioquímicas em culturas de bactérias fixadoras de N_2, entre as quais o *Rhizobium*, o *Bradyrhizobium* e seus bacteróides presentes nos nódulos das leguminosas (Mengel & Kirkby, 1978).

O Co encontra-se na vitamina B_{12} quelato a quatro átomos de N no centro do anel corrin, que lembra o núcleo das porfirinas, representado por quatro anéis pirrólicos. No corrin, dois pirroles estão unidos diretamente entre si, ao invés de uma ponte metênica, como ocorre na porfirina (Lehninger, 1970). A vitamina B_{12} associa-se com o nucleotídeo 5'-desoxiadenosil para formar a coenzima cobamida (Figura 5).

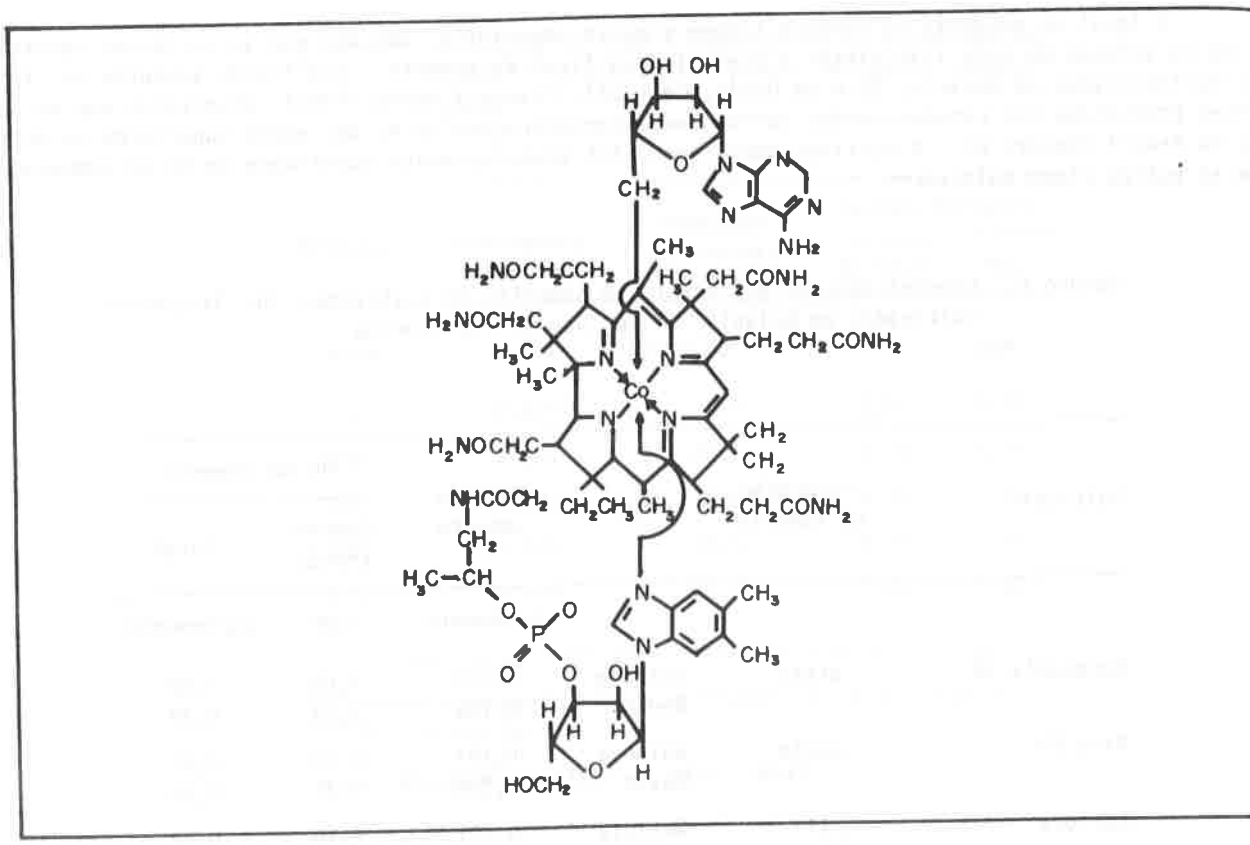


Figura 5. Estrutura molecular da coenzima cobamida (Lehninger, 1970).

Em algumas bactérias como o *Clostridium tetanomorphum*, a cobamida é essencial na conve do ácido glutâmico a β-metilaspártico. Foi demonstrado que esta coenzima participa, juntam com a enzima metilmalonilmutase, na isomerização do metilmalonilcoenzima A a sucinilcoenzima A. la ação da enzima suciniltioquinase, o sucinilcoenzima A pode ser convertido a sucinato e ser m bolizado via ciclo de Krebs. Esta via metabólica pode ser importante na fixação do N_2, uma vez o oxoglutarato é continuamente retirado do ciclo de Krebs para a síntese do glutamato. Outra metabólica é representada pela reação com a glicina para formar o ácido aminolevúlico (ALA), pr sor do grupo heme da leghemoglobina (Evans & Russel, 1971).

Na ausência do Co, a síntese do sucinilcoenzima A, a partir do propionato, é bloqueada, vez que, na falta da cobamida, a metilmalonilmutase é inativa. Portanto, a síntese da leghemo bina será inibida e, conseqüentemente, ocorrerá uma diminuição na fixação do N_2 (Mengel & Kir 1978).

Pesquisa realizada por Kliewer & Evans (1963) demonstrou os efeitos nocivos da ausência Co sobre o crescimento e acúmulo de N e cobamida em cultura de *Rhizobium meliloti* (Quadro 7). A ção de Co ao meio de cultura, na ordem de 1 ppb, correspondeu em significativa resposta do *meliloti*, enquanto que 1000 ppb Co inibiu o crescimento e N total, embora a síntese de cobamida t sido maior. Em outro experimento, eles observaram que o *R. meliloti* apresentou maior crescimen presença de N amoniacal que N nítrico em meio isento de Co (Quadro 8). Em concentrações iguais superiores a 0,01 ppb de Co, o crescimento, expresso em densidade ótica, foi maior na presença nítrico, demonstrando que a sua metabolização pelo *R. meliloti* é dependente de Co. Eles tambe monstraram uma variação ampla no conteúdo de cobamida em espécies de *Rhizobium* e *Bradyrhizo* mas pouca variação entre estirpes eficientes de uma mesma espécie, ao passo que a concentração bem menor nas ineficientes e parasíticas (Quadro 9).

Quadro 7. Efeito do cobalto no crescimento e conteúdo de nitrogênio e cobamida em *Rhizobium meliloti*.

Concentração de cobalto	Peso fresco de células	Nitrogênio total	Cobamida
ppb	-----mg/400 ml meio-----		nmoles/g CF(1)
0,00	328	5,0	< 1,0
0,01	1278	18,8	< 1,0
1,00	1300	20,0	10,7
100,00	1279	24,6	27,8
1000,00	680	13,5	35,9

(1) CF = Células frescas de *R. meliloti*.

Fonte: adaptado de Kliewer & Evans (1963).

Quadro 8. Efeito de concentração de cobalto e fonte de N no crescimento de *Rhizobium meliloti*.

Concentração de cobalto	Fonte de nitrogênio		
	$N\text{-}NH_4^+$	$N\text{-}NO_3^-$	$N\text{-}NH_4^+ + N\text{-}NO_3^-$
ppb	------- densidade ótica(1)		
0,000	0,46	0,05	0,31
0,005	0,90	0,78	0,61
0,010	0,77	1,10	0,82
0,020	0,85	1,20	0,92
0,040	0,86	1,20	1,10
0,080	0,80	1,25	1,10

(1) Medida a 600nm após um período de crescimento de 48h.

Fonte: adaptado de Kliewer & Evans (1963).

Disponibilidade no solo

Em solos intensamente intemperizados, o comportamento químico do Co e sua disponibilidade às plantas são regulados por sua associação com óxidos de manganês, alumínio e ferro. Como a maior parte do cobalto está adsorvida a óxidos de Mn, é de se esperar que ele apresente sensibilidades a trocas de potencial oxi-redutor e acidez semelhantes ao Mn (Jarvis, 1984). Azevém perene e trevo

vermelho, crescendo em solo mal drenado, apresentaram teores de Co superiores a oito vezes aos er contrados em plantas provenientes de solo bem drenado (Mitchell & Burridge, 1979, conforme citaçã de Jarvis, 1984).

Quadro 9. Conteúdo de cobamida em espécies e estirpes de *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*.

Espécies	Estirpes	Eficiência	Cobamida
			nmoles/g CF
R. meliloti	F29	Eficiente	25,5
	3D0a1	Ineficiente	6,7
R. leguminosarum biovar *phaseoli*	K17	Eficiente	25,0
R. leguminosarum biovar *trifolii*	P28	Eficiente	8,0
R. leguminosarum biovar *viciae*	C55	Eficiente	9,0
B. japonicum	b	Eficiente	15,0
	3I1b4	Ineficiente	6,7

(1) CF = Células frescas.

Fonte: adaptado de Kliewer & Evans (1963).

O teor de Co total é muito variável no solo, sendo comuns níveis de 1 a 40 ppm, embora res superiores a 40 ppm já tenham sido relatados (Mengel & Kirkby, 1978). Em rochas ricas em rais ferromagnesianos, é possível encontrar valores de Co entre 100 e 300 ppm, sendo que Mit (1964) estabeleceu uma estreita relação entre o Co e a distribuição de Mg nestes minerais. Por lado, as rochas ácidas apresentam teores de Co normalmente inferiores a 10 ppm (Mengel & K 1978). A disponibilidade de Co no solo pode ser comprometida, devido a sua adsorção na super de óxidos de Mn. Assim, Taylor & McKenzie (1966) constataram que, em média, 79% do Co total trava-se associado com minerais ricos em óxidos de Mn. Resultados semelhantes foram obtido Javis (1984).

Segundo citação de Kabata & Beeson (1961), Alban mostrou que a maior parte do Co ap em dois solos dos Estados Unidos, ainda estava localizada no horizonte Ap após um período de anos. Ele observou que o conteúdo de Co nas plantas não refletiu a concentração total do sol vez que não houve variações no teor de Co em plantas provenientes de solo adubado e não ac Normalmente, a disponibilidade é inferior a 2 ppm, sendo que valores inferiores a 0,1 ppm ocasionar deficiências de Co às plantas (McKenzie, 1975). Pesquisa realizada por Dantas com amostras de solo da Unidade Utinga derivada de rochas ácidas, em Pernambuco e Alagoas, ciou a presença de baixas concentrações de Co. O Cobalto total (extraível com ácido fluor foi inferior a 2 ppm, enquanto que o solúvel (extraível com acetato de amônio 0,5 N) foi inf

0,1 ppm. Valores inferiores a 0,2 ppm já haviam sido apresentados como insuficientes para dar atendimento às necessidades de Co por pastagens (Horowitz & Dantas, 1966). Estudos realizados em São Paulo demonstram uma grande variabilidade nas concentrações de Co solúvel (extraível com ácido acético 2,5%), com valores situando-se entre 0,01 e 1,07 ppm. Os menores valores foram observados em solos originários de sedimentos arenosos e os maiores valores em solos originários de sedimentos modernos e de rochas básicas (Lopes, 1984).

Resposta das culturas

O cobalto é requerido pelas leguminosas dependentes da fixação do N_2, para suprimento de suas necessidades em nitrogênio.

A absorção de Co é feita predominantemente na forma de Co^{2+} presente na solução do solo e suprido via fluxo de massa (Kabata & Beeson, 1961). Normalmente, as concentrações no tecido são inferiores a 0,5 ppm, podendo em algumas plantas, como a *Crotalaria cobalticola*, chegar a valores superiores a 500 ppm (Mengel & Kirkby, 1978). As gramíneas apresentam concentrações de Co inferiores às leguminosas (Quadro 10). Além da essencialidade do Co à fixação do N_2 em leguminosas, não foi ainda formalizada sua essencialidade para outras espécies ou necessidades metabólicas, embora tenha sido demonstrado que pequenas concentrações de Co estimulam o crescimento da seringueira, provavalmente devido a diminuição da atividade da peroxidase e retardamento na quebra do ácido indolacético (Bolle-Jones & Malli-Karjuneswara, 1957, segundo citação de Mengel & Kirkby, 1978).

Quadro 10. Diferenças em concentrações de cobalto entre leguminosas e gramíneas.

Família	Espécie	Concentração de cobalto
		ppm
Leguminosa	*Medicago sativa*	0,18
	Trifolium hibridum	0,27
	Trifolium pratense	0,15
Gramínea	*Bromus inermis*	0,04
	Dactylis glomerata	0,08
	Phleum pratense	0,04

Fonte: adaptado de Kubota & Allaway (1972).

Plantas bem noduladas que se encontram ativamente fixando o N_2 apresentam boa concentração de cobamida e leghemoglobina nos nódulos; mas estes são ausentes em nódulos deficientes em cobalto (Klewier & Evans, 1963). Além disso, suas concentrações aumentam com a idade da planta, atingindo o máximo no estádio de florescimento (Quadro 11). Em condições de deficiência do Co no solo, ocorre uma maior concentração nos nódulos em comparação com as outras partes da planta (Pate, 1977).

A constatação da presença de complexos orgânicos de pequena cadeia com Co indicam sua incorporação no metabolismo da planta. Assim, Fries (1962) identificou a vitamina B_{12} em ervilha, trigo e tremoço em experimento conduzido em condições assépticas, portanto sem a presença de microorganismos capazes de sintetizar a vitamina e colocá-la à disposição das plantas.

Quadro 11. Efeito da idade da planta sobre o acúmulo de matéria seca, N total, leghemoglobina e cobamida em soja.

Idade da planta	Matéria seca	Nitrogênio Total	Leghemoglobina	Cobamida
Semanas	---- g/8 plantas------		--µg/g NF[1]---	nmoles/g NF
3	8,1	0,34	4,5	4,5
4	10,2	0,31	12,6	7,4
5	20,4	0,59	75,5	14,5
6[2]	31,1	1,19	141,5	17,4
7	36,4	1,30	128,5	16,0

(1) NF = Nódulos frescos.

(2) = Estádio de florescimento.

Fonte: adaptado de Kliewer & Evans (1963).

Adições de Co em solução nutritiva purificada resultaram em aumento de rendimento de ma ria seca na ordem de 52% em soja inoculada com *B. japonicum*. Plantas sem cobalto apresentaram s tomas típicos de deficiência de N e tiveram menos N total que as plantas supridas com Co (Ahmed Evans, 1960). Além da resposta altamente positiva a concentrações de 0,1 e 1,0 ppb Co, análises tecido da parte aérea demonstraram que a porcentagem de N e o conteúdo de clorofila em plantas ficientes foram sensivelmente reduzidos. Trabalhando em condições semelhantes, Wilson & Reisena (1967) observaram que o nível adequado para alfafa foi da ordem de 10 ppb. Esta concentração re senta uma relação aproximada de 1/300 entre Co e Mo necessária à nutrição das plantas. Apesar de relação matemática, não existe interações entre os dois, conforme observações feitas por Gladsto et alii (1977). Entretanto, eles observaram diferenças marcantes entre espécies quando aduba com Mo e Co. *Lupinus angustifolius* respondeu intensamente ao Co com aumentos de 50% e apenas m ginalmente ao Mo, enquanto que *Vicia atropurpurea* respondeu apenas ao Mo (Quando 12). Eles obs varam que os nódulos eram grandes e encontravam-se concentrados na coroa e parte superior da r principal de *L. augustifolius* nos tratamentos com Co, ao passo que eles eram pequenos e estavam persos na raiz principal e secundárias na ausência de Co. Por outro lado, a coloração dos nódul representada pela presença de leghemoglobina, foi mais intensa (avermelhada) nos tratamentos com e menos intensa na ausência de Mo (Quadro 13). Em trabalho conduzido num Latossolo Vermelho-esc de Cerrado, a adição de Co promoveu um aumento no tamanho dos nódulos na cultivar IAC-2 e peso nódulos da cultivar Paraná. Esse efeito, apenas na formação de nódulos, é considerado normal, p este elemento é requerido em quantidades muito pequenas, e, parte da necessidade da planta pode suprida pelas reservas da semente (EMBRAPA, 1979).

Um sal solúvel de Co aplicado ao solo resulta em grande aumento na absorção pelas raízes rante um período curto. Apesar da maior parte do Co permanecer no horizonte Ap, ele se torna g dualmente indisponível, mediante a formação de complexos com a fração coloidal do solo, o que sultará em baixo efeito residual (Kabata & Beeson, 1961). Ocorre deficiência de Co em solos al mente lixiviados, embora a elevação do pH pela calagem possa aumentar sua disponibilidade (Mitche 1972). Apesar da elevação do pH resultar em menor solubilidade do cobalto, a calagem pode prop cionar aumentos no teor de cobalto no tecido, devido ao melhor desenvolvimento das plantas. Em c dições de deficiência, o Co pode ser suprido através de adubações de solo, na ordem de 1 a kg/ha de sulfato de cobalto, ou por meio de peletização de sementes (Mengel & Kirkby, 1978).

Quadro 12. Resposta diferencial de espécies vegetais à adubação com molibdênio e cobalto.

Espécie	Tratamento	Rendimento	N Total
		----- g/fileira-------	
Vicia atropurpurea	Sem molibdênio	88,7	3,25
	Com molibdênio	107,9*(1)	4,51**
	Sem cobalto	105,0	4,29
	Com cobalto	97,0	3,76
Lupinus angustifolius	Sem molibdênio	106,6	3,97
	Com molibdênio	109,7	4,27
	Sem cobalto	84,2	3,23
	Com cobalto	124,6***	4,77***

(1) Níveis de significância: *P > 0,05; **P > 0,01; ***P > 0,001.
Fonte: adaptado de Gladstones et alii (1972).

Os sintomas de deficiência de Co se caracterizam por clorose das folhas jovens, uma vez que ele apresenta baixa translocação das folhas mais velhas para as pontas de crescimento. Assim, apesar da absorção do Co ser maior na parte inferior da folha, em pulverizações ele não transloca para outras partes da planta (Gustafson & Schlessinger, 1956). Em vista disto, é desaconselhável adubações foliares com Co. Os sintomas de toxicidade de Co caracterizam-se por clorose generalizada em concentrações de 590 ppb Co na solução nutritiva (Wallace et alii, 1977). Em concentrações de 5900 ppb Co ocorre uma clorose severa com restrição no crescimento da planta e aumento considerável no teor de Co, sendo maior nas raízes e menor nas folhas (Quadro 14).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O molibdênio e o cobalto participam como cofatores de enzimas importantes ao metabolismo do nitrogênio, em plantas dependentes da fixação biológica do N_2 ou supridas com nitrato. As pequenas quantidades normalmente requeridas pelas plantas para suprirem suas necessidades nestes elementos, podem ser atendidas pelas reservas existentes na semente ou pelas concentrações dos íons MoO_4^{2-} e Co^{2+} existentes na solução do solo. Portanto, a falta de respostas, relatadas neste trabalho, podem estar associadas com reservas adequadas destes elementos na semente. No entanto, culturas que apresentam baixa capacidade de armazená-los no grão podem manifestar sintomas de deficiência, quando cultivadas em solos deficientes em molibdênio e cobalto. Assim, as pesquisas direcionadas para avaliações de resposta das culturas a estes elementos devem ser conduzidas com sementes deficientes, para que se possa avaliar o potencial de suprimento do solo ou os níveis de adubação requeridos pela planta.

Em geral, as gramíneas apresentam menores concentrações de molibdênio e cobalto, em comparação com outras espécies vegetais. Entretanto, cereais com alta demanda por nitrogênio, como o milho, são muito suscetíveis à deficiência de molibdênio, principalmente em solos ácidos ou quando se utilizam sementes com baixas reservas em Mo. Contudo, existem diferenças genéticas entre cultivares e híbridos, quanto à eficiência de absorção, translocação e utilização de molibdênio e cobalto. Estudos que permitissem a criação de novos genótipos capazes de utilizar eficientemente estes dois elementos em solos ácidos deveriam ser apoiados.

Quadro 13. Tamanho e coloração de nódulos de *Lupinus angustifolius* em resposta à adubação com molibdênio e cobalto.

Tratamento	Escore(1)			
	1	2	3	4
	Volume total de nódulos			
Sem molibdênio	19	16	12	13
Com molibdênio	16	13	13	18
Sem cobalto	28	19	11	2
Com cobalto	7	10	14	29
	Intensidade de leghemoglobina			
Sem molibdênio	42	14	4	
Com molibdênio	4	20	36	
Sem cobalto	26	19	15	
Com cobalto	20	15	25	

(1) Volume de nódulos: 1 (menor) a 4 (maior); intensidade de leghemoglobina: 1 (coloração rósea) a 3 (vermelho intenso).

Fonte: adaptado de Gladstones et alii (1977).

Quadro 14. Matéria seca e concentrações de cobalto nas folhas, caules e raízes de feijoeiro em resposta à adubação com sulfato de cobalto.

$CoSo_4$	Matéria seca			Concentração de cobalto		
	Folhas	Caules	Raízes	Folhas	Caules	Raízes
ppb	------- g/planta --------			--------- ppm ---------		
0	1,87	0,48	0,40	< 1,5	< 0,2	3
59	1,45	0,39	0,31	3,6	4,1	189
590	1,39	0,39	0,34	43,0	56,1	496
5900	0,47	0,19	0,15	142,0	353,0	2720

Fonte: adaptado de Wallace et alii (1977).

O baixo nível de conhecimento sobre áreas deficientes em molibdênio e cobalto, no Brasil, está intimamente relacionado com a baixa eficiência dos extratores químicos como indicadores de suas disponibilidades para as plantas. Devido a isto, as determinações das concentrações no tecido vegetal têm sido utilizadas como apoio na identificação de níveis de deficiência ou suficiência nestes elementos. Como eles participam ativamente em reações bioquímicas, seria desejável que fosse testada a sensibilidade dos métodos biológicos, uma vez que a intensidade da reação estaria condicionada à concentração destes elementos no meio. Assim, a medição da atividade da nitrogenase para quantificação do molibdênio e da concentração da cobamida produzida como indicadora da concentração de cobalto, têm sido apresentadas como métodos alternativos para avaliar a disponibilidade destes elementos no solo. Estudos que viabilizassem suas utilizações em rotina deveriam ser implementados, como também a busca de maior eficiência dos mesmos.

A nível de extensão, a produção de sementes com boas reservas em Mo e Co poderia se constituir em boa alternativa para prevenir problemas de deficiência, quando fossem feitas semeaduras em solos deficientes nestes elementos. Portanto, seria desejável que os produtores de sementes utilizassem o molibdênio e o cobalto como componentes básicos na adubação. Assim, dever-se-ia implementar métodos de adubação que fossem mais compatíveis para as nossas condições, mediante avaliações de aplicações em mistura com os inoculantes no caso de leguminosas ou outros adubos ao solo, pulverizações de solo com soluções e peletização de sementes.

AGRADECIMENTOS

Aos Drs. I. Anghinoni, L.R. Freire, C.F. Goepfert e S.J. Volkweiss pela análise crítica e sugestões proporcionadas durante a preparação deste trabalho.

LITERATURA CITADA

AGARWALA, S.C.; SHARMA, C.P.; FAROOQ, S. & CHATTERJEE, C. Effect of molybdenum deficiency on the growth and metabolism of corn plants raised in sand culture. Can. J. Bot., 56:1905-1908, 1978.

AHMED, S. & EVANS, H.J. Cobalt: a micronutrient element for the growth of soybean plants under symbiotic conditions. Soil Sci., 90:205-210, 1960.

ALVAREZ, R.; WUTKE, A.C.P.; ARRUDA, H.V. & GODOY Jr, G. Adubação da cana-de-açúcar. XV-Experimentos com micronutrientes nas regiões canavieiras do Estado de São Paulo. Bragantia, 38:19-26, 1979.

ANDERSON, A.J. Molybdenum as a fertilizer. Ad. Agron., 8:163-202, 1956.

ANDERSON, A.J. & MOYE, D.V. Lime and Molybdenum in clover development on acid soils. Aust. J. Agric. Res., 3:95-110, 1952.

BELLINTANI NETO, A.M. & LAM-SÁNCHEZ, A. Efeito de molibdênio sobre a nodulação e produção de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Científica, 1:13-17, 1974.

BERGERSEN, F.J. Development of root-nodule symbiosis. Formation and function of bacteroids. In: QUISPEL, A. ed. The Biology of Nitrogen Fixation. Amsterdan, 1974. p.473-498.

BOLE-JONES, E.W. & MALLIKARJUNESWARA, V.R. A beneficial effect of cobalt on the growth of rubber plant. Nature, 179:738-739, 1957. Apud MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Worblaufen-Bern/Switzerland. 593p. 1978.

BORGES, A.C.; FREIRE, J.R.J. & BRAGA, J.A. Experimento sobre o efeito da calagem, molibdênio, enxofre e zinco sobre a nodulação e fixação do nitrogênio em soja. In: REUNIÃO LATINOAMERICANA SOBRE *Rhizobium*, VII., Resistência; 1974. Anais... Resistência. RELAR, 1974. p.40-56.

BROWN, J.C. & CLARK, R.B. Differential response of two maize inbreds to molybdenum stress. J. Soil Sci. Soc. Am., 38:331-333, 1974.

BURTON, J.C. & CURLEY, R.L. Compatibility of *Rhizobium japonicum* and sodium molybdate when combined in a peat carrier medium. Agron. J., 58:327-330, 1966.

BUZETTI, S.; MAURO, A.O. & VARGAS, J.T.D. Efeito de vários micronutrientes na cultura de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), cv. "UFV-1". In: Relatório Técnico-Científico, Ilha Solteira, SP Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista. Nº 1, p.66-68, 1981.

CATANI, R.A.; ALCARDE, J.C. & FURLANI, P.R. A adsorção de molibdênio pelo solo. An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz, Piracicaba, nº 27, p.223-237, 1970.

CLARK, R.B. Plant genotype differences in uptake, translocation, accumulation, and use of minera elements required for plant growth. Pl. Soil, 72-175-196, 1983.

DANTAS, H.S. Cobalto e complexo sortivo nos solos da unidade Utinga. Pesq. agropec. bras., 6:2 26, 1971.

DATE, R.A. & HILLIER, G.R. Molybdenum application in the lime of lime-pelleted subterranean clov seed. J. Aust. Inst. Agric. Sci., 34:171-172, 1968.

DAVIES, E.B. Factors affecting molybdenum availability in soils. Soil Sci., 81:209-221, 1956.

DE-POLLI, H.; SUHET, A.R. & FRANCO, A.A. Micronutrientes limitando a fixação de nitrogênio atmo férico e produção de centrosema em solo podzólico vermelho-amarelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO CIÊNCIA DO SOLO, XV., Campinas, 1975. Anais... Campinas, CBCS, 1975. p.151-156.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Pl naltina, 1979. v. 3. 192p.

EVANS, H.J. & RUSSEL, S.A. Physiological chemistry of symbiotic nitrogen fixation by legumes. POSTGATE, J.R. ed. The Chemistry and Biochemistry of Nitrogen Fixation, Plenum Publishing New York, 1971. p.191-244.

FRANCO, A.A. & MUNNS, D.N. Response of *Phaseolus vulgaris* L. to molybdenum under acid conditio J. Soil Sci. Soc. Am., 45:1144-1148, 1981.

FREITAS, E.G. & FREIRE, J.R.J. Influência da pilulação, calagem e do molibdênio na produção e nodulação de *Lotononis bainesii* Baker. In: REUNIÃO LATINOAMERICANA SOBRE *Rhizobium*, IV, Porto Alegre, 1968. Anais... Porto Alegre, RELAR, 1968. p.135-152.

FRIES, L. Vinamin B_{12} in *Pisum sativum* L. Phys. Plant., 15:566-571, 1962.

GALRÃO, E.Z. Efeito de micronutrientes e do cobalto na produção e composição química do arroz milho e soja em solo de cerrado. Rev. bras. Ci. Solo, 8:111-116, 1984.

GARTRELL, J.W. The effect of sodium molybdate mixed in the lime seed pellet on nodulation, nitrogen content, and growth of subterranean clover. Aust. J. Exp. Agric. An. Husb., 9:432 1969.

GIDDENS, J. & PERKINS, H.F. Essentiality of molybdenum for alfafa on highly oxidized Piedmont soils. Agron. J., 64:819-820, 1972.

GLADSTONES, J.S.; LONERAGAN, J.F. & GOODCHILD, N.A. Field responses to cobalt and molybdenum by different legume species, with inferences on the role of cobalt in legume growth. Austr. J. Agric. Res., 28:619-628, 1977.

GUPTA, U.C. Effect and interaction of molybdenum and limestone on growth and molybdenum content of cauliflower, alfalfa, and bromegrass on acid soils. J. Soil Sci. Soc. Am., 33:929-932, 1969.

GUPTA, U.C. Effect of methods of application and residual effect of molybdenum on the molybdenum concentration and yield of forages on podzol soils. Can. J. Soil Sci., 59:183-189, 1979.

GUPTA, U.C. & LIPSETT, J. Molybdenum in soils, plants, and animals. Adv. Agron., 34:73-115, 1981.

GUPTA, U.C. & MACLEOD, L.B. Effects of sulfate and molybdenum on the molybdenum, copper, and sulfur concentrations of forage crops. Soil Sci., 119:441-447, 1975.

GUSTAFSON, F.G. & SCHLESSINGER Jr, M.J. Absorption of cobalt^{60} by leaves of bean plants in the dark. Pl. Physiol., 31:316-318, 1956.

HAWES, R.L.; SIMS, J.L. & WELLS, K.L. Molybdenum concentration of certain crop species as influenced by previous applications of molybdenum fertilizer. Agron. J., 68:217-218, 1976.

HOROWITZ, A. Os íons de molibdênio no solo - um exemplo de aplicação dos diagramas Eh-pH. Rev. bras. Ci. Solo, 2:98-103, 1978.

HOROWITZ, A. & DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. I. Manganês na zona da Mata e do Sertão. Pesq. agropec. bras., 1:383-390, 1966.

JARVIS, S.C. The association of cobalt with easily reducible manganese in some acidic permanent grassland soils. J. Soil. Sci., 35:431-438, 1984.

JOHNSON, C.M.; PEARSON, G.A. & STOUT, P.R. Plant and Soil, 4:178-196, 1952. Apud GUPTA, U.C. & LIPSETT, J. Molibdenum in soils, plants, and animals. Adv. Agron. 34:73-115, 1981.

JORDAN, D.C. Family III. *Rhizobiaceae* CONN 1938. In: KRIEG, N.R. & HOLT, J.G. eds. Bergey's Manual of Sistematic Bacteriology. Williams & Wilkings, Baltimore, 1984. v.1. p.234-244.

KABATA, A. & BEESON, K. Cobalt uptake by plants from cobalt impregnated soil minerals. J. Soil Sci. Soc. Am., 25:125-127, 1961.

KLIEWER, M. & EVANS, H.J. Cobamide coenzyme contents of soybean nodules and nitrogen fixing bacteria in relation to physiological conditions. Pl. Physiol., 38:99-104, 1963.

KOLLING, J.; SCHOLLES, D. & BROSE, A. Efeito do molibdênio aplicado em diferentes formulações sobre a nodulação e rendimento de grãos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Agronomia Sulriograndense, 17:239-248, 1981.

KUBOTA, J. & ALLAWAY, W.H. Geographic distribution of trace element problems. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. eds. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America, Inc., 1972. p.199-229.

KUBOTA, J.; LAZAR, V.A.; LANGAN, L.N. & BEESON, K.C. The relationship of soils to molybdenum toxicity in cattle in Nevada. J. Soil Sci. Soc. Am., 25:227-232, 1961.

LAM-SÂNCHEZ, A. & AWAD, M. Efeito da simazina e do molibdênio no rendimento, conteúdo protéico e nodulação da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e da simazina no rendimento e conteúdo protéico do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Científica, 4:56-58, 1976.

LANTMANN, A.F.; CAMPO, R.J.; SFREDO, G.J. & BORKERT, C.M. Dinâmica de micronutrientes e sua absorção pela planta. In: RESULTADOS DE PESQUISA DE SOJA 1984/85. Londrina, PR. CNPSo, p. 302-312, 1985 (Documentos, 15).

LEHNINGER, A.L. Biochemistry. Worth Publishers, Inc., New York, 1970. 833p.

LIPSETT, J. A comparison of the responses by six grasses, rape and subterranean clover to application of molybdenum. Aust. J. Exp. Agric. An. Husb., 15:227-230, 1975.

LIPSETT, J. & DAVIS, D.J. Amount and distribution of molybdenum in a bag of molybdenized superphosphate. J. Aust. Inst. Agric. Sci., 43:149-151, 1977.

LIPSETT, J. & SIMPSON, J.R. Analysis of the response by wheat to application of molybdenum in relation to nitrogen status. Aust. J. Exp. Agric. An. Husb., 13:563-566, 1973.

LOPES, A.S. Uso eficiente de fertilizantes com mcironutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. Anais... Brasília, EMBRAPA-DEP. Documentos, 14. 1984. p.347-382.

MASCARENHAS, H.A.A.; MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S. & IGUE, T. Adubação da soja. VI-Efeitos do enxofre e de vários micronutrientes (Zn, Cu, B, Mn, Fe e Mo) em solo Latossol Roxo com vegetação de Cerrado. Bragantia, 26:373-379, 1967.

MASCARENHAS, H.A.A.; KIIHL, R.A.S.; NAGAI, V. & BATAGLIA, O.C. Aplicação de micronutrientes em soja cultivada em solos de Cerrado. O Agronômico, 25:71-77, 1973.

McKENZIE, R.M. Soil cobalt. In: NICHOLAS, D.J.D. & EGAN, A.R. eds. Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems, London, Academic Press, 1975. p.83-93.

MEAGHER, W.R.; JOHNSON, C.M. & STOUT, P.R. Molybdenum requirements of leguminous plants supplie with fixed nitrogen. Pl. Physiol., 27:223-230, 1952.

MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. International Potash Institute. Worblaufen-Bern/Switzerland. 593p. 1978.

MIRANDA, C.H.B.; SEIIFFERT, N,F. & DOBEREINER, J. Efeito da aplicação de molibdênio no número d *Azospirillum* e na produção de *Brachiaria decumbens*. Pesq. agropec. bras., 20:509-513. 1985.

MITCHELL, R.L. Trace elements in soil. In: BEAR, F.E. ed. Chemistry of the Soil. New York, Reinhold Publishing Corporation, 1964. p.320-368.

MITCHELL, R.L. Cobalt in Soil and its uptake by plants. Agrochimica, 16:521-532, 1972.

MITCHELL, R.L. & BURRIDGE, J.C. Trace elements in soils and crops. 1979. Apud JARVIS, S.C. The association of cobalt with easily reducible manganese in some acidic permanent grassland soils. J. Soil Sci., 35:431-438, 1984.

NERY, M.; PERES, J.R.R. & DOBEREINER, J. Efeito de micronutrientes na forma de FTE na produção de leguminosas forrageiras e fixação de N_2. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XV Campinas, 1975. Anais... Campinas, CBCS, 1975. p.157-162.

PATE, J.S. Functional biology of dinitrogen fixation by legumes. In: HARDY, W.F. & SILVER, W. eds. A Treatese on Dinitrogen Fixation. III-Biology, New York, J. Wiley, 1977. p.473-518.

PEDROSA, F.O.; NASCIMENTO, A.J.; ALVAHYDO, R. & DOBEREINER, J. Teores de leghemoglobina e de molibdênio nos nódulos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) inoculada com estirpes de *Rhizobi japonicum* de eficiência normal e excepcional. Pesq. agropec. bras., 5:373-379, 1970.

PERES, J.R.R.; NERY, M. & FRANCO, A.A. Constatação de deficiências de molibdênio em vários solos do Estado do Rio de Janeiro, através de teste microbiológico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XV, Campinas, 1975. Anais... Campinas, CBCS, 1975. p.163-169.

PETERSON, N.K. & PURVIS, E.R. Development of molybdenum deficiency symptoms in certain crop plants. J. Soil Sci. Soc. Am., 25:111-117, 1961.

REISENAUER, H.M. Relative efficiency of seed-and-soil-applied molybdenum fertilizer. Agron. J., 55,459-460, 1963.

ROLT, W.F. Some effects of lime and molybdenum on the growth of white clover in autea clay. New Zealand J. Agric. Res., 11:193-205, 1968.

RUSCHEL, A.P. & REUSZER, H.W. Fatores que afetam a simbiose *Rhizobium phaseoli-Phaseolus vulgaris*. Pesq. agropec. bras., 8:287-292, 1973.

RUSCHEL, A.P.; BRITTO, D.P.P.S. & CARBALHO, L.F. Efeito do boro, molibdênio e zinco quando aplicados ao revestimento na fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Pesq. agropec. bras., 4:29-37, 1969.

RUSCHEL, A.P.; ROCHA, A.C.M. & PENTEADO, A.F. Efeito do boro e do molibdênio aplicado a diferentes revestimentos da semente de feijão (*Phaseolus vulgaris*). Pesq. agropec. bras., 5:49-52, 1970.

SIMS, J.L.; LEGGETT, J.E. & PAL, V.R. Molybdenum and sulfur interaction effects on growth, yield, and selected chemical constituents of Burley Tobacco. Agron. J., 71:75-78, 1979.

SIMS, J.L.; SUCHY, M.E. & CORNELIUS, P.L. Placement of molybdenum fertilizer in the transplant solution of Burley Tobacco. Agron. J., 75:239-242, 1983.

SINGH, M. & KUMAR, V. Sulfur, phosphorus, and molybdenum interactions on the concentration and uptake of molybdenum in soybean plants (*Glycine max*). Soil Sci., 127:307-312, 1979.

SIQUEIRA, C. & VELLOSO, A.C. Adsorção de molibdato em solos sob vegetação de cerrado. R. bras. Ci. Solo, 2:24-28, 1978.

TAYLOR, R.M. & McKENZIE, R.M. The association of trace elements with manganese minerals in Australian soils. Aust. J. Soil. Res., 4:29-39, 1966.

TIFFIN, L.O. Translocation of micronutrients in plants. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. eds. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America, Inc., 1972. p.199-229.

VITTI, G.C.; FORNASIERI FILHO, D.; PEDROSO, P.A.C. & CASTRO, R.S.A. Fertilizante com molibdênio e cobalto na cultura da soja. Rev. bras. Ci. Solo, 8:349-352, 1984.

WALLACE, A.; ALEXANDER, G.V. & CHAUDHRY, F.M. Phytotoxicity of cobalt, vanadium, titanium, silver, and chromium. Commun. Soil Sci. Pl. Anal., 8:751-756, 1977.

WEIR, R.G. & HUDSON, A. Molybdenum deficiency in maize in relation to seed reserves. Aust. J. Exp. Agric. An. Husb., 6:35-41, 1966.

WEIR, R.G.; NAGLE, R.K.; NOONAN, J.B. & TOWNER, A.G.W. The effect of foliar and soil applied molybdenum treatments on the molybdenum concentration of maize grain. Aust. J. Exp. Agric. An. Husb., 16:761-764, 1976.

WILSON, D.O. & REISENAUER, H.M. Cobalt requirement of symbiotically grown alfafa. Pl. Soil, 19:364-373, 1967.

CAPÍTULO 9

RESPOSTAS DAS CULTURAS AOS MICRONUTRIENTES BORO E ZINCO

Enéas Z. Galrão[1]

RESUMO

Este trabalho de revisão de literatura foi elaborado visando avaliar respostas de diversas culturas ao boro e ao zinco. Dentre as culturas anuais, o maior número de referências são de experimentos com arroz, soja e milho. A quase totalidade dos trabalhos com arroz e milho avaliou o efeito do zinco, cuja aplicação na maioria dos casos, aumentou a produção. Não se observou respostas dessas culturas ao boro. Na cultura da soja, as respostas ao zinco foram menos freqüentes e, em poucos casos, constatou-se resposta ao boro. O número de trabalhos com as outras culturas é bastante reduzido. Constatou-se resposta do sorgo e da mandioca ao zinco, e, do trigo e do algodoeiro ao boro. O café respondeu com maior freqüência ao zinco e o feijoeiro ao boro. Houve resposta da cultura da batata, do tomateiro e do repolho ao boro, e, da alface ao zinco. A cana-de-açúcar não respondeu a nenhum desses micronutrientes. As forrageiras responderam com maior freqüência ao boro. O eucalipto respondeu ao boro e ao zinco.

Termos de indexação: micronutrientes, boro, zinco, resposta de arroz, soja, milho, mandioca, café, hortaliças e forrageiras a boro e zinco.

SUMMARY

CROP RESPONSES TO BORON AND ZINC

This literature review was carried out in order to evaluate the responses of various crops to boron and zinc. Among the annual crops the greatest number of papers reviewed dealt with rice, soybeans and maize. Almost all the studies on rice and on maize was to evaluate zinc effectes and in the majority of the experiments zinc application increased yields. Responses to boron were not observed with these two crops. On soybeans, responses to zinc were less frequent and in a few cases a response to boron was reported. The number of studies with other crops is reduced. Responses of sorghum and cassava to zinc and of wheat and cotton to boron were detected in some experiments. Potatoes, tomatoes and cabbage responded to boron and lettuce to zinc. Sugar cane did not respond to both micronutrients. Forages responded with greater frequency to boron. Eucalyptus responded to boron and zinc.

Index terms: micronutrients, boron, zinc, response of rice, soybeans, maize, cassava, horticultural crops, forages to boron and zinc.

---

[1] Engº Agrº, MSc., pesquisador do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, CPAC-EMBRAPA, Caixa Postal 70.0023, CEP 73.300, Planaltina, DF.

INTRODUÇÃO

Estudos de avaliação das deficiências e respostas aos nutrientes têm se restringido mais a trabalhos com fósforo e calagem, sendo bastante reduzidos os trabalhos com outros elementos. No trabalhos com micronutrientes, na maioria das vezes, as respostas referem-se a um conjunto dos mes mos, impossibilitando, portanto, concluir sobre o efeito de cada elemento isolado.

O objetivo principal deste trabalho foi o de apresentar respostas das principais cultura à aplicação do boro e do zinco, nas regiões de potencial agrícola do País.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Arroz - Souza e Hiroce (1970) constataram sintomas de deficiência de zinco em arroz, n municípios paulistas de Miguelópolis, Leme e Campinas, em solos com pH de 5,8 a 6,9. Neste trab lho, os sintomas ocorriam quando o teor de zinco na matéria seca era inferior a 15 ppm. A aplic ção de 5 kg de sulfato de zinco/ha, no sulco de plantio, foi suficiente para evitar o aparecimen dos sintomas.

No Quadro 1 é mostrado o efeito de doses de zinco na produção do arroz. A maior produç foi obtida com a dose de 10 kg de sulfato de zinco/ha, que produziu 698 kg de grãos/ha a mais que a testemunha e diferiu significativamente apenas da maior dose. O zinco foi aplicado na for de solução, lateralmente às plantas, quinze dias após a emergência.

QUADRO 1. Efeito de doses de zinco na produção de arroz num Latossolo Vermelho-escuro argiloso de Anápolis (GO)[1].

Sulfato de zinco	Grãos
kg/ha	
0	1087 c
10	1785 a
20	1531 ab
30	1510 ab
40	1562 ab
50	1234 b
CV%	20,2

[1] As médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: adaptado de Pereira & Vieira (s.d.)

Fageria & Zimmermann (1979) avaliaram o efeito da interação entre fósforo, zinco e calcário na produção de arroz. Não houve resposta à aplicação de zinco, num Latossolo Vermelho-amarelo de Goiânia (GO), tanto em condições de casa de vegetação como de campo. Por outro lado, em casa de vegetação, num Latossolo Vermelho-amarelo de Planaltina (DF), a aplicação do zinco aumentou a produção e seus componentes. Nos dois solos, em condições de casa de vegetação, o tratamento que recebeu calcário (4 t/ha), mas que não recebeu zinco, teve efeito negativo na produção e nos seus componentes. O fósforo também teve efeito negativo na disponibilidade do zinco. Assim, o tratamento que não recebeu zinco, mas recebeu calcário (4 t/ha), teve a produção e seus componentes diminuídos com a aplicação de altas doses de fósforo. Vahl et alii (1978), não encontraram resposta do arroz irrigado à aplicação de zinco, tanto num Planossolo como num Brunizem Hidromórfico do extremo sul do País. Houve resposta ao zinco somente na presença de fósforo e apenas no Planossolo. As doses de zinco (zero, 6 e 12ppm) produziram, respectivamente, 9,9, 10,2 e 11,3g de grãos por vaso, na presença de 50ppm de P_2O_5. Porém, na presença de 100ppm de P_2O_5, houve diminuição na produção, onde as doses de zero, 6 e 12ppm de zinco produziram 11,9, 11,4 e 10,3g de grãos por vaso, respectivamente. Barbosa Filho et alii (1982), em dois experimentos conduzidos em Goiânia (GO) (solo não especificado), avaliaram o efeito de fontes de zinco (sulfato, óxido e cloreto) e o modo de aplicação de cada uma delas (semente, sulco, lanço e pulverização), na produção de arroz. Em um dos experimentos, apenas os tratamentos que receberam 10 kg/ha de zinco (sulfato), a lanço e no sulco, como aquele que recebeu pulverização com óxido de zinco (0,5% de zinco), apresentaram diferenças significativas na produção de grãos em relação à testemunha (3.533 kg de grãos/ha). Esses aumentos foram, respectivamente, de 1.217, 1.250 e 1.367 kg de grãos/ha. No outro experimento, somente o tratamento que recebeu 10 kg de sulfato de zinco/ha, no sulco de plantio, e, outro que recebeu essa mesma dose a lanço, mas na forma de óxido, apresentaram diferenças significativas na produção de grãos em relação à testemunha (2.907 kg/ha). Os aumentos foram de 798 e 762 kg de grãos/ha, respectivamente. Barbosa Filho et alii (1983) avaliaram o efeito da aplicação de micronutrientes através da semente, no rendimento e na qualidade de grãos do arroz, num solo de Goiânia (GO) (solo não especificado). Não houve efeito do boro ou do zinco, tanto no rendimento como na qualidade de grãos. O zinco teve efeito positivo apenas na altura das plantas. Segundo os autores, a falta de resposta ao zinco deveu-se ao teor no solo de 0,9 ppm de zinco (Mehlich 1), que está bem próximo do nível crítico de 1,0 ppm, de acordo com Lopes (1975). Fageria et alii (1977) também não encontraram resposta do arroz irrigado à aplicação de zinco num solo de Goiânia (GO) (solo não especificado).

O efeito do cobalto e de micronutrientes na produção do arroz é mostrado no Quadro 2. O cobalto e os micronutrientes foram aplicados a lanço apenas por ocasião do primeiro cultivo. O zinco foi usado na dose de 6 kg/ha na forma de sulfato, e o boro na dose de 1,2 kg/ha como ácido bórico. O zinco foi o único micronutriente cuja omissão provocou decréscimo significativo na produção em relação ao tratamento "completo". Tal decréscimo foi de 1.052 e 1.524 kg de grãos/ha, respectivamente, para o primeiro e segundo cultivos. De acordo com Ritchey et alii (1976), o nível crítico de zinco, no solo deste experimento, para uma planta sensível como o milho é de 1,0 ppm (Mehlich 1). Assim sendo, seria de se esperar que ocorresse uma resposta à aplicação desse elemento, visto que o seu teor médio, nas parcelas que não o receberam foi de 0,4 ppm (Quadro 2). Além disso, os teores de zinco nas folhas das plantas dessas parcelas estavam abaixo da concentração normal, conforme os teores sugeridos por Chapman (1966).

Milho: Um dos primeiros trabalhos que mostrou resposta do milho ao zinco, foi o de Igue & Gallo (1960), conduzido num solo de cerrado de Matão (SP). As doses de 0, 25, 50 e 100 kg de sulfato de zinco/ha, aplicadas no sulco, produziram respectivamente, 1.167, 2.088, 2.583 e 1.953 kg de espigas despalhadas/ha e proporcionaram teores de 20, 65, 105 e 203 ppm de zinco nas folhas, respectivamente. Freitas et alii (1958) obtiveram um aumento na produção do milho de 214% (483 kg de grãos de milho/ha), com a aplicação de 6 kg de zinco/ha, num Latossolo Vermelho-escuro de Anápolis (GO). Britto et alii (1971a) obtiveram, com a aplicação de 20 kg de sulfato de zinco/ha, um aumento na produção do milho de 597% (2.176 kg de espigas despalhadas/ha), num Latossolo Vermelho-escuro do Distrito Federal. No mesmo local, avaliaram o efeito das doses de 10, 20 e 30 kg de sulfato de zinco/ha na produção do milho e não encontraram diferença significativa entre as mesmas. Concluíram, portanto, que a dose de 10 kg de sulfato de zinco/ha seria suficiente para suprir as necessidades dessa cultura. Pereira et alii (1973) avaliaram, durante dois anos, o efeito das doses de 0, 10, 20, 30, 40 e 50 kg de sulfato de zinco/ha, na produção do milho num Latossolo Vermelho-escuro

Quadro 2. Produção de grãos de arroz (IAC 25), teores de zinco no solo e na folha, em função da aplicação de cobalto e micronutrientes num Latossolo Vermelho-escuro argiloso de Planaltina, DF.

Tratamentos	Cultivos					
	1º	2º	1º	2º	1º	2º
	Grãos		Teores de zinco no solo[2]		Teores de zinco na folha	
	----kg/ha----		---------- ppm		----------	
"Completo"	1170 a[1]	2001 a	2,1 a	1,3 a	20,7 ab	15,7 a
Menos B	1191 a	1813 a	2,5 a	1,4 a	18,4 b	14,8 a
Menos Co	1179 a	2158 a	2,2 a	1,2 a	20,1 ab	14,0 a
Menos Cu	1156 a	1772 a	2,2 a	1,2 a	20,0 ab	14,9 a
Menos Fe	1210 a	2046 a	2,1 a	1,2 a	17,8 b	13,5 a
Menos Mn	1196 a	2041 a	2,3 a	1,2 a	23,0 a	14,8 a
Menos Mo	1188 a	1891 a	2,4 a	1,3 a	21,0 ab	14,4 a
Menos Zn	118 b	477 b	0,4 b	0,4 b	7,6 c	6,6 b
CV%	22,7	16,4	16,0	15,5	12,3	8,6

[1]Em cada coluna, as médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

[2]Extrator de Mehlich 1(HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025N).

Fonte: adaptado de Galrão (1984).

de Anápolis (GO). Não houve diferença significativa entre os tratamentos que receberam zinco. se de 10 kg de sulfato de zinco/ha proporcionou aumentos de produção de 198% (1.343 kg de grãos e de 128% (3.034 kg de grãos/ha), respectivamente, para o primeiro e segundo anos. Gallo et (1965) não encontraram resposta do milho à aplicação do boro (25 kg de bórax/ha) ou do zinco de sulfato de zinco/ha), num solo argiloso de formação glacial do Estado de São Paulo. Igue et (1962) avaliaram o efeito da aplicação do zinco, via foliar e no solo, na produção do milho nu lo arenoso de formação glacial do Estado de São Paulo. Não houve diferença significativa ent tratamentos que receberam zinco e a testemunha. Britto et alii (1971b) obtiveram, num Lato Vermelho-amarelo arenoso de São Simão (SP), um aumento de 21% (494 kg de grãos de milho/ha), aplicação de 26 kg de sulfato de zinco/ha, no sulco de plantio, na presença de 60, 60 e 50 k respectivamente, de N, P_2O_5 e K_2O. Com o dobro dessa adubação, o aumento foi de 41% (1.097 grãos/ha). Decaro et alii (1983) avaliaram o efeito do sulfato e do óxido de zinco na produção milho, num Latossolo Vermelho-escuro arenoso de Jaboticabal (SP). Foram usadas as doses de 0, e 15 kg de zinco/ha para cada fonte. Não houve diferença significativa nem entre as fontes e r tre os tratamentos que receberam zinco. A aplicação do zinco proporcionou um aumento médio na p ção, em relação à testemunha (1.283 kg de grãos/ha), de 1.088 kg de grãos/ha. Abreu & (1985) avaliaram, através da técnica de diagnose por subtração, o efeito de cada micronutrient

produção da matéria seca de milho, em cinco solos de várzeas de Minas Gerais (Gley Húmico, Gley Pouco Húmico e Orgânico de Uberaba e, Aluvial e Gley Húmico de Careaçu). Verificaram redução na produção de matéria seca (total de quatro cultivos), devido à ausência do zinco, apenas no Gley Húmico de Careaçu. Não foi constatado efeito do boro. Galrão & Mesquita Filho (1981) avaliaram, em casa de vegetação, o efeito de fontes de zinco (sulfato, óxido e FTE BR 12) na produção de matéria seca do milho, num Latossolo Vermelho-amarelo argiloso de Planaltina (DF). Foram usadas as doses de 0, 1,25, 2,5, 5,0 e 10 ppm de zinco para cada fonte. Foram feitos três cultivos sucessivos para a avaliação do efeito residual dessas fontes. Não foi observada diferença significativa entre as fontes. O tratamento que não recebeu zinco apresentou a menor produção e diferiu significativamente dos demais, os quais, por sua vez, não diferiram entre si.

O efeito de doses de zinco na produção do milho é mostrado no Quadro 3. As doses de zinco foram aplicados a lanço, na forma de sulfato, somente por ocasião do primeiro cultivo. A produção da testemunha, no primeiro cultivo, foi muito baixa. A maior produção foi obtida com a dose de 9 kg de zinco/ha, que causou um aumento de 6.477 kg de grãos/ha em relação à testemunha. Nos demais cultivos, as diferenças entre a dose de 9 kg de zinco/ha e a testemunha, não foram tão acentuadas quanto à do primeiro, sendo de 3.793, 4.251 e 3.011 kg de grãos/ha, para o segundo, terceiro e quarto cultivos, respectivamente. Isto pode ser devido ao aumento de produção do tratamento que não recebeu zinco, no decorrer dos cultivos. A produção desse tratamento foi de 338, 2.094 e 3.302 kg de grãos/ha, respectivamente para o primeiro, segundo e terceiro cultivos. Esse aumento não era esperado, pois os teores de zinco da folha e do solo desse tratamento não sofreram grandes variações no decorrer dos cultivos (Quadro 3). Não foi determinada a causa desse aumento. Possivelmente esteja associada a um aumento na quantidade de zinco disponível para a planta, devido a: a) mineralização da matéria orgânica; b) associações endomicorrízicas (Lambert et alii, 1979); c) aumento na quantidade de nutrientes e água absorvida, devido ao aumento do sistema radicular, o que, por sua vez, é conseqüência da redução da saturação de alumínio das camadas subsuperficiais ao longo do tempo, pela lixiviação de sais aplicados através do calcário e dos fertilizantes (Ritchey et alii, 1980). A dose de 9 kg de zinco/ha aplicada a lanço, apenas no primeiro cultivo, foi suficiente para manter as produções mais elevadas por pelo menos três colheitas consecutivas, o que evidencia o prolongado efeito residual desse micronutriente. A dose de 3 kg de zinco/ha produziu 89,4, 88,6 e 86,7% da produção máxima, respectivamente, para o primeiro, segundo e terceiro cultivos e, 8,8% a mais da produção máxima no quarto cultivo. De uma maneira geral, tanto os teores de zinco da folha como os do solo, medidos nos vários cultivos, aumentaram à medida que a dose de zinco aumentou (Quadro 3). Os teores de zinco da folha das plantas da parcela testemunha estão abaixo da faixa de suficiência, conforme Jones Júnior (1967). Isto explica, em parte, a resposta do milho a esse micronutriente. Não foi observada resposta ao boro no experimento apresentado no Quadro 3. Galrão (1984), no mesmo tipo de solo desse experimento, também não encontrou resposta do milho (Cargill 111) ao boro.

Ritchey et alii (1986) determinaram os níveis críticos de zinco no solo para milho pelo método de Cate & Nelson (1965). Esses níveis foram 1,4, 1,0 e 0,7 ppm, obtidos respectivamente, através das seguintes soluções extratoras: HCl·0,1N, Mehlich 1 (HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N) e DTPA-TEA (ácido dietileno-triamino-pentacético e trietanolamina) (Figura 1). Apesar dos diferentes níveis críticos determinados pelos extratores, foi obtida alta correlação entre os mesmos (Quadro 4). Esses resultados indicam que os extratores usados são adequados para determinar o nível de suficiência ou deficiência de zinco desse solo.

Em um outro experimento, conduzido em área ao lado do anterior, foram avaliados os efeitos de doses de calcário e zinco na produção do milho (Figura 2). A interação entre níveis de calcário e níveis de zinco não foi significativa. Os teores de zinco na folha decresceram à medida que se aumentou a dose de calcário (Quadro 5), permanecendo em níveis abaixo da faixa normal de concentração, conforme Jones Junior (1967). Presume-se que o decréscimo de produção verificado seja devido, em parte, à menor disponibilidade de zinco, com o aumento do pH, pois, de acordo com Lindsay (1972) a elevação de uma unidade de pH diminui cem vezes a concentração de zinco na solução do solo. Quanto aos demais nutrientes, apenas os teores de magnésio estavam insuficientes, conforme Jones Júnior (1967), porém, parece não ter havido limitação desse nutriente, pois as produções foram consideradas altas. O teor de ferro no tecido diminuiu à medida que a dose de zinco aplicada ao solo aumentou (Quadro 5). Isto sugere que existe um antagonismo entre o zinco e o ferro. Galrão (1984), no mesmo tipo de solo deste trabalho, encontrou que a aplicação de 6 kg de zinco/ha reduziu a concen-

Quadro 3. Produção de grãos de milho (Cargill 111), teores de zinco no solo e na folha, em função de doses de zinco aplicadas num Latossolo Vermelho-escuro argiloso de Planaltina, DF.

Zn Aplicado kg/ha	Cultivos										
	Grãos				Zinco no solo[2]				Zinco na folha		
	1º[4]	2º[4]	3º[5]	4º[6]	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º
	kg/ha				ppm						
0	338 a[1]	2094 a	3302 a	3282 a	0,5 b	0,4 b	0,4 d	0,6 c	14 c	14 c	13 d
1	2002 b	3839 b	4480 b	4985 b	0,6 b	0,9 b	0,4 d	0,7 c	17 c	16 c	13 d
3	6098 c	5221 c	6549 c	6901 c	0,9 b	0,7 b	0,6 d	0,7 c	20 bc	16 c	14 cd
9	6815 c	5887 c	7553 c	6293 bc	1,6 b	1,3 b	1,3 b	1,5 b	23 b	19 b	18 bc
9[3]	6434 c	5330 c	6889 c	6215 bc	1,6 b	1,2 b	1,1 bc	1,3 b	24 b	19 b	21 ab
27	6219 c	5860 c	7154 c	6248 bc	4,2 a	3,4 a	3,5 a	3,2 a	36 a	24 a	24 a

[1] Em cada coluna, as médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

[2] Extrator de Mehlich 1 (HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N).

[3] Não recebeu boro.

Fontes: adaptado de:

[4] North Carolina State University (1973) e (1974).

[5] Ritchey et alii (1976).

[6] Ritchey (1978).

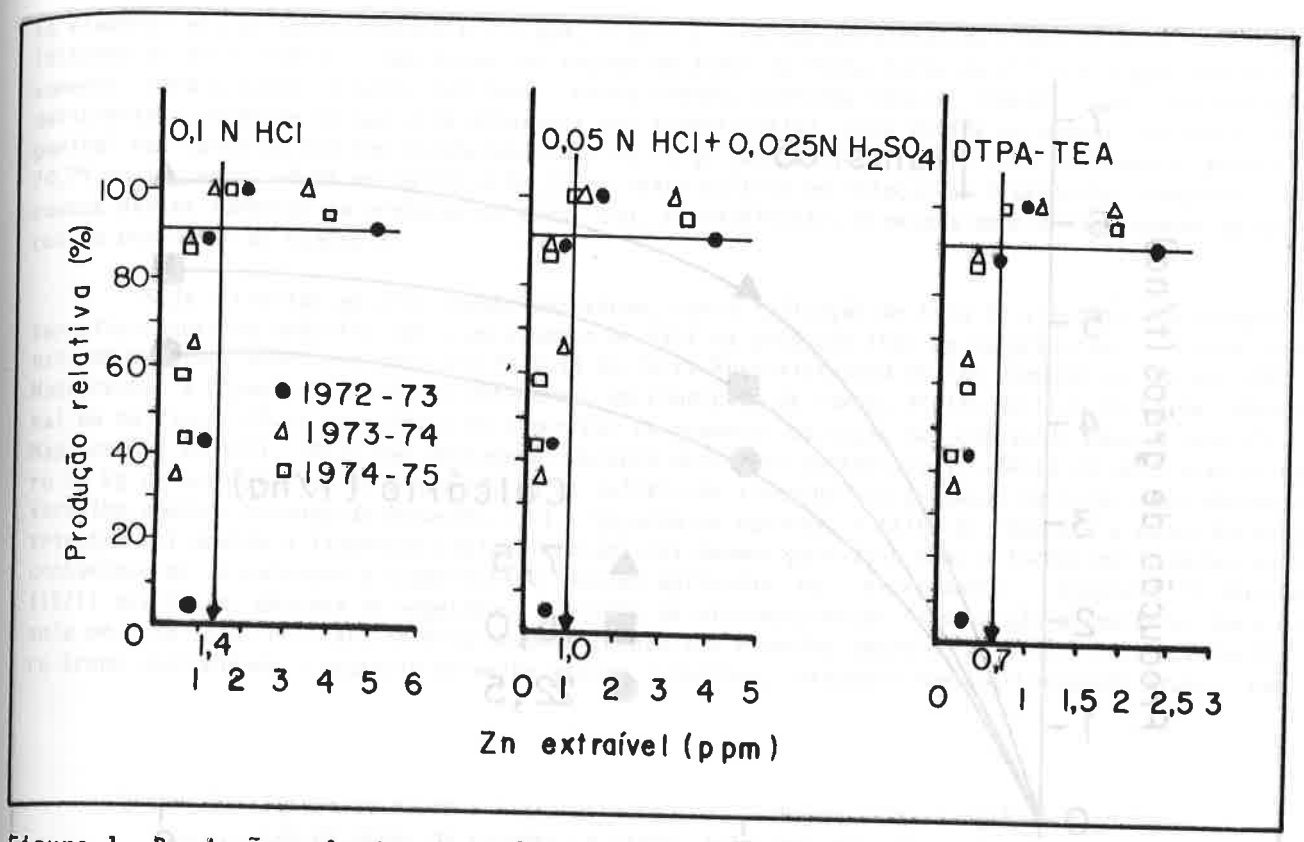


Figura 1. Produção relativa de três cultivos de milho Cargill 111 em função de níveis de zinco extraído por três métodos químicos, de um Latossolo Vermelho-escuro argiloso de Planaltina (DF). O nível de 100% corresponde à produção do tratamento que recebeu 9 kg/ha de zinco.

Fonte: adaptado de Ritchey et alii (1986).

Quadro 4. Relação entre os métodos usados na extração do zinco do Latossolo Vermelho-escuro argiloso de Planaltina, DF.

Equação	Coeficiente de correlação (r)
(DTPA-TEA) = 0,057 + 0,533 Mehlich 1	0,95**
(HCl 0,1N) = 0,241 + 1,068 Mehlich 1	0,94**
(DTPA-TEA) = 0,025 + 0,477 HCl 0,1 N	0,96**

** Significativo ao nível de 1%.
Fonte: adaptado de Ritchey et alii (1986).

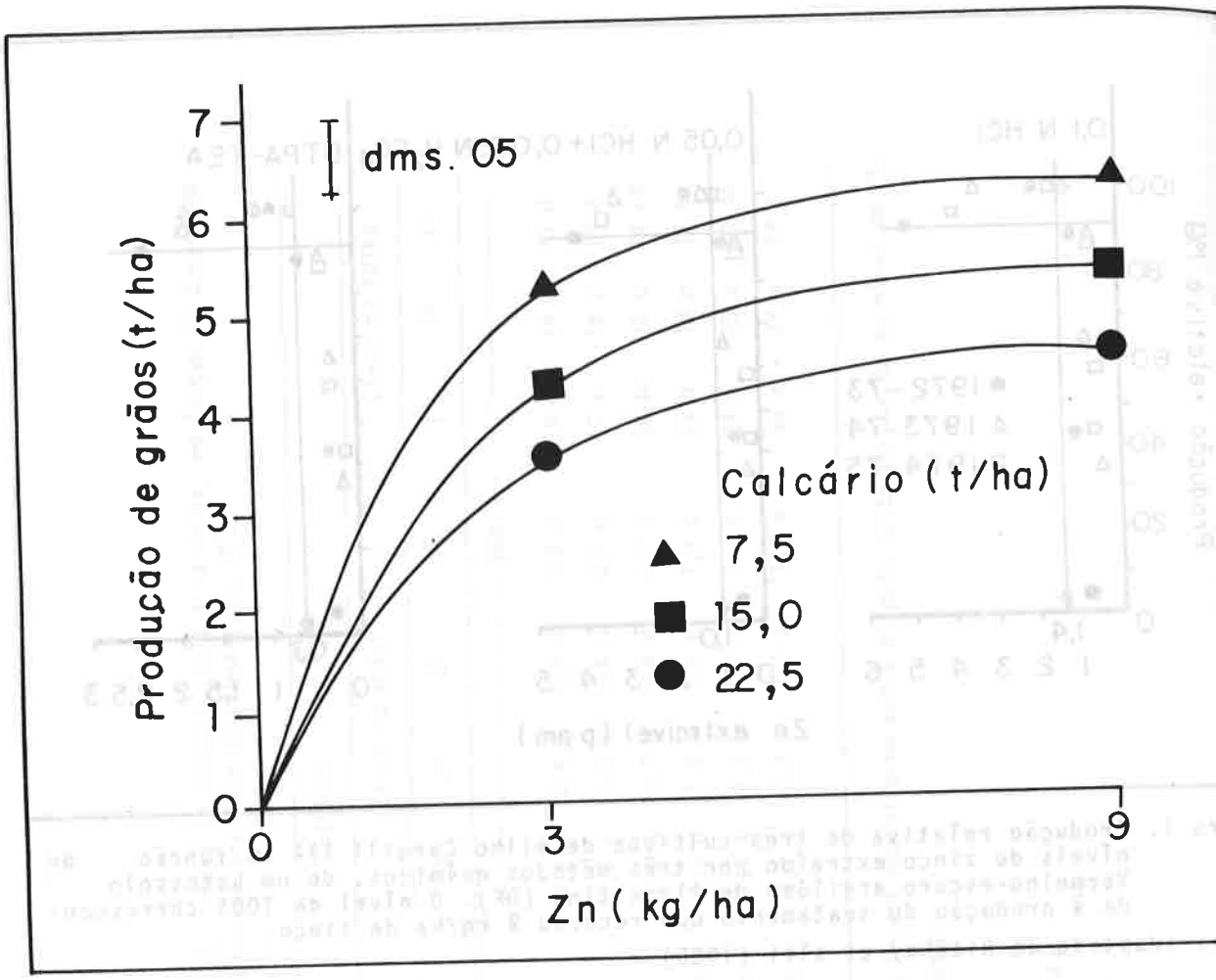


Figura 2. Efeito de doses de calcário (PRNT 100%) e de zinco na produção do mi
Cargil 111 num Latossolo Vermelho-escuro argiloso de Planaltina, DF

Fonte: adaptado de North Carolina State University (1973).

tração de ferro na folha do milho de 281 para 136 ppm. Os teores de zinco, extraídos do solo soluções extratoras, aumentaram à medida que a dose de zinco aplicada aumentou, permanecendo veis dentro dos diferentes níveis de calcário (Quadro 6). Da mesma maneira, Galrão & Mesquit lho (1981), em casa de vegetação, não encontraram diferenças significativas entre os teores d co extraídos de um Latossolo Vermelho-amarelo argiloso pelo método de Mehlich 1, de amostr solo que haviam recebido duas doses de calcário (1,0 e 2,6 t/ha). Os extratores HCl 0 Mehlich 1 extraíram mais zinco do que o DTPA-TEA (Quadro 6). Presume-se que a elevada acidez lução extratora, pH 1,0 para HCl 0,1 N e pH 1,2 para a de Mehlich 1, tenha solubilizado com de zinco não dissolvidos pelo DTPA-TEA.

No experimento iniciado por Galrão (1984) com a cultura do arroz (Quadro 2), o ter o quinto e o sexto cultivos foram com milho (Quadro 7). No quarto cultivo, foi usada como indicadora a soja, cujos dados obtidos serão comentados posteriormente, na parte específica cultura. No terceiro cultivo, o zinco foi também o único micronutriente cuja omissão p decréscimo significativo na produção de milho (Quadro 7). No quinto e sexto cultivos, não servada diferença significativa entre os tratamentos. Apesar disso, o tratamento sem zinco sentou em ambos os cultivos a menor produção, ou seja, 1.170 e 1.010 kg de grãos de milho/ha nos que o tratamento completo (Quadro 7). Essa diferença não significativa entre a produção dois tratamentos não era esperada, pois o teor de zinco do solo das parcelas que não recebe

te elemento era de aproximadamente 0,4 ppm, o qual é considerado abaixo do nível crítico de 1,0 ppm (Ritchey et alii, 1976). Além disso, os teores de zinco da folha foram de 7,7 e 9,2 ppm, respectivamente, para o quinto e sexto cultivos. Esses teores, conforme Chapman (1966), são considerados deficientes. Presume-se que esta diferença não significativa seja devida ao aumento do zinco disponível nas parcelas que não receberam zinco ao longo dos cultivos, pois, este tratamento produziu 70,7% no terceiro, 78,8% no quinto e 84,7% no sexto cultivo em relação ao tratamento "completo". As causas desses aumentos na produção de grãos são, provavelmente, as mesmas mencionadas quando da discussão dos dados do Quadro 3.

Soja - Freitas et alii (1958) obtiveram, com a aplicação de 6 kg de zinco/ha num Latossolo Vermelho-escuro de Anápolis (GO), um aumento de 141% na produção (631 kg de grãos/ha). Porém, com essa mesma dose, não houve resposta da soja em Terra Roxa-misturada de São Joaquim da Barra (SP). Mascarenhas & Miyasaka (1967) não obtiveram, em condições de campo, efeito do boro (5 kg de bórax/ha) ou do zinco (20 kg de sulfato de zinco/ha) na produção da soja, num Latossolo Roxo de Ipuã (SP). Mascarenhas et alii (1973) não obtiveram, durante dois anos consecutivos, efeito da aplicação do boro (5 kg de bórax/ha) ou do zinco (20 kg de sulfato de zinco/ha) na produção de soja, num Latossolo Vermelho-amarelo arenoso de Botucatu (SP). Segundo os autores, a falta de resposta a esses micronutrientes foi devida à liberação (solubilização) dos mesmos pelo solo e/ou o fornecimento deles como contaminantes no calcário e superfosfato simples aplicados no experimento. Goepfert & Kussow (1971) avaliaram, em casa de vegetação, o efeito de micronutrientes na produção de matéria seca da soja em oito solos do Planalto Riograndense (Podzólico Vermelho-amarelo, Latossolo Roxo, Lateritico Bruno avermelhado, Latossolo Vermelho-escuro, Litólico, Latossolo Húmico, Latossolo Bruno, Cam-

Quadro 5. Teores de macro e micronutrientes da folha do milho Cargill 111 em função de doses de calcário e zinco, aplicadas num Latossolo Vermelho-escuro argiloso de Planaltina (DF).

Zinco	Calcário[1]	pH[2] água (1:1)	Teores de macro e micronutrientes na folha do milho							
			P	K	Mg	Ca	Zn	Fe	Cu	Mn
kg/ha	t/ha		---------- % ----------				-------- ppm ------			
3	7,5	6,3	0,25	1,98	0,10	0,51	16,1	387	9	46
	15,0	7,1	0,25	1,93	0,17	0,57	12,1	665	10	46
	22,5	7,1	0,29	1,90	0,17	0,91	13,1	899	22	44
9	7,5	6,3	0,27	1,75	0,11	0,63	21,3	277	19	36
	15,0	7,1	0,21	2,28	0,11	0,62	17,1	203	11	42
	22,5	7,1	0,22	2,28	0,12	0,62	14,0	237	11	42

[1] Aplicado no final de novembro de 1972.

[2] Valores medidos em fevereiro de 1973.

Fonte: adaptado de North Carolina State University (1973).

Quadro 6. Teores de zinco determinados por três extratores nos diversc tratamentos, após a colheita do milho, num Latossolo Vermelho-escuro argiloso de Planaltina, DF.

Zinco	Calcário	Extratores		
		HCl 0,1N	Mehlich-1[1]	DTPA-PEA[2]
kg/ha	t/ha	ppm		
0	7,5	1,0	0,6	0,3
	15,0	0,8	0,4	0,2
	22,5	0,9	0,4	0,2
3	7,5	1,3	0,9	0,4
	15,0	1,5	0,8	0,5
	22,5	1,3	0,7	0,5
9	7,5	2,1	1,6	0,8
	15,0	1,8	1,5	0,7
	22,5	2,5	1,6	1,0

[1] HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N.

[2] Ácido dietileno-triamino-pentacético e trietanolamina (Lindsay & Norvell, 1969).

Fonte: adaptado de North Carolina State University (1973).

bissolo Húmico). Não foi observado aumento na produção de matéria seca devido à aplicação de (1,7 ppm) em qualquer um dos solos. No Podzólico Vermelho-amarelo, a aplicação do zinco redu produção de matéria seca, provavelmente porque este solo já possuia o elemento solubilizad quantidade elevada, pois o teor de zinco no tecido da testemunha era de 55 ppm, valor este con rado muito alto. A aplicação de boro (1,2 ppm) teve efeito apenas no Lateritico Bruno avermel ocasionando um aumento de 74%, ou seja 1,39 g de matéria seca por vaso. Martins & Braga (1977 observaram, em casa de vegetação, efeito do boro (3 kg de bórax/ha) ou do zinco (10 kg de clore zinco/ha), na produção de matéria seca da soja, em cinco latossolos representativos do Triângu neiro (em três Latossolos Vermelho-escuro, em um Latossolo Vermelho-amarelo e em um Latossolo R Ben et alii, citados por Anjos (1981), não obtiveram, durante dois anos, efeito do boro ou do z tanto na presença como na ausência da calagem, na produção da soja num Latossolo Roxo do Esta Santa Catarina. Anghinoni et alii (1976) não obtiveram resposta da soja à aplicação de zinco 10, 20, 30, 40 kg/ha) no sulco de plantio, na forma de cloreto, num Latossolo Vermelho-escurc Passo Fundo (RS).

Em trabalho conduzido em casa de vegetação, Galrão et alii (1984) identificaram defi cias nutricionais em dez solos de várzeas, representativos das principais bacias hidrográfica Região dos Cerrados. Em cinco solos, a produção de matéria seca aumentou significativamente

Quadro 7. Produção de grãos de milho (Cargill 111), teores de zinco no solo e na folha, em função da aplicação de cobalto e micronutrientes num Latossolo Vermelho-escuro argiloso de Planaltina, DF.

Tratamentos	Cultivos								
	Grãos			teores de zinco no solo[2]			teores de zinco na folha		
	3º	5º	6º	3º	5º	6º	3º	5º	6º
	-------- kg/ha --------			---------- ppm ----------					
"Completo"	6513 a[1]	5530 a	5091 a	1,0 a	0,7 a	1,0 a	15,9 ab	14,0 ab	13,0 a
Menos B	6141 a	5098 a	5031 a	1,0 a	0,7 a	1,2 a	15,8 abc	14,0 ab	11,6 ab
Menos Co	6351 a	5428 a	5162 a	1,1 a	0,9 a	1,0 a	14,0 bcd	14,0 ab	11,8 ab
Menos Cu	6991 a	5577 a	5346 a	1,0 a	0,9 a	1,1 a	13,3 cd	13,5 b	12,7 ab
Menos Fe	6714 a	4873 a	5490 a	0,9 a	0,8 a	1,0 a	15,5 abc	13,0 b	12,0 ab
Menos Mn	6649 a	5320 a	5562 a	1,0 a	0,7 a	1,0 a.	14,5 abc	13,0 b	11,3 b
Menos Mo	6606 a	5314 a	5700 a	1,0 a	0,7 a	1,0 a	17,4 a	15,3 a	12,8 ab
Menos Zn	4608 b	4360 a	4315 a	0,4 b	0,4 b	0,5 b	9,7 e	7,7 a	9,2 c
CV%	11,5	10,3	11,2	23,32	30,5	24,4	8,7	10,3	7,8

[1] Em cada coluna, as médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

[2] Extrator de Mehlich 1 (HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025 N).

Fonte: adaptado de Galrão (1984).

adição de boro (Quadro 8). O peso de nódulos só aumentou significativamente no solo B (Later Hidromórfica), o número de nódulos aumentou nos solos C e I (Laterita Hidromórfica e Areia Quart sa Hidromórfica) e, apesar de diminuir no solo A (Gley Pouco Húmico), não afetou a produção de téria seca. O zinco só teve efeito no aumento do número de nódulos do solo J (Orgânico). A inte ção entre calcário e boro (Quadro 9) teve efeito positivo no solo F (Laterita Hidromórfica) para so de nódulos, no solo I para número e peso de nódulos, e produção de matéria seca, e, no solo para peso de nódulos e matéria seca. A interação entre boro e enxofre teve efeito positivo no lo D (Orgânico) e no solo B sobre peso de nódulos e produção de matéria seca. Houve efeito po tivo da interação entre calcário e zinco no solo C sobre a produção de matéria seca e, no solo para número de nódulos. Houve efeito negativo da interação entre zinco e cobre no solo A e no s H (Aluvial) sobre a produção de matéria seca.

Quadro 8. Efeito da aplicação de boro e zinco na produção de matéria seca, número e peso seco de nódulos de soja, em solos de várzeas da Região dos Cerrados.[1]

Solo A - Gley Pouco Húmico				Solo B - Laterita Hidromórfica			
Tratº	Nódulos	Nódulos	Matéria seca	Tratº	Nódulos	Nódulos	Matéria seca
	nº/vaso	mg/vaso	g/vaso		nº/vaso	mg/vaso	g/vaso
Sem B	196	ns	5,4	Sem B	ns	83	5,7
Com B	117	ns	6,0	Com B	ns	252	6,4
SOLO I - Areia Quartzosa Hidromórfica				SOLO J - Orgânico			
Sem B	11	ns	1,2	Sem B	ns	ns	3,9
Com B	26	ns	2,7	Com B	ns	ns	4,9
				Sem Zn	54	ns	ns
SOLO C - Laterita Hidromórfica				Com Zn	76	ns	ns
Sem B	200	ns	ns	SOLO F - Laterita Hidromórfica			
Com B	250	ns	ns	Sem B	ns	ns	12,0
				Com B	ns	ns	13,0

[1] Os valores na mesma coluna, quando comparados na presença e ausência do elemento, são significativos pelo teste F ao nível de 5%.

ns = não significativo

Fonte: adaptado de Galrão et alii (1984).

O efeito de doses de boro na produção da soja é mostrado no Quadro 10. A dose da 4 k boro/ha já foi prejudicial e a de 16 kg/ha causou um decréscimo de 838 kg de grãos/ha em relaç testemunha. A redução na produção foi acompanhada de aumentos progressivos na concentração de na folha; mesmo na primeira dose de boro (4 kg/ha) os valores atingidos, segundo os autores, são siderados altos, e, na dose maior (16 kg/ha) chegou a valores excessivos. Não foi observado ef das doses de boro no peso de nódulos; as doses de zero, 8 e 16 kg/ha de boro produziram, respe vamente, 2,16, 2,36 e 2,07 g de nódulos/parcela.

Quadro 9. Efeito das interações entre o boro e o zinco com os demais nutrientes e, entre o calcário com o boro e com o zinco, na produção de matéria seca, número e peso seco de nódulos da soja, em solos de várzeas da Região dos Cerrados[1].

SOLO A
Gley Pouco Húmico

Elemento mg/l Cu	Elemento mg/l Zn	Matéria seca g/vaso
0	0	5,3
0	3	6,2
2	0	6,1
2	3	5,4
DMS (0,05)		0,3

SOLO F
Laterita Hidromórfica

Elemento mg/l Calcário B	Elemento mg/l B	Nódulo mg/vaso
0	0	533
0	0,5	444
1776	0	427
1776	0,5	778
		158

SOLO D
Orgânico

Elemento mg/l S	Elemento mg/l B	Nódulo mg/vaso	Matéria seca g/vaso
0	0	132	12,8
0	0,5	89	10,5
30	0	129	12,9
30	0,5	212	14,5
		35	1,0

SOLO I
Areia Quartzosa Hidromórfica

Elemento mg/l Calcário B	Elemento mg/l B	Nódulo nº/vaso	Nódulo mg/vaso	Matéria seca g/vaso
0	0	12	10	0,8
0	0,5	4	1	0,5
528	0	10	2	1,7
528	0,5	48	22	4,8
		9	11	0,5

SOLO H
Aluvial

Cu	Zn	
0	0	6,2
0	3	6,9
2	0	6,8
2	3	5,8
DMS (0,05)		0,3

SOLO B
Laterita Hidromórfica

Calcário B			
0	0	8	2,7
0	0,5	10	2,6
528	0	157	8,7
528	0,5	494	10,2
		44	0,5

S	B	
0	0	64
0	0,5	184
30	0	100
30	0,5	320
		44

SOLO C
Laterita Hidromórfica

Calc.	Zn	
0	0	10,4
0	3	10,3
240	0	10,8
240	3	12,0
DMS (0,05)		0,5

SOLO J
Orgânico

Calcário	Zn	
0	0	3
0	3	3
4800	0	106
4800	3	149
		15

[1] Procedência dos solos: A- Maurilândia, GO; B- Santa Vitória, MG; C- Pirapora, MG; D- Paracatu, MG; F- Formoso do Araguaia, GO; H- Alvorada, GO; I- Barreiras, BA e J- Planaltina, DF.

Fonte: adaptado de Galrão et alii (1984).

Quadro 10. Resposta da soja à aplicação de boro num Latossolo Vermelho-escuro de Passo Fundo, RS.

Boro	Grãos[1]	B-folha
---------- kg/ha	----------	--ppm--
0	3423 a	46
4	3271 a	55
8	3005 ab	73
12	3084 ab	80
16	2585 b	136

[1] As médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Fonte: adaptado de Anghinoni et alii (1976).

O efeito residual de doses de zinco na produção da soja é mostrado no Quadro 11. O zinco foi aplicado a lanço, na forma de sulfato, apenas uma única vez, isto é, por ocasião do primeiro cultivo do milho (Quadro 3). No quarto cultivo, além do milho, foi cultivado soja. Não foram observadas diferenças significativas em rendimento de grãos entre a testemunha e o tratamento que recebeu 1 kg de zinco/ha, e entre os tratamentos que receberam 3 e 9 kg de zinco/ha. A maior produção foi alcançada com a dose de 27 kg de zinco/ha.

No Quadro 12 são apresentados os resultados de um experimento conduzido com soja (4º cultivo), cujo objetivo foi avaliar o efeito residual da aplicação de cobalto e micronutrientes, feita por ocasião do primeiro cultivo do arroz (Quadro 2). O zinco foi o único micronutriente cuja omissão provocou decréscimo significativo na produção, em relação ao tratamento "completo". Tal decréscimo foi de 212 kg de grãos/ha. Conforme Ritchey et alii (1976), o nível crítico de zinco neste solo, para uma planta sensível como o milho, é de 1,0 ppm (Mehlich 1). Assim sendo, era esperado que ocorresse uma resposta ao zinco, visto que o teor médio desse elemento na parcela que não recebeu zinco é de 0,5 ppm (Quadro 12). Além disso, o teor de zinco na folha das plantas dessa parcela estava abaixo da concentração normal, de acordo com Chapman (1966).

Feijão - Ruschel et alii (1966) avaliaram em casa de vegetação, durante dois anos consecutivos, o efeito do magnésio, do boro e do molibdênio na fixação do nitrogênio atmosférico pelo feijoeiro, num solo Podzólico Vermelho-amarelo de Itaguaí (RS). No primeiro ano, a aplicação conjunta de boro e de molibdênio aumentou o peso seco de plantas. A aplicação apenas do boro afetou o peso seco de plantas. Segundo estes autores, isto ocorreu porque a quantidade de calcário usada, foi insuficiente para fornecer ao solo quantidades de cálcio para manter a relação Ca/B na planta adequada ao desenvolvimento. O número de nódulos, no entanto, aumentou significativamente com a aplicação do boro. De acordo com os autores, isto confirma resultados de outros trabalhos, ou seja, de que o processo de formação de nódulos necessita mais boro do que a própria planta. No segundo ano, foi aumentada a dose de calcário e, por causa disto, foi observada deficiência de boro e, conseqüentemente, a sua adição aumentou não só a nodulação e a fixação do nitrogênio, como também o peso seco de plantas. Ruschel et alii (1970) avaliaram, num Gley Hidromórfico de Itaguaí (RJ), o efeito de boro em diferentes revestimentos de sementes de feijão. O boro não teve efeito direto na nodulação, mas aumentou significativamente o nitrogênio total, o desenvolvimento da planta na época da floração e a produção de grãos.

Quadro 11. Efeito residual de doses de zinco na produção da soja (IAC-2) num Latossolo Vermelho-escuro argiloso de Planaltina, DF[1].

zinco aplicado	produção de grãos
kg/ha	
0	1083 a
1	1569 ab
3	2126 bc
9	2596 cd
9[2]	2624 cd
27	2813 d

[1] As médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

[2] Não recebeu boro.

Fonte: adaptado de Ritchey (1978).

Suhet & Neptune (1979) avaliaram, em casa de vegetação, o efeito do zinco e do ferro na produção de matéria seca, na composição química e na fixação do nitrogênio atmosférico pelo feijoeiro, em dois solos do Estado de São Paulo (Terra Roxa estruturada e Latossolo Vermelho-escuro) e num solo do Estado do Rio de Janeiro (Podzólico Vermelho-amarelo). O zinco, quando aplicado isoladamente ou em conjunto com o ferro, não influenciou na produção da parte aérea e da raiz, no número e peso médio de nódulos e na fixação do nitrogênio atmosférico. Com relação à composição química, o zinco, quando aplicado isoladamente, aumentou a sua concentração e a do nitrogênio, na parte aérea e na raiz. A adição conjunta do zinco e ferro aumentou a concentração deste último na parte aérea.

O efeito da aplicação de micronutrientes na produção do feijoeiro é mostrado no Quadro 13. A maior produção foi obtida pelo tratamento que recebeu zinco (50 kg de sulfato de zinco/ha) e cobalto (0,5 kg de sulfato de cobalto/ha), com 299 kg de grãos/ha a mais do que a testemunha. Esse tratamento não diferiu significativamente daquele que recebeu apenas zinco, mas sim do tratamento que recebeu apenas cobalto. Isto mostra a carência de zinco no solo em questão. A aplicação apenas do molibdênio reduziu o número de vagens por planta. Não houve efeito dos tratamentos no número de grãos por vagem.

A Figura 3 mostra a resposta do feijoeijo à aplicação de boro no sulco de plantio, na forma de bórax. A maior dose (0,69 kg de boro/ha) aumentou a produção de grãos em relação à testemunha em aproximadamente 25% (368 kg de grãos/ha).

Algodão - Mendes et alii (1960) não obtiveram, em casa de vegetação, efeito da aplicação do zinco sobre a altura de plantas, diâmetro do colo, produção em caroço por planta e por capulho do algodoeiro, em Terra-Roxa misturada de Campinas, SP. Apesar disso, o teor de zinco da folha aumentou em média 91,9 ppm em relação à testemunha. McClung et alii (1961) conduziram, em seis locais de solos de cerrado da região de Barretos - Orlândia, SP, vinte e dois experimentos. Em apenas dois locais houve resposta em produção do algodoeiro à aplicação de 2,2 kg de boro, na forma de bórax, no sulco de plantio. Em um dos locais, o aumento foi de 79,7%, (1.088 kg de algodão em caroço

Quadro 12. Produção de grãos de soja, teores de zinco no solo e na folha, em função da aplicação de cobalto e micronutrientes num Latossolo Vermelho-escuro argiloso de Planaltina, DF[1].

Tratamentos	produção de grãos	Teores de zinco no solo[2]	Teores de zinco na folha
	--kg/ha--	-------- ppm	-------
"Completo"	1956 a	0,9 a	30,4 a
Menos B	2092 a	0,9 a	30,0 a
Menos Co	2075 a	0,9 a	28,6 a
Menos Cu	2154 a	1,0 a	30,0 a
Menos Fe	2025 a	1,0 a	26,8 a
Menos Mn	2149 a	0,9 a	29,6 a
Menos Mo	2065 a	0,9 a	30,0 a
Menos Zn	1744 b	0,5 b	15,7 b
CV %	8,07	15,90	9,2 a

[1] Em cada coluna, as médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

[2] Extrator de Mehlich 1 (HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N).

Fonte: adaptado de Galrão (1984).

/ha), e no outro de 99,1% (1.157 kg de algodão em caroço/ha). Não houve resposta ao zinco de sulfato de zinco/ha) em nenhum dos locais.

No Quadro 14 é mostrado o efeito de doses de boro na produção do algodoeiro. As do boro foram aplicadas na forma de bórax, no sulco de plantio, apenas por ocasião do primeiro vo. Considerando-se apenas as doses comuns aos três cultivos (0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 kg de bo os acréscimos médios de produção dessas doses em relação à testemunha foram, respectivamen 613, 298 e 923 kg de algodão em caroço/ha para o primeiro, segundo e terceiro cultivos. Já médias dos três cultivos, o aumento médio na produção devido à aplicação de boro foi de 607 algodão em caroço/ha. A menor dose usada (0,5 kg de boro/ha) foi suficiente para manter bo duções por pelo menos três colheitas consecutivas. Além da produção, a aplicação de boro tou o peso médio do capulho e a precocidade da colheita; por outro lado, a maturidade da fi trou-se prejudicada com a sua aplicação. Dentre os sintomas de deficiência de boro, obser deformações na flor, atraso no ciclo das plantas, engrossamento e rachaduras no caule, sup mento e anéis concêntricos no pecíolo e no caule.

Café - Silva et alii (1975) obtiveram aumento de 131% (1.093 kg de café beneficiad cafezal instalado num Latossolo Vermelho-escuro orto distrófico, do município de Nepomucen com pulverizações de sulfato de zinco (6 g/cova/ano). As pulverizações com ácido bórico (3 ano) não tiveram efeito significativo na produção. Paulini et alii (1975) não obtiveram mos significativos na produção de um cafezal em formação, com pulverizações de sulfato

Quadro 13. Resposta do feijoeiro à aplicação de micronutrientes num Latossolo Vermelho-escuro argiloso de Selvíria, MS[1].

Tratamentos	Grãos	Número de	
		Vagens por planta	Grãos por vagem
	kg/ha		
Testemunha (NPK)	1638 bc	8,54 ab	4,24 a
NPK + Zn + Mo + Co	1470 c	8,76 a	4,03 a
NPK + Zn + Mo	1562 bc	7,52 bc	4,15 a
NPK + Zn + Co	1937 a	8,30 ab	4,07 a
NPK + Mo + Co	1648 bc	9,20 a	4,03 a
NPK + Zn	1731 ab	8,80 a	4,38 a
NPK + Mo	1723 b	7,08 c	4,52 a
NPK + Co	1569 bc	8,64 ab	4,06 a
NPK + FTE BR-9	1724 b	8,72 a	4,17 a
DMS (5%)	206,5	1,18	-
CV%	5,90	6,72	7,92

[1] Em cada coluna, as médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si ao nível de 5%.

Fonte: adaptado de Buzetti et alii (1982).

(12,5%), num Latossolo Vermelho-amarelo do município de Pancas, ES. Oliveira et alii (1981) também não obtiveram aumentos na produção de um cafezal de oito anos com pulverizações de sulfato de zinco a 0,5% (1 g de zinco/planta), num Latossolo Vermelho-amarelo arenoso do município de Jaú, SP.

Correa et alii (1985) avaliaram, em vasos, o efeito de doses de boro (zero, 0,5, 1,0, 2,0, 4,0 e 8,0 ppm) na produção de matéria seca de plantas de café, em dois latossolos do Estado do Paraná. No Latossolo Roxo distrófico a maior produção de matéria seca foi a da dose de 1 ppm de boro (23,6 g/planta) e a menor a da testemunha (18,7 g/planta). O teor de boro na folha variou desde 52 ppm (testemunha) até 253 ppm, correspondente à maior dose (8 ppm). No Latossolo Vermelho-escuro distrófico arenoso a maior produção de matéria seca foi a da dose de 2 ppm de boro (21,5 g/planta) e a menor a da testemunha (11,4 g/planta). O teor de boro na folha variou desde 60 ppm (testemunha) até 243 ppm, correspondente à maior dose (8 ppm).

O efeito de doses de zinco aplicadas por via foliar na produção do cafeeiro é mostrado no Quadro 15. Os únicos tratamentos que diferenciaram significativamente da testemunha foram os com aplicação de 2 e 6 g de Zn/cova/ano, com acréscimos na produção de 391 e 404 kg de café beneficiado/ha, respectivamente. O tratamento 3, embora não diferisse significativamente da testemunha, apresentou um acréscimo na produção de 330 kg de café beneficiado/ha.

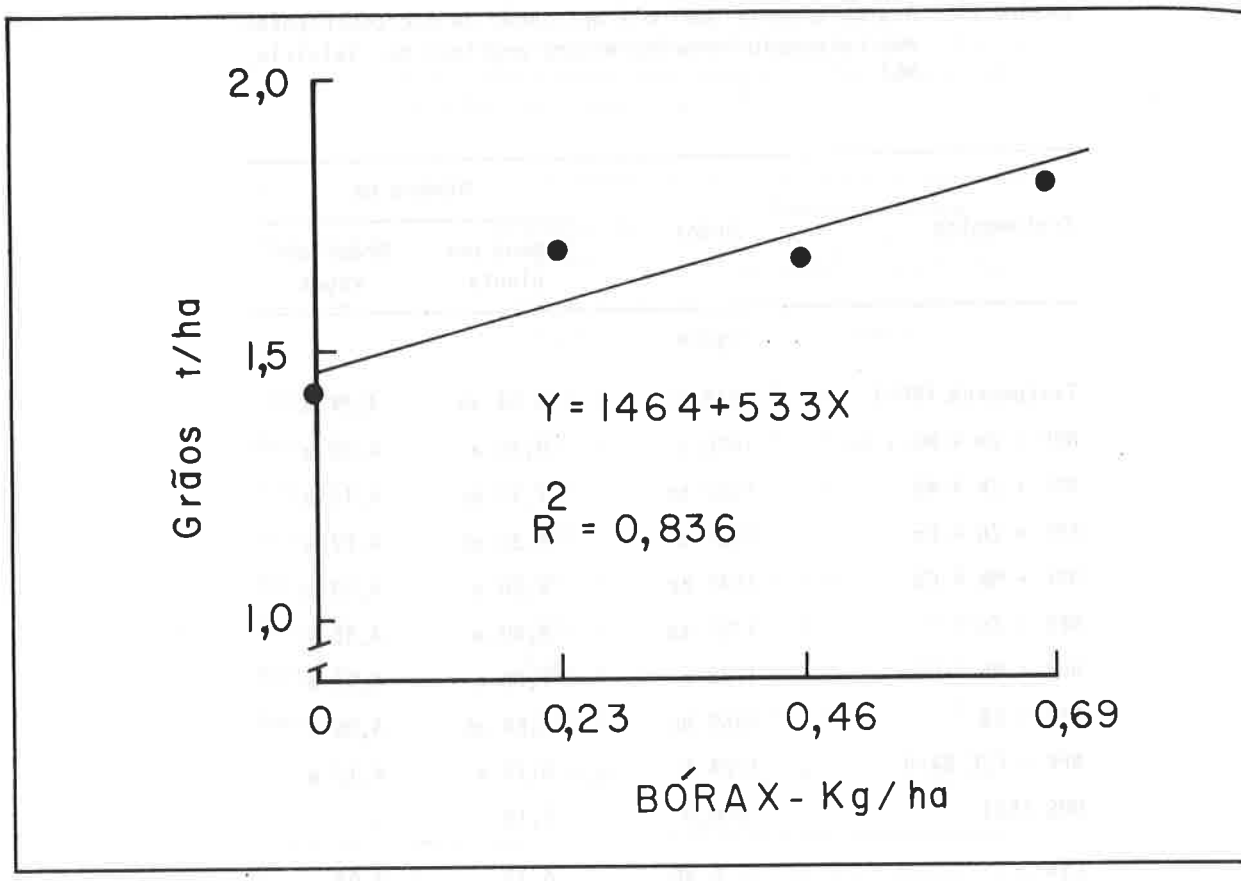


Figura 3. Resposta do feijoeiro à aplicação de boro num Podzólico Vermelho-amar Câmbico da Zona da Mata (MG).

Fonte: adaptado de Braga (1972).

Küpper et alii (1981) avaliaram o efeito da aplicação de zinco (0, 5, 10, 20 e 40 g de sulfa zinco/cova) na produção do cafeeiro, num Latossolo Vermelho-escuro de Patrocínio, MG. As dose 5, 10 e 20 g/cova produziram, respectivamente 21,1, 17,6 e 17,4 sacas/ha e não diferiram sign cativamente entre si. O aumento médio de produção dessas doses em relação à testemunha (11,0 cas/ha) foi de 7,7 sacas/ha. A maior dose (40 g/cova) mostrou-se prejudicial ao cafeeiro, mas a dução obtida (10,2 sacas/ha) não diferiu significativamente da testemunha. Foi incluído um tratam que recebeu quatro pulverizações anuais com sulfato de zinco a 0,6%. A sua produção (19,4 sa ha) não diferiu significativamente das produções dos tratamentos que receberam 5, 10 e 20 g de fato de zinco/cova.

Santo et alii (1985) avaliaram, num Latossolo Vermelho-amarelo de Capelinha, MG, o ef do zinco (0, 5, 10, 20 e 40 g de sulfato/cóva) na produção do cafeeiro. Houve um tratamento qu cebeu pulverizações com sulfato de zinco (0,6%) três vezes ao ano. Na primeira colheita, apen tratamento que recebeu 40 g de sulfato de zinco/cova não diferiu significativamente da testemu Os demais tratamentos não diferiram entre si e apresentaram um aumento médio em relação à tes nha (1.380 kg de café da roça/ha) de 2.297 kg/ha. Na segunda colheita, a testemunha diferiu s ficativamente dos demais tratamentos. Estes, por sua vez, não diferiram entre si, e apresen um aumento médio em relação à testemunha (3.714 kg de café da roça/ha) de 2.952 kg/ha. Na ter colheita, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Considerando-se as produções muladas das três colheitas, o único tratamento que não diferiu significativamente da testemunh o que recebeu 5 g de sulfato de zinco/cova. Os demais tratamentos não diferiram entre si e sentaram um aumento médio em relação à testemunha (8.857 kg de café da roça/ha) de 5.224 kg/ha

Quadro 14. Produção de algodão em caroço em função de doses de boro aplicadas num Latossolo Vermelho-amarelo arenoso de Leme, SP[1].

Boro aplicado	Cultivos 1º	2º	3º	Média
	kg/ha			
0,0	2208 a	1999 a	2497 a	2235 a
0,5	2736 ab	2383 a	3381 b	2833 b
0,75[2]		2320 a	3333 b	2827 b
1,0	2952 b	2268 a	3515 b	2917 b
1,25[2]		2217 a	3435 b	2826 b
1,50	2789 ab	2341 a	3515 b	2882 b
2,00	2805 ab	2196 a	3268 b	2756 b
CV%	12,0	13,9	11,0	14,0

[1] Em cada coluna, as médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

[2] Aplicado só no 2º cultivo.

Fonte: adaptado de Silva et alii (1982).

outro experimento, não se obteve resposta do cafeeiro à aplicação de bórax, tanto no solo (0, 2,5, 5, 10 e 20 g/cova) como por via foliar através de pulverizações com ácido bórico (0,3%), três vezes ao ano (Santo et alii, 1985).

Sorgo - Os dados do Quadro 16 mostram o efeito residual de doses de zinco na produção de sorgo. O zinco foi aplicado a lanço na forma de sulfato, apenas uma única vez, isto é, por ocasião do primeiro cultivo de milho (Quadro 3). No terceiro cultivo, além do milho, foi cultivado sorgo. O maior incremento de produção (1.125 kg de grãos/ha) foi alcançado até a dose de 1 kg de zinco/ha, a qual, não diferiu das demais. Tal incremento não foi tão pronunciado como no primeiro cultivo de milho (Quadro 3). Presume-se que isto tenha ocorrido devido à maior eficiência desta espécie em extrair zinco do solo ou à sua menor exigência neste elemento.

Alvarez et alii (1978) avaliaram em casa de vegetação, num Latossolo Vermelho-amarelo de Itamaranduba, MG, o efeito da calagem e de micronutrientes na produção de matéria seca da parte aérea do sorgo. Os efeitos de cada elemento e de suas interações de primeira ordem só foram observados na presença da calagem. Assim, a aplicação do zinco (10 kg de cloreto de zinco/ha) aumentou a produção de matéria seca. O boro (10 kg de ácido bórico/ha), ao contrário, teve efeito negativo. Houve interação positiva entre o zinco e o cobre, e, entre o zinco e o molibdênio na produção de matéria seca.

Quadro 15. Efeito do zinco aplicado via foliar, na produção do cafeeiro, cultivado num Latossolo Vermelho-escuro de Nepomuceno, MG[1].

Número de Tratamentos	Sulfato de zinco	Número de pulverizações	Café beneficiado (média de 2 colheitas)
	g/cova/ano		-------- kg/ha--------
01	1	1	1009 c
02	2	1	1454 a
03	4	2	1373 ab
04	6	2	1467 a
05	8	2	1195 abc
06	10	3	1261 abc
07	12	3	1212 abc
08	14	4	1040 bc
09	16	4	1130 abc
10	18	5	1168 abc
11 Testemunha	0	0	1063 bc

[1]As médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: adaptado de Silva & Almeida (1975).

Mandioca - O efeito da aplicação de micronutrientes na produção da mandioca é mostra Quadro 17. Apenas o zinco (4 kg/ha), aplicado na forma de óxido, teve efeito significativo em lação ao tratamento "completo". A sua omissão causou um decréscimo de 7.171 kg de raízes/ha, 2.303 kg de amido/ha e 2.425 kg da parte aérea (hastes e folhas)/ha.

Trigo - Coqueiro & Andrade (1974) avaliaram, durante quatro anos, o efeito de micron tes na produção do trigo num solo Aluvial de Sete Lagoas, MG. A aplicação de boro (10 kg de ha) no sulco de plantio aumentou a produção em 9,8% (180 kg de grãos/ha). Houve interação tiva entre o zinco e o manganês. Assim, a aplicação conjunta desses elementos produziu 1.856 grãos/ha, enquanto que a aplicação isolada de zinco (20 kg de sulfato de zinco/ha) produziu kg de grãos/ha e a aplicação isolada de manganês (20 kg de sulfato de manganês/ha) 2.059 grãos/ha. Em trabalho conduzido em casa de vegetação, não se obteve resposta na produção de m seca do trigo a aplicação de boro (0,6 ppm) ou de zinco (3 ppm) num Latossolo Vermelho-escuro loso (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1979).

O efeito de micronutrientes na esterilidade masculina do trigo (chochamento) e na pr de grãos é mostrado no Quatro 18. O efeito do boro (1,3 kg/ha), embora estatisticamente não ficativo, pode ser constatado através da comparação entre o tratamento "completo" e o "com sem boro. A sua omissão aumentou a esterilidade masculina em 15,7% e causou um decréscimo na dução de grãos de 193 kg/ha. Comparando-se o tratamento completo com a testemunha, verifica-

Quadro 16. Efeito residual de doses de zinco, na produção do sorgo (RS 610) num Latossolo Vermelho-escuro argiloso de Planaltina, DF[1].

zinco aplicado	produção de grãos
kg/ha	
0	5546 a
1	6671 b
3	6913 b
9	6221 ab
9[2]	6188 ab
27	6477 ab

[1] As médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

[2] Não recebeu boro.

Fonte: adaptado de Ritchey et alii (1976).

Quadro 17. Resposta da mandioca à aplicação de micronutrientes num Latossolo Vermelho-escuro argiloso de Planaltina, DF[1].

Tratamentos	Raízes	Amido	Parte aérea (folhas e hastes)
	kg/ha		
"Completo"	19646 a	6078 a	8081 a
Menos B	17247 ab	5331 ab	7247 abc
Menos Cu	17487 ab	5289 ab	7386 ab
Menos Mn	16768 abc	5150 abc	6919 abcd
Menos Mo	15992 abc	4878 abcd	6641 abcd
Menos Zn	12475 bc	3784 bcd	5656 bcd
CV%	20,5	20,7	19,8

[1] Em cada coluna, as médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Fonte: adaptado de Perim et alii (1980).

Quadro 18. Efeito da aplicação de micronutrientes, na produção de grãos e na esterilidade masculina do trigo em Latossolo Vermelho-amarelo do Distrito Federal[1].

Tratamentos	Produção de grãos	Esterilidade masculina
	-kg/ha-	----- % ----
Testemunha (sem micronutrientes)	1048 c	34,95 bcd
Completo (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn)	1845 a	3,65 a
Completo sem B	1652 ab	19,33 a
Apenas zinco	924 c	39,10 cd

[1]Em cada coluna, as médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Fonte: adaptado de Silva & Andrade (1983).

a aplicaçao conjunta de todos os micronutrientes, na forma de FTE BR 12, reduziu a esterilidade m culina em 89,6% e causou um aumento na produção de grãos de 76% (800 kg de grãos/ha). A aplica de zinco (12,15 kg de sulfato de zinco/ha) não teve efeito nem no chochamento e nem na produç Silva & Andrade (1982) obtiveram com a aplicação de boro, na forma de bórax, redução na esterili de masculina do trigo de 16,34% num solo de várzea de Prudente de Moraes, MG.

Cana-de-açúcar - Espironelo et alii (1976) avaliaram, em seis solos do município de Pi cicaba, SP, o efeito de doses de boro (0, 10, 20, 30 e 40 kg de bórax/ha) e de zinco (0, 10 e 20 de sulfato de zinco/ha) na produção de cana-de-açúcar. Não houve efeito do boro ou do zinco na dução de cana nem no teor do açucar provável. Segundo os autores, a falta de resposta ao b foi devido aos solos serem bem supridos nesse elemento, pois a análise foliar revelou teores boro bem acima dos níveis críticos citados em literatura. Não foi observado efeito das doses de ro sobre o teor na folha, em nenhum dos solos estudados. Em vinte e três experimentos, conduzi em diferentes tipos de solo (Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-amarelo, Latossolo Vermelho-escu Podzólico) da região canavieira do Estado de São Paulo, Alvarez et alii (1979) não encontraram posta da cana-de-açúcar à aplicação de boro (10 kg de bórax/ha) ou de zinco (20 kg de sulfato zinco/ha).

Hortaliças - Leite (1970) avaliou, num solo de várzea do vale do Paraíba, SP, o efeito doses de boro (0, 10, 20, 30 e 40 kg de bórax/ha) e do modo de aplicação (sulco, cobertura e pul rização) na produção de tubérculos de batata. As doses de 10 e 20 kg de bórax/ha, quando aplica no sulco, apresentaram os maiores acréscimos na produção em relação à testemunha (14,96 t/ha). acréscimos foram de 2,48 e 3,01 t de tubérculos/ha, para 10 e 20 kg de bórax/ha respectivamente. rém, quando o boro foi aplicado na forma de pulverizações, os acréscimos na produção foram menor mas satisfatórios, ao contrário da aplicação em cobertura, que foi ineficiente. As doses de 30 40 kg de bórax/ha, quando aplicadas no sulco ou em pulverizações foram tóxicas; entretanto, qu aplicadas em cobertura aumentaram a produção de tubérculos em 2,72 e 2,39 t/ha em relação à te munha. Gargantini et alii (1970) avaliaram os efeitos do ferro, do cobre, do manganês, do zi do molibdênio e do boro na produção de tubérculos de batata, em dois solos de várzea do Vale do raíba, SP. Apenas a aplicação de boro (20 kg de bórax/ha) teve efeito significativo no aumento produção e na melhoria do tubérculo tipo comercial. Em um dos experimentos, o tratamento que r beu todos os micronutrientes (completo) produziu 18,32 t de tubérculos/ha e o "completo" sem 13,44 t/ha. No outro experimento, o tratamento "completo" produziu 24,83 t de tubérculos/ha

"completo" sem boro 15,32 t/ha. Mesquita Filho & Oliveira (1984) avaliaram em casa de vegetação, num solo Gley Húmico do Distrito Federal, o efeito de doses de bórax (0, 5, 10, 20, 40 e 100 kg/ha) na produção de matéria seca da parte aérea (hastes e folhas) da batata. Houve aumento na produção até a dose de 40 kg de bórax/ha (19,2 g/vaso), produzindo quatro vezes mais do que o rendimento da matéria seca da testemunha (4,8 g/vaso). Os teores de boro no solo variaram desde 0,9 ppm (testemunha) até 2,4 ppm (100 kg de bórax/ha) e os da folha desde 21 ppm (testemunha) até 54 ppm (100 kg de bórax/ha).

O efeito de micronutrientes na produção da batata é mostrado no Quadro 19. O boro foi o único micronutriente cuja a aplicação (20 kg de bórax/ha) causou um aumento significativo em relação à testemunha. Tal aumento foi de 7,5 e 10,0 t de tubérculos/ha para o experimento 1 e 2, respectivamente. O tratamento que recebeu boro, apresentou um aumento médio na concentração deste elemento na folha em relação aos demais, de 13,0 e 17,5 ppm respectivamente, no experimento 1 e 2.

O Quadro 20 mostra o efeito da aplicação de boro ao solo e por via foliar na produção e qualidade dos frutos do tomateiro. A aplicação por via foliar não influenciou na produção, enquanto que a aplicação no solo aumentou a porcentagem dos frutos tipo "Extra A".

O efeito do magnésio e de micronutrientes na produção da alface é mostrado no Quadro 21. Apenas a testemunha e os tratamentos nos quais se omitiu zinco ou molibdênio apresentaram decréscimos significativos em relação ao tratamento "completo", para os parâmetros avaliados.

A resposta da produção comercial de cabeças de repolho à doses de bórax é mostrada na Figura 4. A produção máxima (100%) estimada foi de 44,5 t/ha, obtida com a dose de 71,8 kg de bórax /ha. A dose de 50 kg de bórax/ha foi suficiente para atingir 97% (43,2 t/ha) da produção máxima e produzir 10,6 t/ha a mais do que a testemunha. A aplicação da dose mais alta de bórax (100 kg/ha) não provocou efeito fitotóxico.

Quadro 19. Efeito do boro na produção e na concentração deste elemento na folha da batata cultivada em solo orgânico do Vale do Paraíba, SP[1].

Tratamentos	Experimento 1		Experimento 2	
	Tubérculo	B(folha)	Tubérculo	B(folha)
	-- t/ha --	-- ppm--	---t/ha---	-- ppm--
NPK	14,8 a	28 a	6,4 a	14 a
NPK + B	22,3 b	40 b	16,4 b	23 b
NPK + Zn	14,1 a	29 a	7,0 a	15 a
NPK + Cu	14,5 a	20 a	6,2 a	16 a
NPK + Mo	13,0 a	28 a	5,7 a	15 a
NPK + Fe	15,2 a	29 a	5,0 a	17 a
NPK + Mn	12,1 a	30 a	7,3 a	16 a
CV%	10,7	10,8	15,6	17,6

[1] Em cada coluna, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Fonte: adaptado de Hiroce et alii (1971).

Quadro 20. Efeito da aplicação do boro sobre a porcentagem de frutos de tomate tipo "Extra A" produzidos em Latossolo Vermelho-escuro argiloso do Distrito Federal[1].

Pulverização com bórax	Níveis de bórax no solo (kg/ha) 0	20	40	Média
(%)	--------- %	----------		
0,0	26,65	26,43	31,87	28,32 A
0,25	23,27	25,88	30,69	26,61 A
Média	24,96 a	26,16 ab	31,68 b	CV%23,89

[1] As médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Fonte: adaptado de Magalhães et ali (1981).

Quadro 21. Efeito do magnésio e de micronutrientes na produção da alface num Latossolo Vermelho-escuro do Distrito Federal[1].

Tratamentos	Quantidades de cabeças comerciais	Produção comercial de cabeça	Produção total de cabeça	Peso médio de cabeça comercial
	cabeça/m²	--------- g/m²	---------	--- g----
"Completo"	15,4 a	4070 a	4160 a	264,2 a
Menos Mg	15,2 a	3975 a	4075 a	261,5 a
Menos B	14,6 a	3830 a	3970 a	262,3 a
Menos Zn	12,3 b	2780 b	3095 b	226,0 b
Menos Mo	13,0 b	2806 b	3110 b	215,8 b
Testemunha	12,5 b	2520 b	2845 c	201,6 c

[1] Em cada coluna, as médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Fonte: adaptado de Fontes et alii (1982).

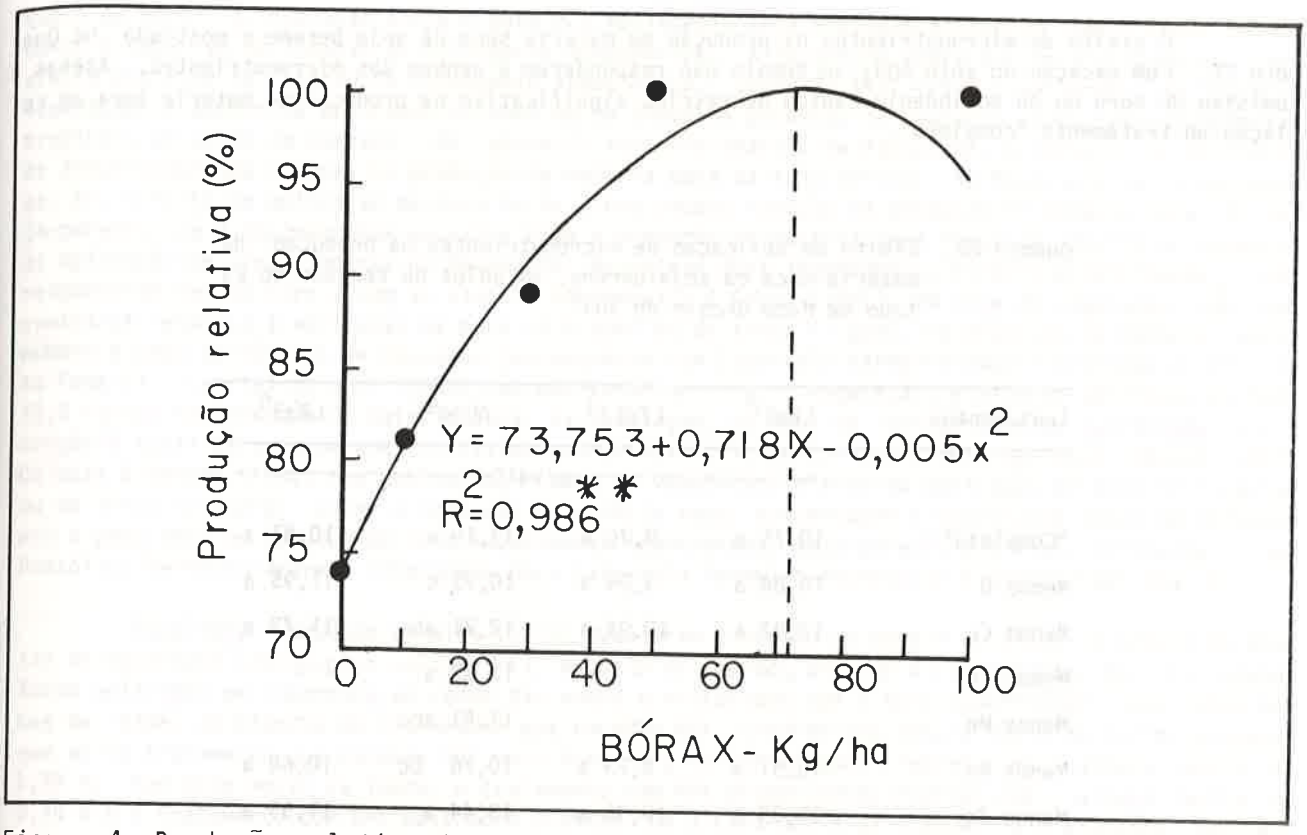


Figura 4. Produção relativa de cabeças de repolho à aplicação de bórax num Latossolo Vermelho-amarelo do Distrito Federal. O nível de 100 % corresponde à 44,5 t/ha de cabeças comerciais.

Fonte: adaptado de Alvarez et alii (1985).

Forrageiras - Britto et alii (1971a), em condições de campo, não encontraram efeito da aplicação de boro (10 kg de bórax/ha) ou de zinco (20 kg de sulfato de zinco/ha) na produção de massa verde da soja perene, num Latossolo Vermelho-escuro do Distrito Federal. França et alii (1973) avaliaram, em casa de vegetação, o efeito da calagem e de alguns micronutrientes no desenvolvimento e fixação simbiótica do nitrogênio pela soja perene, var. Tinaroo, num Latossolo Vermelho-escuro de Sete Lagoas, MG. Na presença da calagem, a aplicação de boro (3,5 kg de ácido bórico/ha), aumentou a produção de matéria seca, nitrogênio total e peso de nódulos; e diminuiu os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio da parte aérea. A diminuição dos teores desses elementos, foi, segundo os autores, ocasionada provavelmente por um efeito de diluição, devido ao aumento de matéria seca pela aplicação do boro. Na presença principalmente da calagem, a aplicação do zinco (10 kg de sulfato de zinco/ha) ocasionou aumento na produção de matéria seca, no teor de nitrogênio total, no peso de nódulos e diminuição nos teores de fósforo, potássio e magnésio da parte aérea. Werner & Mattos (1974) avaliaram o efeito da aplicação de boro (0,5 kg/ha) ou de zinco (2 kg/ha) na produção de matéria seca, número e peso de nódulos da soja perene, num Latossolo Vermelho-escuro-orto de Nova Odessa, SP. O boro causou aumento significativo na produção de matéria seca da parte aérea (6,2%) e da planta inteira (parte aérea e raízes) (5,7%), bem como no número (15,9%) e peso de nódulos (11,9%), não chegando a ser estatisticamente significativos os aumentos no peso das raízes. Não houve efeito significativo do boro na porcentagem de nitrogênio da parte aérea e das raízes como também no nitrogênio total (parte aérea, raízes e planta inteira). O zinco não teve efeito algum sobre as variáveis determinadas.

O efeito de micronutrientes na produção de matéria seca da soja perene é mostrado dro 22. Com exceção do solo AQd_4, os demais não responderam a nenhum dos micronutrientes. A omissão do boro ou do molibdênio causou decréscimo significativo na produção de matéria seca lação ao tratamento "completo".

Quadro 22. Efeito da aplicação de micronutrientes na produção de matéria seca da soja-perene, em solos de cerrado do Estado de Mato Grosso do Sul[1].

Tratamentos	LEal[2]	LEdl3[3]	AQd4[4]	LRa3[5]
	----------g/vaso----------			
"Completo"	10,75 a	9,70 a	12,19 a	10,87 a
Menos B	10,84 a	9,99 a	10,23 c	11,95 a
Menos Cu	12,92 a	10,24 a	12,71 ab	11,73 a
Menos Fe	-	-	12,82 a	-
Menos Mn	-	-	11,81 abc	-
Menos Mo	10,51 a	9,73 a	10,76 bc	10,68 a
Menos Zn	11,33 a	10,35 a	13,44 a	11,95 a
CV%	15,78	11,09	10,21	15,79

[1]Em cada coluna, as médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

[2]Latossolo Vermelho-escuro álico fase cerradão.

[3]Latossolo Vermelho-escuro distrófico fase cerrado.

[4]Areia Quartzosa distrófica.

[5]Latossolo Roxo álico fase cerradão.

Fonte: adaptado de Casagrande et alii (1982).

Soares & Vargas (1974) avaliaram, em vasos, o efeito do boro na produção de matéri de duas leguminosas tropicais em três solos do Distrito Federal (Latossolo Vermelho-amarelo média, Latossolo Vermelho-amarelo argiloso, Latossolo Vermelho-escuro argiloso). O boro (ácido bórico) não teve efeito para o *Stylosanthes gracilis* em nenhum dos solos, mas provoco to na produção de matéria seca e proteínas na centrosema apenas no Latossolo Vermelho-escur loso. Werner (1975) avaliou em vaso, o efeito da aplicação do boro ou do zinco na produção téria seca, número e peso de nódulos de centrosema num Latossolo Vermelho-escuro-orto de No sa, SP. O boro provocou aumento significativo no número de nódulos e tendências de aumento dução de matéria seca, peso de nódulos e de diminuição na porcentagem de nitrogênio. A apli zinco não mostrou efeito significativo algum nessas variáveis estudadas.

De-Polli et alii (1976) obtiveram, em casa de vegetação, com a aplicação de boro (de ácido bórico), aumento no peso seco, número de nódulos pretos e nitrogênio total da cen num Podzólico Vermelho-amarelo de Valença (RJ). A aplicação do zinco (2,43 ppm de sulfato) tou o peso seco de plantas e o nitrogênio total. Neste último parâmetro, o seu efeito foi m

que o do boro. A interação entre o boro e o molibdênio teve efeito positivo no número total de nódulos e negativo na fixação do nitrogênio atmosférico. A interação entre o boro e o manganês teve efeito positivo na fixação do nitrogênio atmosférico. Jones et alii (1970) avaliaram, em casa de vegetação, o efeito da aplicação de boro ou de zinco na produção de matéria seca de leguminosas tropicais em solos de cerrado. No Latossolo Vermelho-amarelo de Matão, SP, a omissão da aplicação de zinco ocasionou redução na produção de matéria seca da soja perene. No Regossolo de Pirassununga, SP, a falta de aplicação de boro ou de zinco causou redução na produção da matéria seca da soja-perene. Já o *Stylosanthes gracilis* teve a produção de matéria seca reduzida, devido a ausência de aplicação de zinco, apenas no Regossolo. As outras duas leguminosas, siratro e centrosema, não responderam nem ao boro e nem ao zinco. Sanzonowicz & Couto (1981), em casa de vegetação, não encontraram resposta a aplicação de boro (0,5 ppm) ou de zinco (1 ppm), na produção de matéria seca, número e peso de nódulos de *Leucaena leucocephala* num Latossolo Vermelho-escuro argiloso do Distrito Federal. Carriel et alii (1983) não obtiveram, em casa de vegetação, efeito da aplicação de boro (0,5 kg/ha) na produção de matéria seca, na nodulação, no teor de nitrogênio e na quantidade de nitrogênio total da soja-perene, cultivada num Latossolo Vermelho-escuro orto de Nova Odessa (SP). Colozza & Werner (1984) não obtiveram, em casa de vegetação, efeito da aplicação de boro (0,5 kg/ha) ou de zinco (2 kg/ha) sobre a produção de matéria seca, porcentagem e quantidade total de nitrogênio e peso seco de nódulos de três leguminosas (centrosema, soja-perene, dólicos), cultivadas num Podzólico Vermelho-amarelo intergrade para Latossolo Vermelho-amarelo de Eldorado Paulista, SP.

Eucalipto - Knudson et alii (1972) avaliaram o efeito do boro e do zinco na altura de plantas de eucalipto (*Eucalyptus saligna* Sm), em solo de cerrado próximo a Lagoa Santa, MG. Os adubos foram aplicados em cobertura ao redor das mudas e misturados com o solo superficial. Aos oito meses de idade, as plantas do tratamento que recebeu NPK tiveram uma altura média de 1,27m, enquanto que as do tratamento que recebeu NPK mais boro (2 g de bórax/muda) tiveram uma altura média de 1,79 m. Aos doze meses de idade, o tratamento com NPK proporcionou plantas com altura média de 2,70 m e o tratamento com NPK mais boro plantas com altura média de 3,39 m. O tratamento NPK e o NPK mais zinco (3 g de sulfato de zinco/muda) não diferiram significativamente entre si. O tratamento que recebeu NPK mais uma mistura de 5 g de bórax e 3 g de sulfato de zinco por muda, proporcionou plantas com altura média de 2,01 e 3,54 m, respectivamente aos oito e doze meses de idade e, não diferiu significativamente do tratamento que recebeu apenas os macronutrientes, mas em dobro, isto é, 2 (NPK). Este tratamento proporcionou plantas com altura média de 1,96 e 3,58 m, respectivamente aos oito e doze meses de idade. Através da técnica da diagnose por subtração, avaliou-se o efeito de cada micronutriente na produção de matéria seca do eucalipto (*Eucalyptus urophylla* S.T. Blake) num Latossolo Vermelho-amarelo argiloso de Planaltina, DF. O zinco foi o único micronutriente cuja omissão provocou decréscimo significativo na produção de matéria seca em relação ao tratamento "completo". Tal decréscimo foi de 76% (11,6 g/vaso)(Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1980).

CONCLUSÕES

1. Dentre as culturas anuais, o maior número de trabalhos foi com o arroz, soja e milho. Na maioria dos casos, a aplicação de zinco aumentou a produção do arroz e do milho. Não se constatou respostas dessas culturas ao boro.
2. A resposta da soja ao zinco não foi tão freqüente quanto à do arroz e à do milho e, em poucos casos, houve resposta ao boro.
3. O número de trabalhos com as outras culturas é bastante reduzido. O sorgo e a mandioca responderam ao zinco. O eucalipto, o trigo, a batata e o algodoeiro responderam ao boro. O cafeeiro respondeu com maior freqüência ao zinco e o feijoeiro ao boro. Houve resposta do tomateiro e do repolho ao boro e da alface ao zinco. A cana-de-açúcar não respondeu a nenhum desses micronutrientes. As forrageiras responderam com maior freqüência ao boro.
4. A maioria dos trabalhos a campo e em vasos não mencionam níveis de boro e de zinco no solo ou tecido vegetal que permitam avaliar melhor a disponibilidade destes elementos.
5. Estudos de calibração de métodos de análise de solo, de fontes, de métodos de aplicação, de interações e de efeito residual são bastante reduzidos.

NECESSIDADES DE PESQUISA

1. Avaliação da capacidade de suprimento natural de boro e de zinco nos principais tipos de atraves de cultivos sucessivos em vasos e em experimentos de longa duração a campo.
2. Avaliação da eficiência de fontes (inorgânicas e orgânicas), de níveis e de métodos de ap ção.
3. Como a faixa entre deficiência e toxidez é muito estreita, principalmente para o boro, torr necessários estudos para avaliar o seu efeito residual em diferentes tipos de solos em suc de culturas.
4. Avaliação das diferentes espécies e variedades, quanto às suas suscetibilidades à deficiên boro e zinco.
5. Calibração de métodos de análise de solo de diferentes texturas.
6. Avaliação das interações do boro e do zinco com outros micronutrientes, com os macronutrie com doses de calcário.
7. Avaliação da eficiência de fontes, níveis e épocas de aplicação do boro e do zinco por vi liar.
8. Treinamento de pessoal técnico a nível de mestrado e doutorado na área de pesquisa com mi trientes.

AGRADECIMENTOS

Ao Pesquisador José Roberto Rodrigues Peres, do Centro de Pesquisa Agropecuária dos rados, pelas sugestões apresentadas, e ao Sr. José de Queirós Monteiro pela datilografia.

LITERATURA CITADA

ABREU, C.A. & LOPES, A.S. Identificação de deficiências de micronutrientes em cinco solos zeas da região de cerrado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, lém, PA, 1985. Resumos... Campinas, SBCS, 1985. p.76.

ALVAREZ, M.C.; OLIVEIRA, S.A. de.; MATTOS, J.K. de A.; & MESQUITA FILHO, M.V. de. Resposta lho à adubação com bórax. Hort. bras., 3(2):18-21, 1985.

ALVAREZ, R.; WUTKE, A.C.P.; ARRUDA, H.V. de. & GODOY JUNIOR, G. Adubação da cana-de-açúcar perimentos com micronutrientes nas regiões canavieiras do Estado de São Paulo. Braganti 19-25, 1979.

ALVAREZ, V.H.V.; DEFELIPO, B.V. & BARROS, N.F. de. Resposta do sorgo à aplicação de micron num Latossolo Vermelho-amarelo de Itamarandiba, Minas Gerais. Rev. Ceres, 25(137):79-86

ANGHINONI, I.; FIORESE, I. & MORAES, A.P. de. Resposta da cultura da soja à aplicação de b co e enxofre. Agron. sulriogr., 12(2):189-199, 1976.

ANJOS, J.T. dos. Calagem e adubação da soja no Estado de Santa Catarina. In: MIYASAKA, S. MEDINA, J.C.; eds. A soja no Brasil. São Paulo. BANESPA/FINEP, 1981. p.489-493.

BARBOSA FILHO; M.P.; FAGERIA, N.K. & CARVALHO, J.R.P. de. Fontes de zinco e modo de aplic a produção de arroz em solos de cerrado. Pesq. agropec. bras., 17(12):1.713-1719, 1982

BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K. & FONSECA, J.R. Tratamento de sementes de arroz com mi tes sobre o rendimento e qualidade de grãos. Pesq. agropec. bras., 18(3):219-222, 1983

BRAGA, J.M. Resposta do feijoeiro 'Rico 23' à aplicação de enxofre, boro e molibdênio. Rev. Ceres, 19(103):222-226, 1972.

BRITTO, D.P.P. de S.; CASTRO, A.F. de.; MENDES, W.; JACCOUD, A.; RAMOS, D.P. & COSTA, F.A. Estudo das reações a micronutrientes em Latossolo Vermelho-escuro sob vegetação de cerrado. Pesq. agropec. bras., Sér. Agron., 6:17-22, 1971a.

BRITTO, D.P.P. de S.; CASTRO, A.F. de.; NERY, C. & COSTA, A.C. Ensaio de adubação de milho em Latossolo Vermelho-amarelo sob vegetação de cerrado. Pesq. agropec. bras. Sér. Agron., 6:203-207, 1971b.

BUZETTI, S.; SÁ, M.E. de.; MORELLO, S. & DEZIDÉRIO, N.D. Efeitos de micronutrientes na cultura do feijoeiro cv. carioca. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1, Goiânia, GO, 1982. Anais... Goiânia, EMBRAPA-CNPAF, 1982. p.173-175.

CARRIEL, J.M.; MONTEIRO, F.A.; PAULINO, V.T. & SARTINI, H.J. Limitações nutricionais ao desenvolvimento da soja-perene, em pastagem consorciada com capim-jaraguá. B. Indústr. anim., 40(2): 241-250, 1983.

CASAGRANDE, J.C.; SOUZA, O.C. de & SCHUNKE, R.M. Avaliação da fertilidade de quatro solos do Estado de Mato Grosso do Sul. Pesq. agropec. bras., 17(3):381-384, 1982.

CATE, R.B. & NELSON, L.A. A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. Raleigh, North Carolina Agricultural Experiment Station, 1965. (Inter. Soil Testing Series Tech. Bull., 1). 13p.

CHAPMAN, H.D. Zinc. In: CHAPMAN, H.D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 1966. p.484-499.

COLOZZA, M.T. & WERNER, J.C. Aplicação de nutrientes em três leguminosas forrageiras cultivadas num solo da região do Vale do Ribeira. Zootecnia, 22(4):327-53, 1984.

COQUEIRO, E.P. & ANDRADE, J.M.V. de. Efeito da adubação com zinco, cobre, manganês, boro e magnésio sobre a produção de grãos de trigo em solo de aluvião em Sete Lagoas. Sete Lagoas, Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Centro-Oeste, 1974. 3p. (Boletim, 24).

CORREA, A.E.; PAVAN, M.A. & MIYAZAWA, M. Aplicação de boro no solo e resposta do cafeeiro. Pesq. agropec. bras., 20(2):177-81, 1985.

DECARO, S.T.; VITTI, G.C.; FORNASIERI FILHO, D. & MELO, W.L. Efeito de doses e fontes de zinco na cultura do milho (*Zea mays* L.). Revista de Agricultura, 58:25-36, 1983.

DE-POLLI, H.; SUHET, A.R. & FRANCO, A.A. Micronutrientes limitando a fixação de nitrogênio atmosférico e produção de centrosema em solo Podzólico Vermelho-amarelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, Campinas, SP, 1975. Anais... Campinas, SBCS, 1976. p.151-6.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, DF. Rel. tec. anu. Cerrados. Planaltina, 1979. v.3. 192p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, DF. Rel. tec. anu. Cerrados. Planaltina, 1980. v.4. 170p.

ESPIRONELO, A.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. & IGUE, T. Efeito do boro em cana-de-açúcar cultivada em alguns solos do município de Piracicaba. I- cana-planta. Bragantia, 35(18):191-211, 1976.

FAGERIA, N.K. & ZIMMERMANN, F.J.P. Interação entre fósforo, zinco e calcário em arroz de sequeiro. R. bras. Ci. Solo, 3:88-92, 1979.

FAGERIA, N.K.; ZIMMERMANN, F.J.P. & LOPES, A.M. Resposta do arroz irrigado à aplicação de fósfor zinco e calcário. R. bras. Ci. Solo, 1:72-76, 1977.

FONTES, R.R.; ALMEIDA, J.L. de; TORRES, S.C. & CARRIJO, O.A. Efeito da aplicação de Mg, B, Zn e na produção de alface. Pesq. agropec. bras., 17(2):171-175, 1982.

FRANÇA, G.E. de; BAHIA FILHO, A.F.C. & CARVALHO, M.M. de. Influência de magnésio, micronutriente calagem no desenvolvimento e fixação simbiótica de nitrogênio na soja perene, var. tinaroo (*Glycine wightii*) em solo de cerrado. Pesq. agropec. bras., Sér. Agron., 8(8): 197-202, 1973.

FREITAS, L.M.M. de; McCLUNG, A.C. & LOTT, W.L. Experimentos de adubação em dois solos de campo Cerrado. São Paulo, IBEC Research Institute, 1958, 29p. (IBEC Research Institute. Boletim, 20

GALLO, J.R.; HIROCE, R. & MIRANDA, L.T. de. A análise foliar na nutrição do milho. II- Resulta de ensaios de adubação com N-P-K-S e micronutrientes. Bragantia, 24:LXXI-LXXVII, 1965.

GALRÃO, E.Z. Efeito de micronutrientes e do cobalto na produção e composição química do arroz, lho e soja em solo de Cerrado. R. bras. Ci. Solo, 8:111-116, 1984.

GALRÃO, E.Z. & MESQUITA FILHO, M.V. de. Efeito de fontes de zinco na produção de matéria seca d milho em um solo sob Cerrado. R. bras. Ci. Solo, 5:167-170, 1981.

GALRÃO, E.Z.; SOUSA, D.M.G. de & PERES, J.R.R. Caracterização de deficiências nutricionais em s de várzeas da Região dos Cerrados. Pesq. agropec. bras., 19(9):1.091-1.101, 1984.

GARGANTINI, H.; LEITE, N.; HUNGRIA, L.S. & VENTURINI, W.R. Efeito de micronutrientes na produçã no tipo de tubérculos de batata, em cultura efetuada em solos de várzea do vale do Paraíba Bragantia, 29(1):1-10, 1970.

GOEPFERT, C.F. & KUSSOW, W.F. A necessidade de aplicar enxofre e micronutrientes em oito solos Rio Grande do Sul. Agron. sulriograndense, 7(2):149-156, 1971.

HIROCE, R.; GALLO, J.R. & NOBREGA, S. de A. Deficiência de boro em batatinha cultivada em solo gânico do Vale do Paraíba. Bragantia, 30:V-VII, 1971.

IGUE, K.; BLANCO, H.G. & ANDRADE SOBRINHO, J. Influência do zinco na produção do milho. Bragan 21(16):263-269, 1962.

IGUE, K. & GALLO, J.R. Zinc deficiency on corn in São Paulo. New York, IBEC Research Institute, 1960. 19p. (IBEC Research Institute. Boletim, 20).

JONES JUNIOR, J.B. Interpretation of plant analysis for several agronomic crops. In: SOIL SCIE SOCIETY OF AMERICA. Soil testing and plant analysis. Madison, 1967. pt.2. p.49-58. (SSSA. Special publications, 2).

JONES, M.B.; QUAGLIATO, J. & FREITAS, L.M.M. de. Respostas de alfafa e algumas leguminosas tropicais à aplicações de nutrientes minerais em três solos de campo cerrado. Pesq. agropec. bras., 5:209-214, 1970.

KNUDSON, D.; CORRÊA, H. & YAHNER, J.E. Adubação de *Eucalyptus saligna* Sm. em solos dos cerrados Minas Gerais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CERRADOS, 2, Sete Lagoas, MG, 1967. Anais... Sete Lagoas, DNPEA-IPEACO, 1972. p.101-125.

KÜPPER, A.; CARVALHO, C.H.S.; MARTINS, M.; SANTINATO, R.; SILVA, O.A. da. & GARCIA, A.W.R. Efe do óxido e sulfato de zinco aplicados na cova de plantio do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILE DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 9, São Lourenço, MG, 1981. Resumos... Rio de Janeiro, IBC., 1981. p.455-458.

LAMBERT, D.H.; BAKER, D.E. & COLE JUNIOR, H. The role of mycorrhizae in the interactions of phosphorus with zinc, copper, and other elements. J. Soil Sci. Soc. Am., 43:976-980, 1979.

LEITE, N. Efeitos da aplicação de bórax em cultura de batatinha, em várzea irrigada, no Vale do Paraíba. Bragantia, 29(30):329-336, 1970.

LINDSAY, W.L. Zinc in soils and plant nutrition. Adv. Agron., 24:147-186, 1972.

LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Development of a DTPA micronutrient soil test. Agronomy Abstract, 1969. Annual Meetings, American Society of Agronomy. p.84.

LOPES, A.S. A survey of the fertility status of soils under "cerrado" vegetation in Brazil. Raleigh, North Carolina State University, 1975. 138p. Tese Mestrado.

McCLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.M. de.; MIKKELSEN, D.S. & LOTT, W.L. Cotton fertilization on campo cerrado soils state of São Paulo, Brazil. New York, IBEC Research Institute, 1961. 31p. (IBEC Research Institute. Boletim, 27).

MENDES, H.C.; ABRAMIDES, E. & GALLO, J.R. Nutrição do algodoeiro. III- Efeito de micronutrientes em plantas vegetando em vasos. Bragantia, 19:LXXVII-LXXXIV, 1960.

MESQUITA FILHO, M.V. de. & OLIVEIRA, S.A. de. Influência do boro na produção de matéria seca da batata. Hort. bras., 2(2):9-11, 1984.

NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY. Zinc Fertilization. Agronomic economic research on tropical soils: Annual report for 1973. Raleigh, Soil Science Department, North Carolina State University, 1973. p.31-35.

MAGALHÃES, J.R. de; CARVALHO e SILVA, W.L. de. & MONNERAT, P.H. Níveis e métodos de aplicação de boro em tomateiro. Pesq. agropec. bras., 16(2):153-157, 1981.

MARTINS, O. & BRAGA, J.M. Caracterização da fertilidade de cinco latossolos sob vegetação de cerrado, no triângulo mineiro. Rev. Ceres, 24(136):596-607, 1977.

MASCARENHAS, H.A.A.; KIIHL, R.A.S.; NAGAI, V. & BATAGLIA, O.C. Aplicação de micronutrientes em soja cultivada em solos de cerrado. O Agronômico, 25:71-77, 1973.

MASCARENHAS, H.A.A. & MIYASAKA, S. Adubação da soja. VI - Efeitos do enxofre e de vários micronutrientes (Zn, Cu, B, Mn, Fe e Mo), em solo Latossol Roxo com vegetação de cerrado. Bragantia, 26(29):373-379, 1967.

NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY. Zinc fertilization. Agronomic - economic research on tropical soils: Annual report for 1974. Raleigh, Soil Science Department, Nort Carolina State University, 1974. p.106-109.

OLIVEIRA, G.D. de.; HAAG, H.P.; SARRUGE, J.R.; COSTA, J.D. & DECHEN, A.R. Adubação não radicular com duas fontes de zinco em *Coffea arabica* L. "Mundo Novo" (B. Rodr.). An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz, 38:23-69, 1981.

PAULINI, A.E.; HASHIZUME, H.; ANDRADE, I.P.R.; MATIELLO, J.B. & MANSK, Z. Efeito do zinco e cobre na produtividade de lavouras de café em formação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 3, Curitiba, PR, 1975. Resumos... Rio de Janeiro, IBC, 1975. p.55-57.

PEREIRA, J. & VIEIRA, I.F. Ensaio de adubação com zinco na cultura de arroz de sequeiro. In: INSTITUTO DE PESQUISAS E EXPERIMENTAÇÃO AGROPECUÁRIAS DO CENTRO-OESTE. Relatório do ano agrícola 1967/68. Sete Lagoas, MG, s.d. p.15.

PEREIRA, J.; VIEIRA, I.F.; MORAES, E.A. & REGO, A.S. Níveis de sulfato de zinco em milho (*Zea mays* L.) em solos de campo cerrado. Pesq. agropec. bras., Sér. agron., 8(7):187-191, 1973.

PERIM, S.; LOBATO, E. & GALRÃO, E.Z. Efeito da calagem e de nutrientes no rendimento da mandioca (*Manihot esculenta*, Grantz) em solo sob vegetação de cerrado. R. bras. Ci. Solo, 4:107-110, 1980.

RITCHEY, K.D. Residual zinc effects. Agronomic-economic research on tropical soils: Annual report for 1976-1977. Raleigh, Soil Science Department, North Carolina State University, 1978. p.113-114.

RITCHEY, K.D.; COX, F.R.; GALRÃO, E.Z. & YOST, R.S. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja num Latossolo Vermelho-escuro argiloso. Pesq. agropec. bras., 21(3):215-225, 1986.

RITCHEY, K.D.; COX, F.R. & YOST, R.S. Residual effects of zinc applications. Agronomic-economic research on tropical soils: Annual report for 1975. Raleigh, Soil Science Department, North Carolina State University, 1976. p.34-38.

RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M.G. de.; LOBATO, E. & CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. Agron. J., 72:40-44, 1980.

RUSCHEL, A.P.; BRITTO, D.P.P. de SOUZA & DÖBEREINER, J. Fixação simbiótica de nitrogênio atmosfê rico em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) II- Influência do magnésio, do boro, do molibdênio e d calagem. Pesq. agropec. bras. 1:141-145, 1966.

RUSCHEL, A.P.; MESQUITA ROCHA, A.C. de & PENTEADO, A. de F. Efeito do boro e do molibdênio aplicados a diferentes revestimentos da semente de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Pesq. agropec. bras., 5:49-52, 1970.

SANTO, J.O.E.; SANTINATO, R. & MATIELLO, J.B. Dose e modo de aplicação dos micronutrientes zinc boro e cobre, na formação do cafeeiro, em solo Latosol Vermelho-amarelo Húmico, no Jequitinhonha, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12, Caxambú, MG, 1985. Rio de Janeiro, IBC., 1985. p.226-227.

SANZONOWICZ, C. & COUTO, W. Efeito de calcário, enxofre e outros nutrientes no rendimento e nodulação da *Leucena leucocephala* em um solo de cerrado. Pesq. agropec. bras., 16(6):789-794, 1981.

SILVA, A.R. da. & ANDRADE, J.M.V. de. Efeito de micronutrientes no chochamento do trigo de sequeiro e nas culturas de soja e arroz em Latossolo Vermelho-amarelo. Pesq. agropec. bras., 18(6):593-601, 1983.

SILVA, A.R. da; & ANDRADE, J.M.V. de. A esterilidade masculina do trigo (chochamento) e o seu controle pela aplicação de micronutrientes no solo. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Trabalhos com trigo, cevada e triticale no CPAC em 1981. Planaltina, 1982, v.2. p.1-19.

SILVA, J.B.S. da & ALMEIDA, S.R. Estudo de doses de sulfato de zinco em cafezais instalados em solos de cerrado no sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 3, Curitiba, PR, 1975. Resumos... Rio de Janeiro, IBC, 1975. p.314-316.

SILVA, J.B.S.; ALMEIDA, S.R. & GONÇALVES, J.C. Estudo dos efeitos da aplicação de N, P, Mg, Zn, B e Cu por via foliar em cafezais instalados em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 3, Curitiba, PR, 1975. p.302-304.

SILVA, N.M. da.; CARVALHO, L.H.; CHIAVEGATO, E.J.; SABINO, N.P. & HIROCE, R. Efeito de doses de boro aplicadas no sulco de plantio do algodoeiro, em solo deficiente. Bragantia, 41(19): 181-191, 1982.

SOARES, W.V. & VARGAS, M.A.T. Ensaio exploratório de fertilização com duas leguminosas tropicais em três solos sob cerrado do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14, Santa Maria, RS, 1973. Anais... Rio de Janeiro, SBCS, 1974. p.448-460.

SOUZA, D.M. & HIROCE, R. Diagnose e tratamento preventivo, no solo, de deficiência de zinco em cultura de arroz de sequeiro em solos com pH abaixo de 7. Bragantia, 29(9):91-103, 1970.

SUHET, A.R. & NEPTUNE, A.M.L. Efeito do ferro (^{59}Fe) e do zinco (^{65}Zn) e da natureza de três tipos de solos na produção de matéria seca e na composição química do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. carioca e na fixação de nitrogênio atmosférico por esta leguminosa. An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz, 36:1-42, 1979.

VAHL, L.C.; GOMES, A.S. & BOTELHO, R.C. Influência do Ca + Mg, Zn e P sobre o rendimento e outras características da cultura do arroz irrigado. AGROS, 13:65-75, 1978.

WERNER, J.C. & MATTOS, H.B. de. Ensaio de fertilização com alguns micronutrientes em soja perene, *Glycine Wightii*, Willd. B. Indústr. anim., 31(2):313-324, 1974.

WERNER, J.C. Uso de micronutrientes em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 2, Piracicaba, SP, 1975. Anais... Piracicaba, ESALQ, 1975. p.87-111.

CAPÍTULO 10

RESPOSTAS DAS CULTURAS AOS MICRONUTRIENTES FERRO, MANGANÊS E COBRE

Murilo L. Marinho[1]

RESUMO

Foi feita uma revisão de literatura sobre a resposta de algumas das principais culturas brasileiras aos micronutrientes ferro, manganês e cobre. De uma maneira ampla, a maioria das referências são de experimentos com o zinco e o boro, principalmente em solo sob vegetação de cerrado que sofreu intemperismo. Deficiências de ferro e manganês são menos citadas e em muitos trabalhos são feitas referências a problemas de toxidez, notadamente do manganês. Deficiências de ferro e manganês são na maioria associadas a valores elevados de pH e relacionadas com calagens excessivas. Como os solos brasileiros tendem em sua maioria para ácidos, há menor evidência de aparecimento de deficiência e maior para o surgimento de toxicidade. Em muitas culturas, principalmente hortaliças e frutíferas, a deficiência de cobre e manganês é pouco observada, devido muitas vezes a aplicação de fungicidas a base de produtos com esses micronutrientes. Os principais problemas de deficiência de ferro, manganês e cobre citados, foram: a) **ferro**: abacaxi (Paraíba, Ceará e Goiás), mandioca (Paraíba, Ceará e Pernambuco), cana-de-açúcar (Estados do nordeste e Santa Catarina), cafeeiro (Pernambuco); b) **manganês**: cana-de-açúcar (Alagoas e Pernambuco), mandioca (Estados do nordeste), cafeeiro (Minas Gerais, São Paulo e Paraná), citrus (São Paulo); c) **cobre**: cana-de-açúcar (Estados do nordeste e Rio de Janeiro), cafeeiro (Bahia, Pernambuco, Ceará, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo), citrus (São Paulo e Bahia), alface (São Paulo).

Termos de indexação: micronutrientes, disponibilidade de ferro, manganês e cobre, deficiência de ferro, manganês e cobre, adubação com ferro, manganês e cobre.

SUMMARY

CROP RESPONSE TO THE MICRONUTRIENTS IRON, MANGANESE AND COPPER

A review of literature was made on the response of some Brazilian major crops to iron, manganese and copper. In general, the majority of research deals with zinc and boron in the conditions of weathering soils of "cerrado" vegetation (savanna). Information on iron and manganese deficiencies are not easily found, but in many papers references are made on toxicity problems,

[1] Engº Agrº. M.Sc., Agrofértil S.A. Indústria e Comércio de Fertilizantes. Caixa Postal 165. CEP. 57000 - Maceió, AL.

especially those related to manganese. Iron and manganese deficiencies are mostly associated to high levels of soil pH as well as with excessive liming. Taking into account that most of the Brazilian soils are acid, there is a possibility of having lesser iron and manganese deficiencies and a great chance of having toxicity problems. For many crops, especially vegetables and fruit crops, copper and manganese deficiencies can not be easily found, due to regular applications of Cu and Mn fungicides. The major problems of iron, manganese and copper deficiencies in literature are the following: a) **Iron**: pineapple (Paraíba, Ceará and Goiás); cassava (Paraíba, Ceará and Pernambuco), sugar cane (Northeast states and Santa Catarina), coffee (Pernambuco); b) **Manganese**: sugar cane (Alagoas and Pernambuco), cassava (Northeast states), coffee (Minas Gerais, São Paulo and Paraná), citrus (São Paulo); c) **Copper**: sugar cane (Northeast states and Rio de Janeiro), coffee (Bahia, Pernambuco, Ceará, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro and São Paulo), citrus (São Paulo and Bahia) and lettuce (São Paulo).

Index terms: micronutrients, iron, manganese and copper availability, iron, manganese and copper deficiency, fertilization with iron, manganese and copper.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, no Brasil, os micronutrientes passaram a despertar maior interesse d técnicos e agricultores.

Muitos aspectos contribuíram para isso, destacando-se:

a) expansão da agricultura com a incorporação de áreas de solos menos férteis ao proces produtivo;

b) aumento da produtividade das culturas através do uso de variedades mais exigentes e práticas de correção do solo e de adubação com macronutrientes, tendo como conseqüência maior re ção de macro e micronutrientes;

c) a tendência para produção e utilização de fertilizantes mais concentrados, contendo nor quantidade de micronutrientes como "impurezas";

d) melhoria dos conhecimentos sobre a nutrição vegetal, modernização e criação de novos boratórios de solos e tecidos vegetais, facilitando a identificação rápida de possíveis proble de deficiência ou toxidez de micronutrientes.

As quantidades e a disponibilidade dos micronutrientes para as plantas são determinadas p presença de minerais oriundos das rochas originais e pela intensidade do intemperismo do solo. Em ral, os solos muito lixiviados das regiões quentes e úmidas apresentam menores quantidades tot de micronutrientes do que os solos das regiões frias e secas. Entretanto, a quantidade total elemento nos solos é muitas vezes um valor inadequado para indicar a sua disponibilidade para plantas. O Quadro 1, extraído de Malavolta (1976), mostra que a quantidade total de micronutrie varia muito, dependendo do material de origem do solo e da severidade do processo de intemperis

Convém salientar que normalmente só uma porção muito pequena desses elementos é solúve assimilável pelas plantas, em qualquer circunstância.

A disponibilidade dos micronutrientes para as plantas está relacionada principalmente a solubilidade dos respectivos óxidos e silicatos, que por sua vez dependem da reação do solo estado de oxidação do elemento.

Na América Tropical foram realizados muitos trabalhos experimentais e observações de c ciência de micronutrientes em várias culturas. Cox (1973) cita que a diversidade de co ções do solo e a falta de um sistema adequado de informações tem deixado o quadro incompleto. outro lado, grande parte dos trabalhos, principalmente os mais antigos, foram feitos utilizan uma mistura de micronutrientes, sendo impossível identificar qual deles deu resposta.

De uma maneira ampla, as maiores respostas das culturas a micronutrientes no Brasil s ra o zinco e o boro, principalmente em solos sob vegetação de cerrado que sofreram intemper São citados problemas com cobre em algumas regiões do Brasil, e normalmente são referidos prob na nutrição animal com esse micronutriente (Cox, 1973).

Quadro 1. Abundância dos micronutrientes em rochas.

Elemento	Rochas ígneas			Rochas sedimentares			Solo
	Crosta Terrestre	Granito	Basalto	Calcário	Arenito	Folhelho	
	ppm						
Ferro	56.000	27.000	86.000	3.800	9.800	47.000	10.000-100.000
Manganês	950	400	1.500	1.100	10-100	850	20-3.000
Cobre	55	10	100	4	30	45	10-80
Zinco	70	40	100	20	16	95	10-300
Molibdênio	1,5	2	1	0,4	0,2	2,6	0,2-10
Boro	10	15	5	20	35	100	7-80

Fonte: adaptado de Malavolta (1976).

Em muitas culturas de hortaliças e de frutíferas, as deficiências de cobre, zinco e manganês são pouco observadas devido muitas vezes à aplicação de fungicidas a base de produtos com esses micronutrientes (Küpper, 1981; Filgueira, 1981; Rodrigues, 1980 e Hiroce & Caetano, 1984). Deficiências de ferro e manganês são menos citadas na literatura e em muitos trabalhos são referidos problemas de toxicidade.

Lopes (1984), em revisão sobre o uso eficiente de fertilizantes com micronutrientes no Brasil, apresentou uma análise agrupando os dados disponíveis por regiões agroecológicas, tentando estabelecer relações entre problemas com micronutrientes, material de origem, condições de clima e solo, grau de intemperismo, respostas das culturas e outros parâmetros, na evolução dos possíveis problemas de deficiência ou toxicidade de micronutrientes no Brasil. Dentro desta linha, o autor destacou as seguintes regiões agroecológicas:

1) **Região semi-árida** - os dados dessa região, embora reduzidos em número, sugerem uma baixa probabilidade de ocorrência de deficiência de manganês, cobre, zinco e molibdênio. Entretanto, as deficiências de ferro e manganês podem ocorrer associadas a valores elevados de pH. Esses aspectos não eliminam a possibilidade de ocorrerem problemas ao nível de uma propriedade específica;

2) **Região periodicamente úmida** - nessa região destacam-se os solos sob vegetação de cerrado, formados em sua maioria por latossolos, que têm evidenciado sérios problemas de zinco para a maioria das plantas cultivadas. Em certos casos, também tem surgido problemas com o boro. Quanto aos demais micronutrientes, a maioria dos trabalhos experimentais não tem mostrado resposta das culturas alimentícias nestes solos, sugerindo a existência de níveis adequados. Por outro lado, de uma maneira geral solos derivados ou influenciados por rochas ígneas básicas apresentam teores mais elevados de quase todos micronutrientes, em comparação com solos formados por sedimentos arenosos, apresentando menores problemas de micronutrientes que estes;

3) **Região úmida** - vastas áreas da região amazônica não têm sido avaliadas sob o aspecto de disponibilidade de micronutrientes. O sistema de agricultura itinerante, ali praticada, sugere baixa probabilidade de ocorrência de problemas com micronutrientes.

O objetivo principal desse trabalho é apresentar uma revisão sucinta sobre a resposta de algumas das principais culturas do Brasil aos micronutrientes ferro, manganês e cobre.

RESPOSTA DAS CULTURAS AO FERRO

O ferro pode ser absorvido pelas plantas no estado divalente (Fe^{2+}) e como ferro na fo de quelato. O ferro trivalente (Fe^{3+}) é de menor importância devido a baixa solubilidade dos c postos de Fe-III nas condições de pH de muitos solos. A disponibilidade do ferro inorgânico p as raízes das plantas parece, entretanto, depender da habilidade dessas raízes de baixar o pH e duzir o férrico (Fe^{3+}) a ferroso (Fe^{2+}) na rizosfera. As espécies de plantas diferem na habilid de utilizar o ferro inorgânico solúvel e na forma de quelato. Assim, são chamadas de espécies e cientes aquelas hábeis em baixar o pH do meio nutriente, com conseqüente aumento da capacidade redução da superfície das raízes abaixo do estresse de disponibilidade de ferro e, por decorrênc aumentando a sua absorção (Mengel & Kirkby, 1982).

Os principais fatores que contribuem para o aparecimento das deficiências de ferro, des cados por Lucas & Knezek (1973), Malavolta & Kliemann (1985) e Walliham (1966) são:

1) baixos teores de ferro total
2) $CaCO_3$ livres, muito HCO_3
3) umidades extremas (seca e excesso de chuva)
4) teores altos de metais pesados (notadamente Zn, Mn, Cu e Ni) em solos ácidos
5) teores altos de fósforo no solo
6) baixa aeração (excesso de CO_2)
7) extremos de temperatura
8) adubações pesadas
9) baixo teor de matéria orgânica
10) pH muito baixo (excesso de Mn)
11) calagem excessiva
12) diferenças genéticas (genótipo com baixa eficiência de absorção)
13) dano às raízes

Baixos teores de ferro são comumente encontrados em solos orgânicos e solos arenosos cas & Knezek, 1973).

A faixa de pH do solo que favorece a maior disponibilidade de ferro é de 5,0 a 6,5 (L 1984). Malavolta (1979), refere-se que embora a carência de ferro seja mais comumente asso com a alcalinidade, a acidez elevada em solos orgânicos ou minerais poderá também provocá-la. ses casos, a deficiência poderá ser induzida por excesso de manganês, que diminui a absorção do ro. A influência do pH na solubilidade do ferro é, desta maneira, muito importante pois pode duzir à falta em solos alcalinos e à toxidez em latossolos. Cita esse autor que, em latossolo, de Fe^{2+} chegou a valores da ordem de 1.000 ppm em pH 6,3, a 352 ppm em pH 6,5, baixando para 3 em pH 7,0 e para 3,5 ppm quando o pH foi para 7,5. A elevação da concentração de ferro fe (Fe^{2+}) na solução do solo a níveis tóxicos pode ser prevenida, evitando-se a adição de quant elevadas de matéria orgânica (50 - 60 t/ha), fazendo a calagem e providenciando a drenagem (Ma ta, 1976).

Cox (1973), estudando os problemas de micronutrientes na América Latina, refere-se cas evidências de problemas de deficiência de ferro, com base em trabalhos realizados no Br Argentina e Chile. Cita também, que como os solos normalmente tendem para ácidos, há menores dências do aparecimento desses problemas.

Lopes (1983), estudando a disponibilidade de micronutrientes em 518 amostras de solos cerrado no Brasil, cita que os teores de ferro e manganês solúveis na maioria dos solos est parecem estar adequados para a maioria das culturas. A omissão de ferro e manganês nos expe tos citados, não afetou o crescimento ou a produção de várias culturas. Na prática, refere-se da, não tem sido observados resultados positivos pela aplicação de ferro nestes solos. Foram tificados problemas de toxidez de ferro e manganês em áreas esparsas, associadas a manchas drenagem no solo (observações pessoais, Lopes, 1983).

Lopes (1984), citando dados de Sillanpää (1982), apresenta dados envolvendo a amostr a análise de solos e de plantas de trigo, além de ensaios em casa de vegetação, num total de amostras de 30 países. Nas 58 amostras de solo de áreas de plantio de trigo nos Estados de S lo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Lopes (1984) observou que as médias dos teo

ferro em solos e plantas no Brasil são quase as mesmas que as médias gerais de todos outros países envolvidos nesta pesquisa. Uma vez que as variações nos teores foram pequenas, a maioria das amostras do Brasil está dentro da amplitude normal, sem valores extremos (Quadro 2).

Quadro 2. Avaliação da disponibilidade dos micronutrientes cobre, ferro e manganês, em amostras de solo do Sul do Brasil e tecido de plantas de trigo, comparadas com 3.537 amostras de 30 outros países.

Micronutrientes	Médias e desvios padrões dos teores dos micronutrientes			
	Tecido de trigo no Brasil	Solo no Brasil (58 amostras)	Tecido de trigo em 30 países	Solo em 30 países (3.537 amostras)
	ppm	ppm	ppm	ppm
Cobre	9,19 ± 3,19	15,97 ± 15,19	7,00 ± 2,57	6,00 ± 7,05
Ferro	60,70 ± 11,20	166,10 ± 116,40	60,90 ± 17,30	165,80 ± 157,10
Manganês	288,30 ± 319,40	107,40 ± 87,40	111,60 ± 155,20	34,70 ± 37,00

Fonte: adaptado de Lopes (1984) e de Silanpää (1982).

O Quadro 3 apresenta a probabilidade de resposta de diferentes culturas ao ferro, em condições de clima e de solo favoráveis ao aparecimento da deficiência. Walliham (1966) cita como melhores plantas indicadoras couve-flor, brócolo, couve, eucaliptos e espécies de acácia. Como teste de confirmação da deficiência propõe aplicar solução diluída de sulfato ferroso (0,5 a 1,0%) em pulverizações ou simples gotas, de modo que, dentro de duas semanas, a clorose poderá desaparecer. As folhas velhas não devem ser tratadas.

De uma maneira geral, a deficiência de ferro é pouco citada nas principais culturas brasileiras. Malavolta (1981), faz referências ao aparecimento de sintomas de deficiência de ferro na cultura do abacaxi nos Estados da Paraíba, Ceará e Goiás; em mandioca nos Estados da Paraíba, Ceará e Pernambuco; em cana-de-açúcar em Pernambuco e Santa Catarina e em cafeeiro em Pernambuco (Quadro 4).

Sobral & Weber (1983) citam problemas de deficiência de ferro em cana planta apenas em solos arenosos, de ampla ocorrência em algumas áreas dos tabuleiros do Nordeste. De maneira geral, nestas áreas há a predominância de solos podzolizados apresentando camadas de argila nos horizontes abaixo da camada arável, chamados de "fragipan" ou "duripan", causando problemas de excesso de água na estação chuvosa e problemas de extrema falta de umidade na estação seca (observação pessoal). Em cana soca, a deficiência de ferro ocorre de maneira passageira no início do desenvolvimento de cana-de-açúcar, em outras áreas de cultivo no Brasil. A sintomatologia da deficiência inicial não está relacionada com a disponibilidade de ferro no solo, mas ligada a dificuldade de translocação do nutriente da cepa velha para os novos brotos que se formam, até a emissão do seu novo sistema radicular (Sobral & Weber, 1983; Zambello Júnior & Orlando Filho, 1981 e Marinho, 1974).

Os experimentos realizados no nordeste, e a prática de campo, mostram que é difícil a correção da deficiência de ferro na cana planta. Por via foliar, também tem sido problemática a correção, uma vez que são necessárias várias aplicações (observações pessoais).

Quadro 3. Probabilidade de resposta de diferentes culturas ao ferro, em condições de solo ou de clima favoráveis à indução de deficiência.

Elemento	Probabilidade de resposta	Culturas
Ferro	Baixa	menta, trigo;
	Média	alfafa, aspargo, repolho, milho, aveia, cafeeiro;
	Alta	feijões, cevada, brócolos, couve-flor, soja, sorgo, espinafre, beterraba, arroz, tomateiro, citrus, macieira, pessegueiro, pereira, videira, roseira, morangueiro, abacaxizeiro.

Fonte: adaptado de Lucas & Knezek (1973) e de Malavolta & Kliemann (1985).

Na cultura cafeeira, poucas referências são feitas à deficiência de ferro. Küpper (198 reporta que dos seis micronutrientes considerados essenciais para o cafeeiro, o ferro e o mangar são muito mais freqüentemente prejudiciais ou tóxicos pelo excesso, em solos ácidos. Os solos alc linos são comuns em regiões áridas ou semi-áridas que, climaticamente, não são aptas para o cafee ro. O excesso de ferro e manganês pode ser reduzido através de calagem. Cervelline (1981) ci que sintomas de deficiência de ferro em cafeeiro não apresentam aparentemente problemas em noss solos, sendo causado por rápido desenvolvimento da planta que é corrigido naturalmente. Estes s tomas de deficiência aparecem normalmente nas folhas novas e podem surgir nas condições de exce de manganês, em função de pH muito elevado, por calagem pesada e pelo rápido desenvolvimento ve tativo na primavera. Geralmente, as deficiências são corrigidas evitando-se os teores muito alt de manganês no solo ou por meio de calagem; as deficiências decorrentes do rápido desenvolvimen desaparecem em curto período, não havendo necessidades de correção. Franco (1982) observa t bém que a deficiência de ferro não constitui problema para o cafeeiro em nosso meio, ocorrendo poradicamente em áreas reduzidas, em conseqüência de calagem excessivas ou em solo sujeito a encl camento e portanto, impróprio para cafeicultura. No caso de calagem excessiva, este autor sugerc aplicação de enxofre para baixar o pH. Franco (1982) refere-se aos sintomas de deficiência de f ro causada pelo desenvolvimento rápido das folhas, como a um problema que pode ocorrer após uma da drástica, por exemplo na recepagem ou no "esqueletamento". Nestes casos, as folhas novas for das podem apresentar clorose típica de carência de ferro. Essa clorose manifesta-se no parênqu foliar das folhas novas, enquanto as nervuras permanecem normais, formando uma rede bem verde, lâmina amarela da folha. Tais sintomas, como já foi observado, são passageiros e causados p translocação lenta do ferro para as folhas. Na América Central também são raros os problemas s gidos com deficiência de ferro no cafeeiro (Carvajal, 1981).

Deficiências de ferro constituem um dos problemas mais sérios e generalizados na cult de citrus, sem que até agora se tenha uma solução satisfatória em muitas áreas citrícolas no mur Os tratamentos clássicos para carência de ferro não têm dado resultados satisfatórios em rela aos citrus. Isto porque, há necessidade da aplicação de grandes quantidades de sulfato ferroso a lo para se obter algum efeito. Caso o sulfato ferroso seja pulverizado sobre as plantas, ele é ins bilizado imediatamente, ficando as folhas com áreas verdes sobre um fundo clorótico. Ultimamer ós quelatos vieram oferecer perspectivas mais interessantes para solucionar esta situação (Malav ta et alii, 1967 e Malavolta et alii, 1974). Problemas de deficiência de ferro em citrus, parc ser também de pouca importância no Brasil. Rodrigues (1980), refere-se que o tratamento da defic

cia de ferro é muito difícil e que felizmente para nós, ela é sempre rara e não tem constituído problema sério em nossos pomares. Hiroce & Caetano (1984), com base em levantamentos nutricionais de pomares cítricos de São Paulo pela análise química foliar, nos anos de 1960, nos períodos entre 1963 e 1965 e entre 1978 e 1982, não observaram evidências de problemas de deficiência de ferro. Os maiores problemas encontrados se referiam a fósforo, magnésio, zinco, potássio e boro. Malavolta (1979) cita que, no Estado de São Paulo, têm sido observadas deficiências dos seguintes micronutrientes, com freqüência fixada em unidades arbitrárias que vão de zero a 10: Zn= 10; Mn= 5; B= 3; Fe= 2; Cu= 1; Mo= 1 e Cl= 0. Este autor salienta que as principais causas da deficiência de ferro são os solos ácidos com muito manganês trocável e a redução da disponibilidade provocada pela calagem e por doses excessivas de fósforo.

Quadro 4. Deficiências de ferro, manganês e cobre constatadas em algumas culturas no Brasil.

Elemento	Estado	Cultura e freqüência[1]
Ferro	Ceará e Paraíba	Abacaxi (3) Mandioca (1)
	Goiás	Abacaxi (3)
	Pernambuco	Cafeeiro (1) Cana-de-açúcar (1) Mandioca (1)
	Santa Catarina	Cana-de-açúcar (2)
Manganês	Alagoas	Cana-de-açúcar (1)
	Minas Gerais	Cafeeiro (1)
	Pernambuco	Cana-de-açúcar (1) Mandioca (1)
	Paraná	Cafeeiro (1)
	São Paulo	Cafeeiro (1) Citrus (3)
Cobre	Alagoas	Cana-de-açúcar (2)
	Bahia	Cafeeiro (1) Laranjeira (1)
	Ceará	Cafeeiro (1)
	Espírito Santo e Minas Gerais	Cafeeiro (2)
	Pernambuco	Cafeeiro (1) Cana-de-açúcar (2)
	Rio de Janeiro	Cana-de-açúcar (1) Cafeeiro (1)
	São Paulo	Cafeeiro (1) Hortaliças (1) Laranjeira (2)

[1] Escala arbitrária: máx.= 10, min.= 0.

Fonte: adaptado de Malavolta (1981).

Com relação a soja, segundo Rosolem (1980), a maioria dos ensaios realizados no Brasil com micronutrientes não tem revelado respostas significativas. Esporadicamente tem-se encontrado respostas ao molibdênio aplicado às sementes. Há também algumas áreas com problemas de zinco e boro, não sendo citados trabalhos com resposta ao ferro em nosso meio.

Jones et alii (1970), estudando a resposta da alfafa e algumas leguminosas tropicais à aplicação de nutrientes em três solos de campo cerrado, indicam não haver resposta ao molibdênio, sendo que uma das espécies respondeu ao boro e duas ao zinco. Todas as leguminosas estudadas produziram menos massa seca com adição de ferro e cobre em um Regossolo, enquanto num Latossolo Vermelho não houve efeito dos micronutrientes.

Existem poucas citações na literatura de problemas de deficiência de ferro em algodão (Silva & Carvalho, 1982). Todavia, carências de micronutrientes em hortaliças em geral são citadas por Filgueira (1981) e Haag et alii (1982), sendo porém, pouco comuns em virtude de intensivo uso de matéria orgânica (geralmente esterco de curral) e emprego de fungicidas e inseticidas (muitos deles apresentando elevados teores de micronutrientes). As referências mais importantes são para o boro, molibdênio, zinco e cobre. Segundo Filgueira (1981), sintomas típicos de deficiência de outros micronutrientes não se apresentam normalmente, sendo entretanto, possível a ocorrência da carência de forma oculta em vários cultivos.

Várias referências a problemas com a nutrição de ferro em arroz são encontradas na literatura. As principais observações são de sintomas de toxicidade. Ponnamperuma (1975), em trabalho de revisão de literatura sobre limitações de micronutrientes em solos tropicais cultivados com arroz, cita como principais problemas a deficiência e em alguns casos a toxicidade do manganês em solos de sequeiro (condição aeróbia) e a toxicidade do ferro e a deficiência de zinco em solos continuamente inundados (solo submerso, condição anaeróbia). As raízes das plantas extraem o ferro reduzindo em primeiro lugar o Fe^{3+} (férrico) a Fe^{2+} (ferroso). Entretanto, quer no arroz de sequeiro, quer no arroz inundado, a rizosfera é oxidante devido ao fluxo de oxigênio do caule às raízes; daí o motivo pelo qual a necessidade de ferro no arroz é maior que a de outras plantas. Para prevenir a deficiência de ferro, recomenda-se baixar o potencial redox. A forma mais simples de reduzir o potencial é inundar ou saturar parcialmente o solo. Nos cultivos de arroz de sequeiro, onde não é possível controlar a água, o uso de variedades resistentes à deficiência de ferro pode ser uma solução prática (Ponnamperuma, 1975). A inundação, principalmente nos solos ácidos ricos em matéria orgânica e com alto teor de ferro, poderá causar, por outro lado, problemas de toxicidade no arroz. Nestes solos, a concentração de ferro pode atingir até 600 ppm entre uma a três semanas após submersão e a seguir decrescer exponencialmente até o nível de 50 a 100 ppm. No Brasil, Barbosa Filho et alii (1983) citam que a toxicidade do ferro conhecida como "bronzeamento" ou "bronzing" tem-se constituído em algumas regiões como a zona da mata de Minas Gerais, em Santa Catarina, Rio de Janeiro e no Pará (projeto Jari), em fator limitante ao desenvolvimento normal das plantas de arroz irrigado por submersão. Em experimentos com dois solos de Minas Gerais, em casa de vegetação, submetidos a diferentes práticas de manejo de água e de calagem, aqueles autores notaram em desses solos, a partir de 25 dias do transplante das mudas de arroz, os primeiros sintomas de toxicidade. As observações feitas mostram não haver necessidade de se eliminar completamente o fer tóxico, podendo a toxicidade ser prevenida pelo plantio em várzea úmida e pela aplicação de quant dade econômica de calcário.

Fageria et alii (1981), cultivando arroz (cultivar IAC 435) em solução nutritiva, cit que a concentração ótima de ferro foi de 2,5 ppm e a toxicidade ocorreu em concentrações acima de ppm. Os níveis críticos de toxicidade de ferro no tecido da parte aérea aos 20 e 40 dias de crescimento das plantas, foram de 680 e 850 ppm, respectivamente. Fageria et alii (1984), estudando a lerância à toxidez de Fe por cultivares de arroz em solução nutritiva, concluíram que as cultivar diferiram em tolerância à toxicidade de ferro, dentro das condições em que foram avaliadas. Clas ficaram as cultivares/linhagens como tolerantes, moderadamente tolerantes, moderadamente susce veis e suscetíveis à toxicidade do ferro.

Malavolta & Fornasiere Filho (1983), revisando a literatura da cultura do arroz de sequ ro, constataram ser pouco abundante a literatura sobre micronutrientes. Citam que, embora a dis nibilidade de ferro seja menor nos solos de arroz de sequeiro do que nos solos indundados, o t do nutriente nas variedades cultivadas em cada condição é semelhante. Reportam que a deficiên

de ferro não foi descrita no país, podendo, no entanto, vir a ocorrer em solos arenosos pobres em ferro, ácidos, ou quando se faz calagem excessiva. Observaram que a toxicidade de ferro é encontrada com alguma freqüência em arroz irrigado.

RESPOSTAS DAS CULTURAS AO MANGANÊS

A química do manganês e dos seus compostos no solo é muito complexa. O elemento pode existir no solo em três valências sujeitas a um equilíbrio dinâmico: Mn^{2+}, manganês bivalente, que ocorre na forma trocável e na solução do solo; Mn^{3+}, manganês trivalente, possivelmente como óxido muito reativo (Mn_2O_3); e na forma tetravalente, Mn^{4+}, como pirolusita, um óxido muito estável. Condições de elevado pH e de boa oxidação estimulam a formação de MnO_2 e reduzem a disponibilidade de manganês para as plantas. A Figura 1 mostra a transformação entre as diversas formas de manganês nos solos. A cada unidade de pH que se eleve, a concentração de manganês (Mn^{2+}) na solução diminui 100 vezes (Malavolta & Kliemann, 1985).

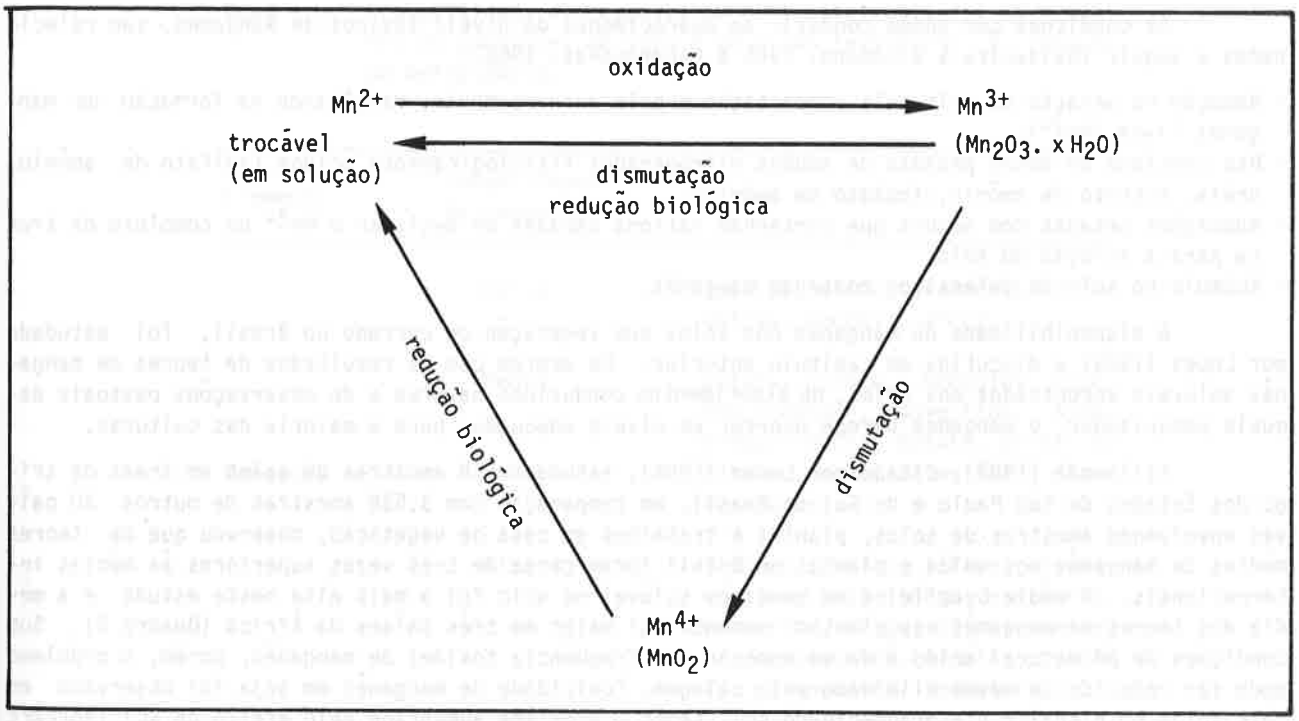


Fig. 1. Transformação das formas de manganês no solo.

Fonte: adaptado de Malavolta & Kliemann (1985).

A concentração total de manganês no solo não está geralmente relacionada com sua disponibilidade para as plantas. Dos três estados de valência, somente o divalente pode ocorrer em quantidades disponíveis na forma solúvel. O manganês nos estados tri e tetravalente geralmente ocorre como óxidos insolúveis, embora a forma trivalente possa ocorrer também em solução desde que devidamente complexada. Por este motivo, as condições que modifiquem o potencial redox e o pH do solo têm influência marcante na forma e distribuição do manganês no perfil. As reações químicas energéticas de fungos e bactérias, também têm influência na transformação do estado de oxidação do manganês no solo (Malavolta, 1976).

Os principais fatores que contribuem para o aparecimento das deficiência de manganês nas plantas, foram resumidos por Lucas & Knezek (1973), Malavolta (1976) e Lopes (1984):

- Solos alcalinos ou ligeiramente ácidos
- Maior disponibilidade na faixa de pH 5,0 a 6,5
- Solos orgânicos
- Podzóis hidromórficos
- Regossolos
- Solos arenosos com baixa CTC e sujeitos a altos índices pluviométricos
- Gley pouco húmicos
- Solos margosos
- Solos ricos em ferro, cobre e/ou zinco
- Estiagem (aumento da aeração e oxidação do Mn^{2+})
- Baixa intensidade luminosa (afeta a absorção pelas plantas)
- Baixa temperatura do solo (afeta a absorção pelas plantas)

Deficiências de manganês são encontradas em solos orgânicos ou minerais mal drenados. A re
dução de manganês para formas bivalentes e subseqüente lavagem pode concorrer para baixar os teo-
res deste elemento nesses solos.

As condições que podem conduzir ao aparecimento de níveis tóxicos de manganês, são relaci
nadas a seguir (Malavolta & Kliemann, 1985 e Labanauskas, 1966):

- Redução na aeração do solo pela compactação e pelo encharcamento, resultando na formação de man
  ganês livre (Mn^{2+});
- Uso contínuo de doses pesadas de adubos nitrogenados fisiologicamente ácidos (sulfato de amônio
  uréia, nitrato de amônio, fosfato de amônio);
- Adubações pesadas com adubos que contenham cátions capazes de deslocar o Mn^{2+} do complexo de tro
  ca para a solução do solo;
- Acúmulo no solo de defensivos contendo manganês.

A disponibilidade de manganês nos solos sob vegetação de cerrado no Brasil, foi estudad
por Lopes (1983) e discutida em capítulo anterior. De acordo com os resultados de teores de manga
nês solúveis encontrados nos solos, de experimentos conduzidos na área e de observações pessoais da
quele pesquisador, o manganês parece ocorrer em níveis adequados para a maioria das culturas.

Sillanpää (1982), citado por Lopes (1984), estudando 58 amostras de solos em áreas de tri
go dos Estados de São Paulo e do Sul do Brasil, em comparação com 3.538 amostras de outros 30 pa
ses envolvendo amostras de solos, plantas e trabalhos em casa de vegetação, observou que os teore
médios de manganês nos solos e plantas no Brasil foram cerca de três vezes superiores às médias i
ternacionais. A média brasileira de manganês solúvel no solo foi a mais alta neste estudo e a m
dia dos teores de manganês nas plantas somente foi maior em três países da África (Quadro 2). S
condições de pH natural ácido é de se esperar com freqüência toxidez de manganês, porém, o proble
pode ser reduzido ou mesmo eliminado pela calagem. Toxicidade de manganês em soja foi observada
dois solos no planalto rio-grandense-do-sul, sendo o problema aumentado pelo efeito de KCl (Borke
et alii, 1975).

Dados obtidos na região semi-árida do nordeste do Brasil (Horowitz & Dantas, 1966), em
perfis de solos típicos da região do sertão de Pernambuco, mostraram a presença de teores consid
rados suficientes de manganês facilmente redutível (> 20 ppm).

Em região periodicamente úmida, Lopes (1984) refere-se a dados obtidos em São Paulo por
rios pesquisadores, incluindo 28 perfis, onde houve uma boa relação entre o material de origem
solo e todos os micronutrientes estudados. Solos cujo material de origem é proveniente de roc
ígneas básicas apresentam os teores mais elevados de cobalto, molibdênio, cobre, zinco e mangan
enquanto solos formados de sedimentos arenosos apresentam os menores níveis destes micronutrient
à excessão de molibdênio total.

Na região da mata de Pernambuco e em Alagoas, Horowitz & Dantas (1966) e Dantas (1971)
terminaram níveis surpreendentemente baixos de manganês disponível. Em 22 perfis estudados, some
um apresentou manganês redutível superior a 20 ppm, teor este considerado crítico. Estes auto
levantaram a hipótese de que o baixo rendimento das culturas em alguns solos da zona da mata es
ria relacionado com a deficiência de manganês nas plantas.

No Estado de Mato Grosso, Souza et alii (1981), obtiveram média de 34 ppm de manganês

traível em 312 amostras coletadas em 6 propriedades. As análises de manganês indicaram que em 2 das propriedades estudadas ocorriam níveis considerados baixos (6 e 14 ppm). Os níveis de manganês nas forrageiras eram suficientes para atender as exigências dos bovinos em todas as áreas estudadas, mas os níveis desse micronutriente no fígado dos animais foram deficientes em 5 das propriedades, na estação chuvosa.

Cox e Kamprath (1973) indicaram o nível crítico de 5 ppm para manganês solúvel em HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025N. Lopes (1984) sugere que para solos de cerrado com pH de 4,8 a 5,2, o valor do nível crítico para manganês será certamente menor.

O Quadro 5 apresenta a resposta de diferentes culturas ao manganês, em condições de solo e clima favoráveis à deficiência. Labanauskas (1966) cita como plantas indicadoras de deficiência de manganês a macieira, a aveia, a beterraba, a cerejeira e as plantas cítricas, e como indicadoras do excesso a alfafa, a couve-flor, o repolho, o abacaxi, a batata, o tomateiro, a beterraba açucareira e o trevo.

Quadro 5. Probabilidade de resposta de diferentes culturas ao manganês em condições de solo e de clima favoráveis à indução de deficiência.

Elemento	Probabilidade de resposta	Culturas
Manganês	Baixa	aspargo, milho, gramíneas forrageiras, centeio, arroz;
	Média	alfafa, cevada, brócolos, repolho, cenoura, couve-flor, aipo, trevo, menta, batata, arroz, tomateiro, nabo, cafeeiro, cana-de-açúcar;
	Alta	feijões, pepino, alface, cevada, ervilha, soja, sorgo, espinafre, beterraba, trigo, citrus, macieira, pessegueiro, videira, roseira, morangueiro, mandioca.

Fonte: adaptado de Lucas & Knezek (1973) e de Malavolta & Kliemann (1985).

À semelhança do ferro, a deficiência de manganês nas principais culturas brasileira é pouco citada, havendo maiores problemas de toxicidade deste elemento. O Quadro 4 apresenta a resposta de diferentes culturas ao manganês no Brasil, sendo duas das citações de cana-de-açúcar (Alagoas e Pernambuco), três de cafeeiro (Minas Gerais, São Paulo e Paraná) três de citros (São Paulo) e uma de mandioca (Sergipe).

Santos & Tupinambá (1982), estudando a relação entre o aparecimento de clorose internerval em folhas de mandioca em solos de Sergipe e o estado nutricional, identificaram o manganês como causa da clorose, aparecendo os sintomas quando o seu teor nas folhas estava inferior a 20 ppm. Os baixos teores de manganês nas folhas e a exteriorização dos sintomas de deficiência ocorreram quando os valores de pH no solo eram superiores a 5,8 e os teores de Ca^{2+} e $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ estavam acima de 3,8 e.mg/100g e 5,2 e.mg/100g, respectivamente.

Sintomas de deficiênica de manganês são às vezes observados em cultivos de cana-de-açúc no nordeste. Em algumas áreas, estes sintomas estão associados a pH elevado e ocorrem em pequen manchas resultantes de queimadas após desmatamento, ou também em solos ácidos lixiviados, pobres cálcio e magnésio. Marinho & Albuquerque (1981) obtiveram, em Alagoas, resposta de cana soca em c navial comercial apresentando sintomas de deficiências de Ca, Mg e Mn pela aplicação superfici e calcário e manganês. Os resultados são mostrados no Quadro 6 e estão de acordo com os levant mentos feitos por Horowitz & Dantas (1966) e Dantas (1971), em solos de zona da mata de Pernambu e Alagoas, referente a teores surpreendentemente baixos de Mn disponível, que foram atribuídos co decorrência do clima úmido e quente, elevada precipitação e relativa acidez do solo, a favorecer a lixiviação do manganês e outros nutrientes.

Quadro 6. Efeito de tratamentos de calcário dolomítico e de manganês, aplicados em cana soca sobre as produções de cana e de açúcar, em dois locais em Alagoas.

Tratamentos[1]	Usina Santo Antonio			
	Quitunde		Chã de margarida	
	Cana	Açúcar	Cana	Açúcar
X - Test. sem calcário	51,94	7,20	70,85	9,83
A - 2 t de calcário/ha	75,02	10,56	80,34	11,51
B - 4 t de calcário/ha	77,25	10,56	73,40	10,27
C - 6 t de calcário/ha	74,48	10,76	78,86	11,44
D - 4 t de calcário/ha + 7,5 kg de Mn/ha	92,09	12,88	78,27	11,02
Teste de F *p≤0,05 e **p≤0,01	**	**	**	*

[1]Todos tratamentos receberam igualmente N, P, K, Cu, Zn e Fe.

Fonte: adaptado de Marinho (1983).

De-Polli & Dobereiner (1974) citam que deficiência de manganês e de outros micronutri tes limitaram a fixação de nitrogênio e o desenvolvimento de leguminosas em solos Podzol Vermel amarelo. O uso de FTE (Fritted Trace Elements) duplicou a produção de proteínas em centrosema e tras leguminosas.

Em trabalho com soja, Franco & Dobereiner (1971) verificaram os efeitos tóxicos do mar nês em um solo ácido, na simbiose soja-Rhizobium. A nodulação e fixação do nitrogênio foram m sensíveis à toxidez de manganês, que o desenvolvimento das plantas. Concluíram que o Mn em exc so deve ser considerado ao se fazer calagem para soja.

Miranda et alii (1981), estudando o comportamento das variedades de soja Biloxi e Fore em casa de vegetação com amostras sub-superficiais de Latossolo Roxo distrófico de São Paulo, c cluíram que a cultivar Forest é a mais eficiente na absorção de manganês e na manifestação de s tomas de toxicidade. Esta cultivar é apontada para ser utilizada como planta indicadora de ní tóxicos de manganês no solo.

Rosolem (1980) cita que a deficiência de manganês na soja pode ocorrer em solos com muita matéria orgânica ou solos com pH muito elevado (superior a 6,3), e que toxicidade pode ser observada em solos com pH inferior a 5,0. Ocorrência de manchas em folhas, que amareleciam e depois secavam, foram atribuídas a um excesso de manganês no tecido (300 ppm) ou a alta relação Mn/Fe. Ainda, segundo Rosolem (1980), a maioria dos ensaios com micronutrientes não têm revelado respostas significativas e esporadicamente tem sido encontrada resposta ao molibdênio.

Oliveira & Malavolta (1982) estudaram os efeitos do alumínio e do manganês no feijoeiro, classificando 38 cultivares em relação ao manganês em dois grupos: a) medianamente sensíveis, as cultivares que apresentaram baixa produção com 102 e 118 ppm de manganês na solução nutritiva (Carioca, CR 911, Cuva 168 N, Rico Pardo e Rio Tibagi) e b) sensíveis, as cultivares que apresentaram baixa produção em solução nutritiva na presença de 72 a 99 ppm de manganês (Costa Rica 1031, Goiano Precoce, Jamapa, Porrillo Sintético e Rosinha). Nogueira et alii (1982), estudando efeitos de micronutrientes em solução nutritiva em plantas de feijão-de-corda, verificaram que as deficiências de boro, de ferro e de manganês e a toxicidade de manganês, resultaram na manifestação de sintomas visuais bem característicos.

Na cultura cafeeira, poucas referências são feitas à deficiência de manganês. Küpper (1981), refere-se que mais freqüentemente o manganês é limitante por excesso em solos ácidos. Franco (1982), reporta que o manganês normalmente não constitui problemas para o cafeeiro. Os solos são de maneira geral ricos em manganês e os raros casos de deficiência foram causados pela elevação do pH por calagem, sendo que efeitos tóxicos ocorrem com mais freqüência que deficiências. Em trabalho realizado por Moraes et alii (1976), parcelas com cafeeiros que receberam adubações nitrogenadas com uréia e sulfato de amônia durante 12 anos apresentaram aumento do teor de manganês foliar, para 508 e 546 ppm, respectivamente, enquanto as plantas das parcelas que não receberam aqueles adubos, tiveram o teor foliar de 190 ppm. Em outro ensaio de vasos, os mesmos autores (Moraes et alii, 1979), estudando o efeito acidificante de fontes de nitrogênio, observaram que nove meses após a aplicação dos tratamentos, o pH do solo baixou de 6,1 na testemunha sem adubação nitrogenada, para 4,8 - 4,9 com nitrato de amônio, para 4,4 - 4,7 com sulfato de amônio e 4,7 - 5,1 nos vasos que receberam uréia. Os teores de manganês encontrados nas folhas foram de 393, 1.450, 2.667 e 3.887 ppm, para as plantas na testemunha e nos vasos que receberam nitrato de amônio, sulfato de amônio e uréia, respectivamente. O Quadro 7, extraído de Moraes (1981), apresenta outros dados sobre o assunto. Nesta pesquisa, a intensidade dos sintomas de toxicidade apresentados foi relacionada com o teor de manganês foliar. Chaves et alii (1984), conduzindo experimentos de campo em dois dos principais solos da região cafeeira do Paraná para estudar a influência de doses de calcário na produção de café, concluíram que os efeitos da calagem no estado nutricional foram pronunciados em virtude do aumento nos teores de cálcio e magnésio, redução nas de manganês, com eliminação dos efeitos tóxicos, redução dos teores de zinco e potássio e inalteração nas concentrações de nitrogênio, fósforo e cobre nos tecidos foliares. Cervellini (1981) reporta que as deficiências de manganês em cafeeiro podem ocorrer por excesso de calagem ou matéria orgânica. Teores tóxicos podem ocorrer em solos mais ácidos com redução do tamanho das folhas e pequenas pontuações cloróticas, com decréscimo de produção. Teores tóxicos de manganês podem induzir deficiência de ferro e zinco. Pavan & Bingham (1981) estudaram a toxicidade do manganês em plântulas de cafeeiro, variedade Catuaí Vermelho, brotadas em caixas de areia. Os resultados mostraram que a absorção de manganês foi proporcional à quantidade de manganês adicionada na solução e as injúrias nas plantas foram proporcionais a absorção deste elemento. O máximo de desenvolvimento das plantas foi associado à relação Mn/Fe de 7,64 nas folhas e decresceu para 25% do máximo de desenvolvimento quando a relação aumentou para 18. Concentrações de 1.200 e 2.600 µg/g de manganês nas folhas foram correlacionadas com sintomas de toxicidade "média" e "muito severa", respectivamente. Os sintomas de toxicidade de manganês foram observadas nas folhas mais novas, pela clorose marginal e por alguns pontos necróticos que apareceram no limbo. O excesso de manganês na solução diminuiu a absorção de ferro e de cálcio mas não afetou o boro, o zinco, o magnésio e o nitrogênio total nas folhas.

Na cultura da laranjeira, Malavolta (1979) cita que foram observadas em São Paulo as deficiências dos seguintes micronutrientes com a freqüência fixada em unidades arbitrárias que vão de 0 a 10: zinco= 10; Mn= 5; B= 3; Fe= 2; Cu= 1; Mo= 1. Este autor observa que no resto do País é possível que a freqüência de ocorrência seja semelhante. Rodrigues (1980) reporta sintomas de deficiência de manganês, em citros em solos alcalinos ou em áreas que receberam calagem excessiva. Os

sintomas de deficiência surgem em folhas de tamanho normal (ao contrário do zinco) e principalmente nas partes sombreadas das plantas. Estes sintomas se caracterizam pelo aparecimento de cloroses entre as nevuras, porém mais pálidas e menos acentuadas que as de deficiência de zinco. Hiroce & Caetano (1984), realizaram levantamento sistemático do estado nutricional de citros em São Paulo através de análise foliar, a partir de 1960. Os resultados, de uma maneira geral, mostraram elevadas porcentagens de pomares carentes em zinco. Os outros micronutrientes, boro, manganês e molibdênio, apresentaram menor freqüência de deficiência. Levantamentos realizados no Distrito Federal apresentaram, entretanto, ocorrência de elevadas porcentagens de pomares com indicações de carência de manganês, zinco e cobre.

Quadro 7. Efeito do emprego de fertilizantes nitrogenados acidificantes sobre o pH, alumínio e manganês no solo e sobre os teores de manganês em folhas de cafeeiros em solo Podzolizado de Lins e Marília.

Tratamentos	Solo[1]			Folhas de cafeeiros	
	pH	Al^{3+}	Mn^{2+}	Mn	d.m.s.
		e.mg/100g	ppm	ppm	
Sem N	6,1	0	26	348	235
Nitrato de Amônio[2]	4,9	< 0,5	130	1683	-
Uréia[2]	4,7	0,5	83	4131	-
Sulfato de Amônio[2]	4,7	0,5	108	2410	-

[1]Profundidade de 5 - 10 cm

[2]Total aplicado por fonte, 450 kg de N/ha.

Fonte: adaptado de Moraes (1981).

Na cultura do arroz, Galrão et alii (1978) e Galrão (1984), trabalhando em solos sob vegetação de cerrado, só obtiveram resposta para o zinco, entre os micronutrientes testados (B, Cu, Fe Mn, Mo e Zn). Malavolta & Fornasieri Filho (1983) citam que devido a acidez dos solos onde se cu tiva arroz, é improvável que ocorra deficiência de manganês, exceto se for feita calagem excessiva Observam que o arroz tolera altas concentrações de manganês.

Em outras culturas existem poucas referências de problemas de carência de manganês. Muzil li (1985) refere-se que é pouco freqüente a obtenção de efeitos positivos com o uso de micronu trientes no trigo em áreas semi-tropicais brasileiras. Suspeitas de falta de zinco, manganês e fe ro têm sido constatadas em lavouras onde o calcário e adubos fosfatados foram empregados em excess e por vários anos seguidos. Cita também a ocorrência de problemas com o boro nos cerrados.

Em algodão e hortaliças, também não existem citações de problemas de deficiência de mang nês (Silva & Carvalho, 1982; Haag et alii, 1982 e Filgueira, 1981). No caso das hortaliças, o nã aparecimento de carência de manganês é explicado em parte pelo uso freqüente de fungicidas a bas de manganês, cobre e zinco, que são absorvidos via foliar.

Problemas de toxidez de manganês em cultivos de café, soja, leguminosas forrageiras e fe jão no Brasil, foram reportados por Malavolta et alii (1977), Malavolta & Kliemann (1985) e Lop (1984).

RESPOSTAS DAS CULTURAS AO COBRE

O cobre é absorvido pelas plantas em quantidades muito pequenas. O conteúdo de cobre na maioria das plantas é geralmente entre 2 e 20 ppm na matéria seca, ou seja, em torno de um décimo do teor de manganês (Mengel & Kirkby, 1982).

As principais condições de solo que contribuem para o aparecimento de deficiências de cobre, de acordo com Lucas & Knezek (1973), Malavolta & Kliemann (1985) e Reuther & Labanauska (1966), são:

- baixo teor de cobre total no solo (menos de 6 ppm em solos minerais e menos de 30 ppm em solos orgânicos);
- alto teor de fósforo, nitrogênio e zinco no solo;
- solos arenosos lixiviados e turfosos;
- solos ácidos lixiviados;
- calagem excessiva ou mal feita.

A disponibilidade do cobre depende do pH, porém não aumenta apreciavelmente até que o índice se situe abaixo de 5,0. As respostas encontradas à adição de Cu em solos ácidos podem ser devidas ao excesso de outros elementos inibindo a absorção do cobre originalmente presente. A forte complexação do cobre pela matéria orgânica no solo é considerada um fator importante para explicar porquê a deficiência desse micronutriente não é tão freqüente quanto a do zinco em valores elevados de pH, embora ambos microelementos tenham sua solubilidade diminuída com o aumento do pH (Malavolta, 1976).

Na região semi-árida de Pernambuco, Horowitz & Dantas (1973) sugerem que a maioria dos solos da região é adequadamente suprida em cobre na solução.

Na região periodicamente úmida, Lopes (1984), resumindo estudos realizados em São Paulo e Pernambuco, relata que em São Paulo houve boa relação entre micronutrientes e material de origem. Os solos derivados de rochas ígneas básicas apresentam teores mais elevados de cobre do que solos muitos arenosos. Os dados com solos do Estado de Pernambuco revelaram teores de cobre solúvel alto, levando-se em consideração que o material de origem é predominantemente ácido. Apenas 4 dos 11 perfis estudados apresentaram teores baixos de cobre, sugerindo problemas de deficiência.

A disponibilidade de cobre nos solos sob vegetação de cerrado no Brasil foi estudada por Lopes (1983) em 518 amostras de solos. Os dados mostraram teores com amplitudes de zero a 9,7 ppm (extrator duplo ácido) e com mediana de 0,6 ppm. Utilizando como nível crítico 1 ppm de cobre (Programa NCSU), 70% das amostras seriam consideradas deficientes. Entretanto, os experimentos realizados na região dos cerrados com várias culturas, de acordo com Lopes (1983), não têm mostrado resposta ao cobre. Este autor conclui que a falta de consistência do nível crítico e sobretudo o uso de pesticidas a base de cobre nessa região fazem com que a necessidade de aplicação de cobre não seja tão acentuada como a do zinco.

Na região Sul (São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), em 58 amostras de áreas de trigo, foram encontrados teores muito altos de cobre quando comparados com outras áreas, indicando que existe boa disponibilidade deste elemento nestes solos (Quadro 2). Os teores de cobre no tecido das plantas de trigo, assim como o cobre solúvel no solo, variaram grandemente, estando 50% na faixa normal e 50% na faixa mais alta, esperando-se conseqüentemente excesso deste elemento em 50% das áreas estudadas (Sillanpää (1982), citado por Lopes, 1984).

Na região úmida, em áreas próximas à Manaus e na região canavieira da Bahia, trabalhos experimentais e extrações químicas realizadas por pesquisadores, citados por Lopes (1984), não sugerem indicações de problemas com cobre, com exceção de dois oxissolos e um ultissolo da Bahia com teores baixos.

Trabalhos em casa de vegetação com milho, em dois solos da Amazônia peruana, mostraram que além da resposta à calagem, houve deficiências de nitrogênio, fósforo, potássio e também de enxofre e cobre que podem ser limitantes da produção (Secondary and micronutrient..., 1975).

No Quadro 8, são apresentadas as probabilidades de resposta de diferentes culturas ao cobre em condições de solo e de clima favoráveis à indução de deficiência.

Quadro 8. Probabilidade de resposta de diferentes culturas ao cobre em condições de solo e de clima favoráveis à indução de deficiência.

Elemento	Resposta	Culturas
Cobre	Baixa	aspargo, feijões, gramíneas forrageiras, ervilha, menta, batata, centeio, soja, arroz;
	Média	brócolos, repolho, couve-flor, aipo, trevo, pepino, milho, algodoeiro, rabanete, sorgo, beterraba, tomateiro, nabo, macieira, pessegueiro, pereira, morangueiro;
	Alta	alfafa, cevada, cenoura, alface, aveia, espinafre, trigo, citrus, cana-de-açúcar, cafeeiro.

Fonte: adaptado de Lucas & Knezek (1973) e de Malavolta & Kliemann (1985).

Reuther & Labanauskas (1966) citam as seguintes espécies como plantas indicadoras de d ficiência de cobre: citros, ameixeira, pessegueiro, damasqueiro, macieira, oliveira (apresentam s tomas onde outras espécies crescem normalmente), aveia, cevada, milho, fumo, tomateiro, cebola e face. Como plantas boas indicadoras do excesso de cobre são citadas: trevo, alfafa, espinafre e g díolos.

O Quadro 4 apresenta indicações da ocorrência de deficiência de cobre observadas no Br sil. Os maiores problemas ocorrem com cafeeiro, cana-de-açúcar, laranjeira e hortaliças.

Na cultura do cafeeiro, Cervellini (1981) cita outros pesquisadores que descreveram sint mas de deficiência de cobre em condições de campo nos Estados de São Paulo, Espírito Santo, Bah (Vitória da Conquista), Rio de Janeiro (Friburgo), Minas Gerais (Zona da Mata), Ceará (São Benec to) e Pernambuco (Garanhuns). Küpper (1981) cita que a deficiência de cobre dificilmente ocor no cafeeiro. Uma das razões da baixa freqüência, é o fato desta cultura ter iniciado e expandi com intensidade o cultivo em solos distróficos após o aparecimento da ferrugem, sendo o contro desta moléstia feito a base de produtos com cobre. A baixa disponibilidade do cobre nos solos s vegetação de cerrado pôde ser constatada através da reação ao elemento pela variedade "Catimo que é resistente à ferrugem e não recebia cobre como fungicida nas Estações Experimentais do In tituto Brasileiro do Café em Varginha e em Caratinga, no Estado de Minas Gerais (Küpper, 1981). Fr co (1982) também cita que a deficiência de cobre em cafezais não constitui grande problema no Br sil, principalmente porque as áreas onde há a carência do elemento são muito pequenas, geralme ocorrendo em cafezais novos cultivados em solos pobres de cerrado e onde não é feito o controle ferrugem com pulverização de produtos a base de cobre. Cita também que vários autores notaram efeito "tônico" de pulverizações com fungicidas cúpricos e outros fungicidas, produzindo cor ve mais escuro e menor queda das folhas devido ao controle de patógenos da folha, mesmo não havendo ficiência de cobre. Segundo Rena & Maestri (1985), esse efeito pode ser atribuído à eliminação microflora da superfície foliar, a qual produz etileno, um fitohormônio promotor de senescência e abscisão. Carvajal (1981) cita que nos cafezais da América Central são raros os problemas de ficiência de cobre devido a adequada capacidade de suprimento dos solos.

Os sintomas de deficiência de cobre em cana-de-açúcar em condições de campo foram descritos pela primeira vez no Brasil em 1958, segundo Fernandes (1972) e posteriormente por Sultanun (1974). A ocorrência de sintomas de deficiência de cobre é caracterizada pela clorose da folhagem, variando de moderada a severa. As folhas apresentam um alongamento acentuado e um envergamento característico, conhecido como "topo caído" ("droopy top"). Deficiências de cobre e zinco em cana-de-açúcar são comuns em áreas de solos de baixa fertilidade no nordeste. Os Podzóis e os Latossolos de tabuleiro são solos que freqüentemente apresentam deficiência de cobre e zinco. Deficiências deste elemento são encontradas em áreas do Estado do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia (Fernandes, 1972; Sultanun, 1974; Marinho & Albuquerque, 1981 e Santos & Sobral, 1980). A Figura 2 e o Quadro 9 mostram respostas de cana-de-açúcar a aplicação do cobre. Santos & Sobral (1980), utilizando o extrator "Carolina do Norte", indicam o nível crítico de 0,8 ppm e Marinho & Albuquerque (1981) observaram que houve resposta da cana-de-açúcar em solos com 0,5 ppm de cobre (Quadro 10). Marinho & Albuquerque (1981) também observaram resposta da cana-de-açúcar a zinco em alguns solos do Estado de Alagoas (Quadro 11). Horowitz & Dantas (1973), analisando 11 perfis de solo do litoral e da zona da mata do Estado de Pernambuco, encontraram quatro solos com menos de 0,6 ppm solúvel em EDTA 0,05M e a maioria com menos de 1 ppm solúvel em HCl 0,1N ao longo do perfil, sugerindo possíveis deficiências para as plantas cultivadas.

São poucas as citações sobre problemas de cobre em citros. Rodrigues (1980) refere-se que em pomares onde é comum o controle de fungos com produtos a base de cobre, não costuma ocorrer essa deficiência. Hiroce & Caetano (1984), em levantamento do estado nutricional dos pomares de São Paulo através de análise foliar entre 1978 e 1980, observaram elevados teores de cobre, sugerindo que esses valores podem ter resultado da aplicação do elemento por via foliar como fungicida.

Na cultura do algodão, não foram verificadas respostas positivas devida à aplicação de cobre (Silva & Carvalho, 1982).

Brito et alii (1971), estudando em Latossolo Vermelho-escuro sob vegetação de cerrado, em Brasília, a resposta da soja, milho e algodão, à aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) associada a cobre, zinco, molibdênio, boro e manganês, observaram que a adubação de NPK associada ao zinco deu as melhores produções. Com a substituição de zinco pelo cobre, constataram as mais baixas produções. Galrão et alii (1984) estudaram em casa de vegetação os efeitos do calcário, enxofre, cobre, zinco, boro e molibdênio em dez solos de várzea da região de cerrados. As respostas da soja obedeceram a seguinte ordem: boro > enxofre > cobre > zinco. Foram observados efeitos do cobre sobre a produção de matéria seca nos seguintes solos: Laterita hidromórfica, areia quartzosa hidromórfica e solo orgânico. Em outro trabalho em casa de vegetação com três solos de cerrado e quatro leguminosas tropicais, realizado por Jones et alii (1970), foi estudado pelo método de omissão, o efeito de cinco micronutrientes sobre a produção. Todas as espécies produziram menos na presença de cobre e ferro em um regossolo. Em Latossolo Vermelho não houve resposta aos micronutrientes. Em Santa Catarina, Ben et alii (1977) observaram num Latossolo Roxo distrófico que a aplicação de calcário pelo método SMP para elevar o pH a 6 aumentou a produção de grãos de soja em 27,5%, não tendo o solo apresentado limitações por cobre, boro, zinco e molibdênio.

Galrão (1984) estudou o efeito de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) e do cobalto em experimentos de campo, em Latossolo Vermelho-escuro originalmente sob vegetação de cerrado. Foram feitos seis cultivos na seqüência arroz, milho, soja, milho e milho. Em comparação ao tratamento completo, o tratamento sem zinco foi o único que apresentou decréscimos significativos na produção dos quatro primeiros cultivos. Foram observados efeitos dos tratamentos com cobre, ferro e zinco nos teores foliares das plantas.

Malavolta & Fornasiere Filho (1983) citam que o arroz de sequeiro parece ser muito eficiente para absorver e utilizar o cobre do substrato, e que ainda não foram constatadas no Brasil deficiências deste elemento em condições de campo. Ponnamperuma (1975) cita que são poucos os estudos sobre problemas de deficiência de cobre em solos arrozeiros tropicais.

Galrão & Souza (1985) realizaram experimento de campo com a cultura do trigo, em solo orgânico, com o objetivo de estudar o efeito da aplicação de doses de cobre na forma de sulfato, a lanço. Os resultados mostraram que o tratamento sem cobre apresentou a menor produção de grãos e diferiu significativamente dos demais. A aplicação de cobre também reduziu em torno de 76% a esterilidade masculina. Nos testes de soluções extratoras, o HCl 0,1N, o Mehlich-3 e o DTPA apresen

taram boa capacidade de estimar a disponibilidade de cobre no solo para o trigo. Por outro lado, o extrator Mehlich-1 (rotina) apresentou a mais baixa capacidade de avaliação de cobre no solo. Estes autores observaram ainda que as doses crescentes de cobre tiveram efeito negativo sobre o teor de ferro no tecido das folhas de trigo.

Perim et alii (1980), estudando em Latossolo Vermelho-escuro distrófico sob vegetação de cerrado, a resposta da mandioca à calagem e a N, P, K, S, B, Cu, Mn, Mo e Zn, verificaram que somente o tratamento testemunha e naqueles onde se omitiu P, K ou Zn, ocorreram rendimentos de raízes significativamente inferiores em relação ao tratamento completo.

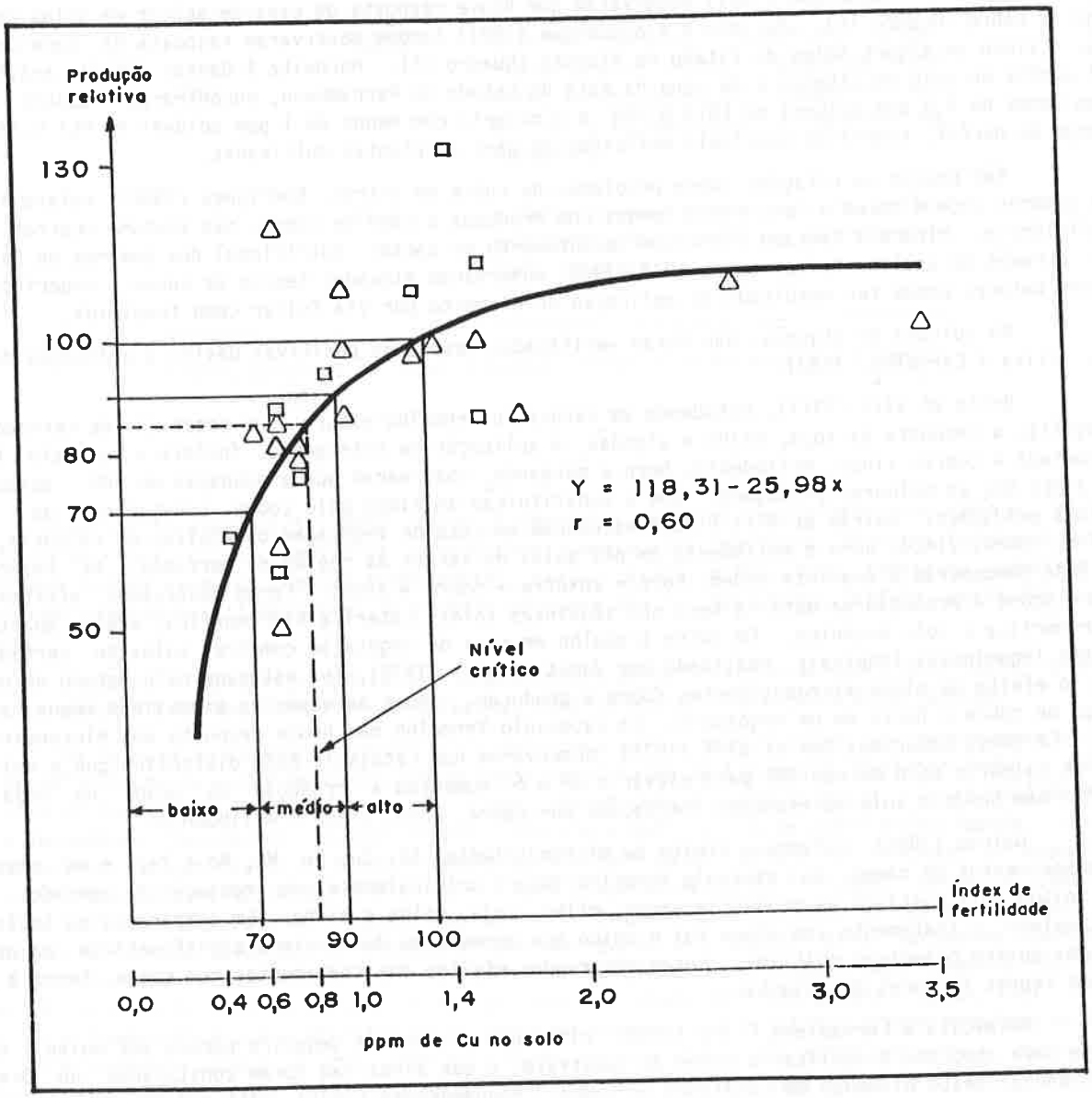


Fig. 2. Relação entre os teores de Cu do solo e a produção relativa da cana-de-açúcar.

Fonte: adaptado de Santos & Sobral (1980).

Quadro 9. Efeito de doses de cobre sobre as produções de cana, de açúcar, pol na cana e pureza do caldo em cana planta, soca e ressoca em quatro locais.

Doses de cobre aplicados (kg/ha)	Cana			Açúcar			Pol na cana			Pureza		
	1	2 (t/ha)	3	1	2 (t/ha)	3	1	2 (%)	3	1	2 (%)	3
						Usina Peixe (1972)						
0	46,7	82,9	-	6,1	11,2	-	12,5	13,4	-	72,7	79,8	-
2,5	93,6	101,5	-	12,2	13,9	-	13,0	13,7	-	74,9	80,4	-
5,0	85,2	100,7	-	11,3	13,7	-	13,3	13,7	-	74,5	81,0	-
10,0	101,2	103,4	-	13,5	14,3	-	13,3	13,9	-	73,5	81,2	-
20,0	82,3	104,8	-	11,4	14,8	-	13,8	14,1	-	75,0	82,6	-
40,0	68,1	106,9	-	9,4	15,5	-	13,8	14,5	-	74,4	83,6	-
Nível de significância[4]	**	n.s.		**	*		**	n.s.		n.s.	n.s.	
						Usina Cachoeira do Meirim (1973)						
0	82,6	63,0	-	11,6	9,1	-	14,1	14,4	-	78,7	85,6	-
5	94,2	61,5	-	13,8	8,7	-	14,7	14,4	-	81,5	86,0	-
10	80,1	55,5	-	12,4	8,0	-	15,5	14,4	-	83,2	85,6	-
15	72,3	52,9	-	10,8	7,7	-	15,0	14,6	-	81,9	85,6	-
20	80,9	53,8	-	12,2	7,8	-	15,0	14,5	-	82,5	86,4	-
25	81,5	51,6	-	12,5	7,4	-	15,3	14,4	-	84,0	85,9	-
Nível de significância[4]	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.		**	n.s.		**	n.s.	
						Usina Porto Rico (1973)						
0	77,2	37,8	45,7	11,1	4,3	5,9	14,4	11,5	13,2	81,2	81,6	82,3
5	75,4	56,0	73,6	10,9	7,1	9,8	14,5	12,6	13,3	82,3	85,1	82,5
10	79,4	58,7	70,8	11,6	7,4	9,1	14,6	12,6	13,3	82,0	86,3	83,7
15	78,3	52,3	73,5	11,1	6,5	10,0	14,2	12,3	13,6	81,3	85,4	84,8
20	76,5	52,6	66,2	11,1	6,7	9,1	14,5	12,3	13,9	82,5	83,4	82,9
25	77,9	58,6	75,0	11,0	7,2	9,8	14,0	12,3	13,1	81,9	83,7	81,2
Nível de significância[4]	n.s.	**	**	n.s.	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
						Usina Coruripe (1975)						
0	105,3	-	-	12,5	-	-	11,9	-	-	85,4	-	-
2,5	107,8	-	-	13,4	-	-	12,5	-	-	88,7	-	-
5,0	106,7	-	-	12,8	-	-	12,0	-	-	84,2	-	-
7,5	107,0	-	-	13,0	-	-	12,2	-	-	82,6	-	-
10,0	110,8	-	-	13,4	-	-	12,1	-	-	83,5	-	-
12,5	109,5	-	-	13,5	-	-	12,3	-	-	82,9	-	-
Nível de significância[4]	n.s.			n.s.			n.s.			n.s.		

[1] Cana planta
[2] Cana soca
[3] Cana ressoca
[4] Nível de significância: *($p \leq 0,05$), **($p \leq 0,01$) e n.s.= não significativo.

Fonte: adaptado de Marinho & Albuquerque (1981).

Quadro 10. Recuperação de cobre por análise de solo em diferentes épocas de amostragem e indicações da resposta da cana-de-açúcar a seis doses de cobre, em oito locais no Estado de Alagoas.

Locais/Usinas	Época de amostragem do solo	Doses de cobre aplicado / Teor de cobre na amostra						Indicação da resposta cana-de-açúcar[1]
	meses após a aplicação	Doses de cobre aplicado, kg/ha						
		0,0	2,5	5,0	10,0	20,0	40,0	
		Teor de cobre nas amostras, ppm						
Peixe	27	0,25	0,63	1,25	2,25	10,75	6,38	**[2]
		Doses de cobre aplicado, kg/ha						
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	
		Teor de cobre nas amostras, ppm						
Cach. do Meirim	15	0,0	2,25	4,13	3,75	6,51	10,27	**
	28	0,0	0,5	1,63	3,25	3,13	-	
Porto Rico	15	0,25	1,62	1,87	4,5	4,0	6,75	**
	28	0,25	0,75	1,25	3,75	3,0	6,5	
	40	0,0	0,25	0,75	0,63	2,0	1,0	
		Doses de cobre aplicado, kg/ha						
		0,0	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	
		Teor de cobre nas amostras, ppm						
Coruripe	4	0,63	0,75	0,5	0,5	1,5	1,0	n.s.
Penedo (1)	4	0,0	0,0	0,0	0,5	0,25	-	c/sintomas
Caeté (1)	4	0,75	0,75	0,85	3,25	2,25	-	c/sintomas
Utinga (1)	4	0,25	0,5	1,0	1,25	1,25	-	s/sintomas
Seresta (1)	4	0,0	0,5	1,63	3,25	3,13	-	s/sintomas

[1] A informação de indicação da resposta nestes experimentos referem-se ao aparecimento de sintomas visuais característicos de deficiência de cobre, observados até os oito meses e ao nível de significância na análise da variância de produção de cana-de-açúcar, açúcar, porcentagem pol e pureza.

[2] Nível de significância: *($p \leq 0,05$), **($p \leq 0,01$) e n.s. não significativo.

Fonte: adaptado de Marinho & Albuquerque (1981).

Dynia & Cunha (1984), estudando em casa de vegetação as limitações nutricionais de quatorze solos representando seis grandes grupos de solos do Pantanal Matogrossense, para a *Brachiaria humidicola*, encontraram deficiências de fósforo, nitrogênio, enxofre, potássio e cálcio, sendo as deficiências de cobre, zinco, boro e molibdênio praticamente inexpressivas.

São poucas as citações de deficiências de cobre em hortaliças em nosso meio. Filgueira (1981) indica que o uso de fungicidas a base de cobre, largamente utilizados em pulverizações, contribuem para a absorção foliar desse micronutriente, eliminando os problemas de deficiência que pudessem vir a ocorrer.

Quadro 11. Recuperação de zinco por análise de solo em diferentes épocas de amostragem e indicações da resposta da cana-de-açúcar a seis doses de zinco, em sete locais no Estado de Alagoas.

Locais/Usinas	Época de amostragem do solo	Doses de zinco aplicado						Indicação da resposta da cana-de-açúcar[1]
		Teor de zinco na amostra						
	meses após a aplicação	Doses de zinco aplicado, kg/ha						
		0	5	10	15	20	25	
		Teor de zinco nas amostras, ppm						
Sta Clotilde	27	0,25	0,35	0,4	0,6	0,65	1,23	*[2]
Porto Rico	27	0,15	0,25	0,65	1,73	0,55	1,9	**
	40	0,1	0,53	0,35	0,45	0,53	0,55	
Triunfo	15	0,45	5,8	3,0	9,0	4,4	5,1	**
	27	0,3	0,8	0,75	0,86	3,0	3,73	
	40	0,5	0,63	1,0	1,0	0,63	0,38	
		Doses de zinco aplicado, kg/ha						
		0,0	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	
		Teor de zinco nas amostras, ppm						
Coruripe	4	2,2	2,48	3,1	3,7	3,38	6,2	n.s.
Penedo (1)	4	0,25	0,73	1,82	0,73	-	-	c/sintomas
Seresta (1)	4	0,4	0,9	1,05	1,75	1,5	-	s/sintomas
Utinga (1)	4	0,5	0,88	0,5	1,25	0,75	-	c/sintomas

[1] A informação de indicação da resposta nestes experimentos refere-se ao aparecimento de sintomas visuais característicos de deficiência de zinco, observados até os oito meses e ao nível de significância na análise de variância de produção de cana-de-açúcar, açúcar, porcentagem pol e pureza.

[2] Nível de significância: *($p \leq 0,05$), **($p \leq 0,01$) e n.s. não significativo.

Fonte: adaptado de Marinho e Albuquerque (1981).

Malavolta et alii (1974) citam problemas de nutrição de cobre em alface, em solos turfosos, no cinturão verde de São Paulo.

Com relação aos problemas de toxicidade, Malavolta (1979) indica que o efeito residual do cobre aplicado no solo ou escorrido de pulverizações é reconhecidamente muito longo, podendo, se o tratamento for feito a intervalos curtos, causar efeitos tóxicos principalmente nos solos arenosos pobres em matéria orgânica. Reuther & Labanauskas (1966) citam problemas de excesso de cobre, em solos onde as culturas foram pulverizadas pesadamente com calda bordalesa.

Marinho & Albuquerque (1981) não observaram efeitos tóxicos para cana-de-açúcar, com aplicação única de até 25 kg/ha de cobre ou zinco elementar, na forma dos respectivos sulfatos. Leite & Skogley (1977), estudando a retenção e lixiviação de cobre e zinco em dois solos de tabuleiros do nordeste do Brasil, concluíram que as formas de sulfatos foram menos lixiviadas, sugerindo serem muito eficientes para controlar as deficiências.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base em dados obtidos através da revisão de literatura, ressalta-se as seguintes considerações:

- apesar da pesquisa com micronutrientes ter evoluído muito nos últimos anos, ainda não existem informações suficientes para uma avaliação mais objetiva de problemas nutricionais relacionados com o ferro, manganês e cobre nas principais culturas brasileiras e nas diversas condições agro-ecológicas;
- de uma maneira geral, solos derivados de rochas ígneas básicas apresentam teores mais elevados de quase todos os micronutrientes em comparação com aqueles formados por sedimentos arenosos, apresentando menores problemas de deficiência de micronutrientes que estes;
- a maioria das indicações de deficiência são feitas para o zinco e em menor escala para o boro principalmente em solos sob vegetação de cerrado que sofreram ação de intemperismo;
- deficiências de ferro e manganês são menos citadas e em muitos trabalhos são feitas referências problemas de toxicidade, notadamente por manganês;
- como os solos brasileiros tendem em sua maioria para ácidos, há menor evidência do aparecimento de deficiência de ferro e manganês e maior para a ocorrência de toxicidade;
- as deficiências de ferro e manganês estão em grande parte associadas a valores elevados de pH relacionadas muitas vezes à calagem excessiva;
- em muitas culturas, destacando-se as hortaliças e as fruteiras, as deficiências de manganês principalmente de cobre são pouco observadas, devido muitas vezes à aplicação de fungicidas a base de produtos com resíduos desses micronutrientes.
- os principais problemas e indicações de sintomas de deficiências em diversas culturas citados em vários Estados foram:

  a) **Ferro** - abacaxi (Paraíba, Ceará e Goiás), mandioca (Paraíba, Ceará e Pernambuco), cana-de-açúcar (Estados do nordeste e Santa Catarina) e cafeeiro (Pernambuco);

  b) **Manganês** - cana-de-açúcar (Alagoas e Pernambuco), mandioca (Estados do Nordeste), cafeeiro (Minas Gerais, São Paulo e Paraná) e citros (São Paulo);

  c) **Cobre** - cana-de-açúcar (Estados do Nordeste e no Rio de Janeiro), cafeeiro (Bahia, Pernambuco, Ceará, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo), citrus (São Paulo e Bahia) alface (São Paulo).

LITERATURA CITADA

BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K. & STONE, L.F. Manejo da água e calagem em relação à produtividade e toxicidade de ferro em arroz. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, 18(8):903-10, 1983.

BEN, J.R.; SCHERER, E. & BARTZ, H. Necessidades de aplicar enxofre e micronutrientes (Zn, B, Cu e Mo) para a cultura da soja em um Latossolo Roxo distrófico. Florianópolis, Empresa Catarinense de Pesquisas Agropecuárias, 1977. 6p.

BORKERT, C.M.; JARDIM FREIRE, J.R.; VIDOR, C. & GRIMM, S.S. Efeito do calcário e do cloreto de potássio sobre as concentrações de manganês e alumínio nos oxissolos Santo Ângelo e Passo Fundo e absorção de manganês por duas cultivares de *Glycine max* (L.) Merrill. Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, 11(1):45-71, 1975.

BRITTO, D.P.P.S.; CASTRO, A.F.; MENDES, W.; JACCOUD, A.; RAMOS, D.P. & COSTA, F.A. Estudo das reações a micronutrientes em Latossolo Vermelho-escuro sob vegetação de cerrado. Pesquisa agropecuária brasileira. Série Agronomia, Rio de Janeiro, 6:17-22, 1971.

CARVAJAL, J.F. Manejo das plantações de café na América Central. In: MALAVOLTA, E.; YAMADA, T. & GUIDOLIN, J.A. coord. Nutrição e adubação do cafeeiro. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato /Instituto Internacional da Potassa, 1981. cap. 11, p.213-25.

CERVELLINI, G.S. Micronutrientes na adubação do cafeeiro. In: MALAVOLTA, E.; YAMADA, T. & GUIDOLIN, J.A. coord. Nutrição e adubação do cafeeiro. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1981. cap. 6, p.91-101.

CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A. & IGUE, K. Respostas do cafeeiro à calagem. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, 19(5):573-82, maio, 1984.

COX, F.R. Micronutrientes. In: SÂNCHEZ, P.A. ed. Un resumén de las investigaciones edafológicas en las America Latina tropical. Raleigh, North Carolina Agricultural Experiment Station, 1973. p.199-215. (Technical Bulletin, 219).

COX, F.R. & KAMPRATH, E.J. Micronutrient soil test. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. eds. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1973. p.289-317.

DANTAS, H.S. Manganês e cátions permutáveis na unidade Utinga. Pesquisa agropecuária brasileira. Série Agronomia, Rio de Janeiro, 6:27-30, 1971.

DE-POLLI, H. & DÖBEREINER, J. Deficiência de micronutrientes em solo Podzólico Vermelho-amarelo e sua correção com "pellet" de F.T.E. Pesquisa agropecuária brasileira. Série Agronomia, Rio de Janeiro, 9(10):93-9; 1974.

DYNIA, J.F. & CUNHA, N.G. Identificação de deficiências de nutrientes em solos do pantanal mato-grossense. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília 19(12):1449-55, dez. 1984.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.B.; CARVALHO, J.R.P. Influências do ferro no crescimento e na absorção de P, K, Ca e Mg pela planta de arroz em solução nutritiva. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, 16(4):483-8, jul./ago., 1981.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.B. & CARVALHO, J.R.P.; RANGEL, P.H.N. & CUTRIM, V.A. Avaliação preliminar de cultivares de arroz para tolerância a toxidez de ferro. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, 19(10):1271-8, out., 1984.

FERNANDES, C.C. Ocorrência, diagnóstico e controle de deficiências de micronutrientes na cana-de-açúcar e em outras culturas no Nordeste do Brasil. Recife, IPEANE, 1972. 6p. (Comunicado Técnico, 3).

FILGUEIRA, F.A.R. Manual de horticultura; a cultura e comercialização de hortaliças, 2.ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981. 2v.

FRANCO, A.A. & DÖBEREINER, J. Toxidez de manganês de um solo ácido na simbiose soja - Rhizobium. Pesquisa agropecuária brasileira. Série Agronomia. Rio de Janeiro, 6:57-66, 1971.

FRANCO, C.M. Micronutrientes na cultura do cafeeiro. In: FUNDAÇÃO CARGILL, Campinas, SP. Micronutrintes. Campinas, 1982. p.75-89.

GALRÃO, E. Efeito de micronutrientes e do cobalto na produção e composição química de arroz, milho e soja em solo de cerrado. Revista brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 8:111-6, 1984.

GALRÃO, E.Z. & SOUZA, D.M.G. Resposta do trigo à aplicação de cobre em solo orgânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20, Belém, 1985. Resumos... p.92.

GALRÃO, E.Z.; SOUZA, D.M.G. & PERES, J.R.R. Caracterização de deficiências nutricionais em solos de várzea da região dos cerrados. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, 19(9):1091-101, set., 1984.

GALRÃO, E.Z.; SUHET, A.R. & SOUZA, D.M.G. Efeito de micronutrientes no rendimento e composição química do arroz (*Oryza sativa* L.) em solo cerrado. Revista brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 2:129-32, 1978.

HAAG, H.P.; MINA, E.K. & DECHEN, A.R. Micronutrientes em hortaliças. Campinas, Fundação Cargill 1982. 26p.

HIROCE, R. & CAETANO, A.A. Levantamento de pomares cítricos pela análise química foliar. Laranj Revista Técnico-Científica de Citricultura. Cordeirópolis, 265-76, 1980-84.

HOROWITZ, A. & DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. I. Mangar na Zona da Mata e no Sertão. Pesquisa agropecuária brasileira, Rio de Janeiro, 1:383-90, 1966

HOROWITZ, A. & DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. III. Cobr na zona litoral-mata. Pesquisa agropecuária brasileira. Série Agronomia, Rio de Janeiro, 8(7 169-76, 1973.

JONES, M.B.; QUAGLIATO, J. & FREITAS, L.M.M. Respostas de alfafa e algumas leguminosas tropicai aplicações de nutrientes minerais, em três solos de campo cerrado. Pesquisa agropecuária bra leira. Série Agronomia, Rio de Janeiro, 5:209-14, 1970.

KÜPPER, A. Fatores climáticos e edáficos na cultura cafeeira. In: MALAVOLTA, E.; YAMADA, T. & GUIODOLIN, J.A. coord. Nutrição e adubação do cafeeiro. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1981. cap. 3, p.27-54.

LABANAUSKAS, C.K. Manganese. In: CHAPMAN, H.D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 1966. p.264-85.

LEITE, J.P. & SKOGLEY, E.O. Retention and leaching of copper and zinc in "tabuleiro" soils as influenced by nutrient carrier. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, 12(único):27-34 1977.

LOPES, A.S. Solos sob "cerrado" - características, propriedades e manejo. Piracicaba, Institut da Potassa & Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1983. 162p.

LOPES, A.S. Uso eficiente de fertilizantes com micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANT NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. Anais... Brasília, EMBRAPA-DEP, 1984. p.347-82.

LUCAS, R.E. & KNEZEK, B.D. Climatic and soil conditions promoting micronutrients deficiencies plants. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. Micronutrients in agricult Madison, Soil Science Society of America, 1973. p.265-88.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola; adubos e adubação. São Paulo, Ceres, 1981. 596p.

MALAVOLTA, E. Nutrição mineral em adubação do cafeeiro - passado, presente e perspectivas. In MALAVOLTA, E.; YAMADA, T. & GUIDOLIN, J.A. coord. Nutrição e adubação do cafeeiro. Piracic Instituto da Potassa & Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1981. cap. 9. p.138-78.

MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e adubação da laranjeira. In: YAMADA, T. ed. Nutrição mineral adubação dos citrus. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1979. p.13-68.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola; nutrição das plantas e fertilidade do solo. São Pau Ceres, 1976. 528p.

MALAVOLTA, E. & FORNASIERI FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DO ARROZ DE SEQUEIRO, Fatores afetando a produtividade, Jaboticabal, 1983. Anais... Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1983. p.95-143.

MALAVOLTA, E. & KLIEMANN, H.J. Desordens nutricionais no cerrado. Piracicaba, POTAFOS, 1985. 136p.

MALAVOLTA, E.; SARRUGE, J.R. & BITTENCOURT, V.C. Toxidez de alumínio e de manganês. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4, Brasília, 1976. São Paulo, EDUSP, 1977. p.275-301. (Coleção Reconquista do Brasil, 38).

MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F. & BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas. São Paulo, Pioneira, 1974. 752p.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F. & BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Nutrição mineral de algumas culturas tropicais. São Paulo, Pioneira/EDUSP, 1967. 251p.

MARINHO, M.L. Aspectos agronômicos e econômicos da adubação da cana em Alagoas. Rio Largo, Estação Experimental da Cana-de-Açucar de Alagoas, 1974. 60p. (Serie Nutrição e Solos, 25).

MARINHO, M.L. Calagem para a cana-de-açúcar. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15, Campinas, 1983. Acidez e calagem no Brasil. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p.245-58.

MARINHO, M.L. & ALBUQUERQUE, G.A.C. Efeitos do cobre e do zinco na produção de cana-de-açúcar em solos de tabuleiros em Alagoas. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, 98(6):41-50, dez. 1981.

MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. 3.ed. Berna, International Potash Institute, 1982. 655p.

MIRANDA, M.A.C.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULIZANI, E.A.; VALADARES, J.M.A.S. & HIROCE, R. Comportamento de dois cultivares de soja em função do Mn do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18, Salvador, 1981. Resumos... p.53.

MORAES, F.R.P. Adubação do cafeeiro; macronutrientes e adubação orgânica. In: MALAVOLTA, E.; YAMADA, T. & GUIDOLIN, J.A. coord. Nutrição e adubação do cafeeiro. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1981. cap.5, p.77-89.

MORAES, F.R.P.; GALLO, J.R.; IGUE, T. & FIGUEREDO, J.I. Efeito de três fertilizantes acidificantes sobre a concentração de alumínio e manganês em folhas e raízes do cafeeiro. Brangantia, Campinas, 38(2):7-17, 1979.

MORAES, F.R.P.; TOLEDO, S.V.; CERVELLINE, G.S. & FUJIARA, M. Fontes e doses de nitrogênio na adubação química do cafeeiro; I. Latossolo roxo transição para Latossolo amarelo. Bragantia, Campinas, 35(6):64-77, 1976.

MUZILLI, O. Manejo do solo como alternativa para minimizar fatores ambientais adversos à cultura do trigo em áreas semi-tropicais brasileiras. Londrina, IAPAR, 1985. 17p. (Circular IAPAR, 42).

NOGUEIRA, O.L.; CRISÓSTOMO, L.A. & PAIVA, J.B. Deficiências de micronutrientes essenciais e toxidez de alumínio e manganês em feijão-de-corda; I. Sintomas visuais. Pesquisa agropecuária brasileira. Brasília, 17(4):559-63, abr., 1982.

OLIVEIRA, I.P. & MALAVOLTA, E. Efeitos do alumínio e do manganês no feijoeiro. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, 17(4):549-57, abr. 1982.

PAVAN, M.A. & BINGHAM, F.T. Toxidez de metais em plantas; I. Caracterização de toxidez de manganês em cafeeiros. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, 16(6):815-21, nov./dez. 1981.

PERIM, S.; LOBATO, E. & GALRÃO, E.Z. Efeito da calagem e de nutrientes no rendimento da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) em solo sob vegetação de cerrado. Revista brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 4(2):107-10, maio/ago. 1980.

PONNAMPERUMA, F.N. Limitaciones de microelementos en suelos ácidos arroceros tropicales. In: BORNEMISZA, E. & ALVARADO, A., eds. Manejo de suelos em la America Tropicial. Raleigh, North Carolina Agricultural Experiment Station, 1975. p.336-53. (Trabajos apresentados durante el Seminário sobre Manejo de Suelos y Proceso de Desarollo em la America Tropical, Cali, 1974).

RENA, A.B. & MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 11(126): 26-40, jun. 1985.

REUTHER, W. & LABANAUSKAS, C.K. Cooper. In: CHAPMAN, H.D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 1966. p.157-79.

RODRIGUES, O. Nutrição e adubação dos citros. In: RODRIGUES, O. & VIEGAS, F.C.A. coords. Citricultura brasileira. Campinas, Fundação Cargill, 1980. v.2, p.387-426.

ROSOLEM, C.A. Nutrição mineral e adubação da soja. Piracicaba, Instituto da Potassa, 1980. 80p. (Boletim Técnico, 6).

SANTOS, M.A.C. & SOBRAL, A.F. Calibration of copper in sugarcane in Northeast Brazil. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 17, Manila, 1980. Proceedings... Makati, Print-Inn, 1980. v.1, p.411-20.

SANTOS, Z.G. & TUPINAMBÁ, E.A. Deficiência de manganês em mandioca no Estado de Sergipe. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, 17(11):1541-6, nov. 1982.

SECONDARY and micronutrient greenhouse studies. In: AGRONOMIC-ECONOMIC RESEARCH ON TROPICAL SOILS, Raleigh (US). Annual report for 1974. Raleigh, North Carolina State University, 1975. p.67-9.

SILLANPÄÄ, M. Micronutrients and nutrient status of soils: a global study. Rome, FAO, 1982. 444p. (FAO Soils Bulletin, 48).

SILVA, N.M. & CARVALHO, L.H. Micronutrientes na cultura algodoeira. In: FUNDAÇÃO CARGILL, Campinas, SP. Micronutrientes. Campinas, 1982. cap. 5, p.65-74.

SOBRAL, A.P. & WEBER, H. Nutrição mineral de cana-de-açúcar (micronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J. coord. Nutrição e adubação de cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR/SUPER, 1983. cap. 5, p.101-22. (Coleção PLANALSUCAR, 2).

SOUZA, J.C.; CONRAD, J.H.; BLUE, W.G.; AMMERMAN, C.B. & McDOWELL, L.R. Inter-relações entre minerais no solo, plantas forrageiras e tecido animal; 3. Manganês, ferro e cobalto. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, 16(5):739-46, set./out. 1981.

SULTANUM, E. Considerações sobre a sintomatologia de micronutrientes em cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, 83(2):1-16, fev. 1974.

WALLIHAM, E.F. Iron. In: CHAPMAN, H.D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside University of California, 1966. p.203-12.

ZAMBELLO JUNIOR, E. & ORLANDO FILHO, J. Adubação da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil Boletim Técnico PLANALSUCAR, Piracicaba, 3(3):1-26, mar. 1981.

CAPÍTULO 11

FONTES DE ENXOFRE E MICRONUTRIENTES PARA A AGRICULTURA BRASILEIRA[1]

Carlos O. Ponchio[2]
Luís A.C. Ballio[3]

RESUMO

Com o crescente apoio governamental de incentivo à agricultura brasileira para aumentar sua capacidade de produção, pelo aumento da produtividade ou pelo aumento da área plantada, para atender a demanda de alimentos tanto a nível nacional como para incentivar o comércio exterior, será necessário maior e melhor uso dos fertilizantes aqui produzidos. Os fertilizantes de alta concentração produzidos no país, superfosfato triplo, fosfato monoamônio, fosfato diamônio e uréia, são o resultado do avanço tecnológico brasileiro, mas vêm privando os solos de enxofre, por não possuírem em sua composição este elemento essencial à vida das plantas e animais. Estes fertilizantes estão sendo mais usados por serem de menor custo por unidade de nutriente, quando transportados a longas distâncias. O uso de fertilizantes de alta concentração foi incentivado ainda mais com o recente tabelamento de preços das fórmulas a nível nacional. Durante o ano de 1985, o consumo de fertilizantes de baixa concentração que contém enxofre decresceram em 4% (sulfato de amônio) e 14% (superfosfato simples). As necessidades de enxofre nos solos brasileiros têm sido evidenciadas por diversas instituições, mas não há um critério de laboratório definido para a sua interpretação devido as variações de solo e cultura. Neste trabalho foram relatadas as fontes de fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos contendo enxofre e as fontes alternativas desse elemento com possibilidades econômicas de uso. Também foram relatadas as fontes e os micronutrientes mais utilizados no País e seu uso em formulações comerciais.

Termos de indexação: adubos, fontes de enxofre, fertilizantes, fontes de micronutrientes, microelementos, adubos contendo boro, cobre, manganês, molibdênio, zinco, quelatos, fritas.

---

[1] Os pareceres aqui emitidos são de inteira responsabilidade dos autores, não implicando necessariamente na opinião do Grupo Petrofértil, Petrobrás Fertilizantes S/A.

[2] Engº Agrônomo, PhD, Chefe da Divisão de Pesquisa Agropecuária Ultrafértil. Av. Ernesto Igel, 429. Cx. Postal 30.782. São Paulo, SP.

[3] Químico, Assistente do Diretor-Presidente da Ultrafértil. Av. Brig. Luiz Antonio, 1089, São Paulo, SP.

SUMMARY

SOURCES OF SULPHUR AND MICRONUTRIENTS FOR BRAZILIAN AGRICULTURE

The Brazilian government increased its support to the agriculture to enhance the total yield capability by increasing the productivity or by increasing the cultivated area in order to attend the country food demand as well as to stimulate international commodity trade. For this it will be necessary to increase and avoid the waste in the use of fertilizers produced in the nation. The more concentrated fertilizers manufactured in the country, triple superphosphate, monoammonium phosphate, diammonium phosphate and urea, are a result of Brazilian technological advance but their use are depleting the sulphur in soils. This is hapenning because these fertilizers do not have sulphur in their composition, an essential element for plants and animals. These fertilizers are used because of the low distribution costs per unit of nutrient specially when it is transported far away. This fact became more evident when the national control of prices of compound fertilizers (mixed fertilizers) was settled and incited the use of more concentrated fertilizers.

In 1985 the consumption of low concentrate fertilizers with sulphur in their composition has declined in 4% for ammonium sulphate and 14% for single superphosphate. The sulphur needs of Brazilian soils has been demonstrated by several researchers however there is no laboratory method defined to interpret the soil analysis for recommend sulphur to different soils and crops. In this paper we report the sources of nitrogens, phosphorus and potash fertilizers which contain sulphur and feasible economic alternative sources of this element. Also, we report the sources and the micronutrients extensively utilized in the country and how they are used in compound fertilizers (mixed fertilizers).

Index terms: Fertilizers, sulphur sources, micronutrients sources, microelements, boron, copper, manganese, molybdenum, zinc fertilizers, chelates, "fritted trace elements".

INTRODUÇÃO

No Brasil tem sido dado um enfoque mais abrangente ao fósforo do que a qualquer outro ele mento necessário à vida das plantas, devido principalmente a abertura de novas fronteiras agríco las para suprimento de alimento à população crescente e para atender as exportações. Trabalhos vi sando determinar níveis de enxofre e de micronutrientes no solo são escassos; além disso, não te sido usado, pelos fazendeiros, elementos outros além daqueles já contidos nos fertilizantes. Ad ções desses outros elementos, micronutrientes e enxofre, só ocorrem quando as plantas já apresen tam sintomas típicos de deficiência. Nesta fase de deficiência e mesmo antes dela, ocorrem perd de produtividade com conseqüente redução dos lucros.

Hoje, a moderna agricultura para a máxima produção econômica pressiona o sistema agríco para a máxima produção por unidade de área e, conseqüentemente, há a necessidade de melhor utiliz ção dos insumos agrícolas. O desenvolvimento da indústria de fertilizantes de alta concentr ção no Brasil, a qual acompanhou a tendência do desenvolvimento tecnológico mundial com a fabric ção de uréia, superfosfato triplo, fosfato monoamônio e fosfato diamônio, resultou em produtos não contém enxofre em sua composição e, conseqüentemente, nas formulações de fertilizantes, quais o enchimento ainda é feito com argila ou calcário.

No passado as necessidades de enxofre das plantas eram supridas pela utilização de fer lizantes que continham enxofre, com a aplicação de superfosfato simples no plantio ou em cobert o sulfato de amônio. Hoje, em muitas regiões o sulfato de amônio e o superfosfato simples ai são os mais usados na adubação, sendo as necessidades de enxofre das plantas muitas vezes até plantada. Mas, devido a fatores econômicos, esta tendência está mudando com o passar do tempo.

Em recente publicação, Raij et alii (1985) fazem a recomendação de enxofre para a maic das culturas, assim como para a aplicação de micronutrientes. Este foi um fato marcante na div gação dos resultados de pesquisa para a prática da agricultura nacional. Entretanto, ainda não prática de rotina, na maioria dos laboratórios comerciais, a análise de enxofre e micronutrien para as recomendações de adubação.

Os métodos de análise do teor de enxofre na solução do solo ainda são questionados. N início de execução de análises de enxofre, alguns laboratórios estão usando o monofosfato de cá como solução extratora de sulfato, sendo os resultados expressos em partes por milhão de pa

(ppm) de enxofre. Embora o enxofre no solo esteja numa fração orgânica e inorgânica, com a utilização desta solução extratora interpreta-se o nível crítico de enxofre como sendo de 10 ppm. Este nível crítico foi estabelecido tendo por base resultados obtidos em outros países, pois ainda não há um critério claro para determinar as necessidades de enxofre, específica para cada cultura e em um determinado solo, em nenhuma região do país.

A adição de sulfato de cálcio ao solo é feita tendo em vista o enxofre como nutriente para a planta, e nesse caso, as quantidades necessárias são pequenas mas não desprezíveis, para aumento no teor de cálcio no subsolo e um efeito adicional na redução do nível de toxicidade do alumínio livre nos horizontes subsuperficiais. Isto ocorre pela indução da polimerização de alumínio, pelas reações de troca entre SO_4^{2-} e os grupos OH da superfície dos óxidos, ou pela formação da associação iônica $AlSO_4^+$, não absorvida pelas raízes. Todas estas reações contribuem para diminuir a atividade do íon Al^{3+} na solução do solo e alumínio trocável (Pavan & Volkweiss, 1986).

Quanto aos micronutrientes, muito poucos resultados agronômicos de avaliação da eficiência de produtos ou mesmo para estabelecer níveis críticos, para uma determinada cultura dentro de um padrão de solo, são encontrados na literatura. Normalmente, os valores dos teores críticos são extrapolados de experimentos de outros países e utilizados aqui, até que pesquisas com os micronutrientes estabeleçam correlações entre produção econômica e teor no solo. Todavia, alguns trabalhos de pesquisa no Brasil já estabeleceram as necessidades de zinco e boro para os solos sob vegetação de cerrado, onde a agricultura está se expandindo a cada ano.

NECESSIDADES DE ENXOFRE

A produção nacional de enxofre é em torno de 15% da necessidade atual do mercado consumidor, proveniente principalmente da pirita e da recuperação do gás de petróleo. A importação corresponde a 85% do consumo, principalmente na forma de enxofre elementar.

Virgiliis & Ponchio (1984) estimaram que cerca de 63% de todo o enxofre consumido no Brasil em 1982 foram utilizados na fabricação de fertilizantes. Deste total, 45% é utilizado para a fabricação de fertilizantes de alta concentração (ácido fosfórico, fosfato diamônio, fosfato monoamônio, superfosfato triplo), nos quais o enxofre é retirado como subproduto na forma de gesso agrícola, ficando estocado em montes ao lado das fábricas, e apenas 18% para a produção de fertilizantes de baixa concentração (sulfato de amônio, superfosfato simples e fosfato parcialmente acidulado).

No Quadro 1, encontram-se os dados da produção de fertilizantes no Brasil em 1984 e 1985, podendo ser estimado que cerca de 256 mil toneladas de enxofre contido em fertilizantes de baixa concentração foram distribuídos no solo.

FERTILIZANTES NITROGENADOS CONTENDO ENXOFRE

Sulfato de amônio

No passado, este fertilizante foi muito usado no Brasil. A princípio foi totalmente importado, mas os custos de transporte tornaram-se proibitivos quando comparados com os fertilizantes de alta concentração (uréia, ou amônia anidra) e o seu uso tem diminuído, principalmente pelo seu custo final a nível de consumidor. O principal processo de obtenção é como subproduto da indústria de carvão mineral e da indústria têxtil, todavia, o total do sulfato de amônio produzido desta forma vem diminuindo com o avanço tecnológico. É também proveniente da reação da amônia com ácido sulfúrico, com maior grau de pureza, ou mesmo como subproduto da reação do gesso com o carbonato de cálcio. Seu uso tornou-se popular pela baixa higroscopicidade, boas propriedades físicas nas misturas com outros sais fertilizantes e pela ótima eficiência agronômica.

O sulfato de amônio, além de 21% de nitrogênio, contém 24% de enxofre e é recomendado para as áreas onde existe deficiência visual de enxofre, para a rápida correção desta deficiência nutricional.

Hoje, o sulfato de amônio não está sendo largamente utilizado por causa do fornecimento e demanda não balanceadas e também pelo alto custo da unidade de nitrogênio, quando comparado com outros fertilizantes.

Quadro 1. Produção nacional de fertilizantes em 1984/85.

Produto	Ano 1984	Ano 1985	Variação anual	Toneladas de enxofre comercializadas 1984	Toneladas de enxofre comercializadas 1985
	- mil t -		---%---	- mil t -	
Sulfato de amônio	174	150	- 13.9	42	36
Uréia	853	966	+ 13.3		
Nitrocálcio	134	160	+ 19.1		
Nitrato amônio	189	194	+ 2.4		
Fosfato diamônio	182	127	+ 30.3		
Fosfato monoamônio	472	414	- 12.3		
Superfosfato simples	2003	1919	- 4.2	240	230
Superfosfato triplo	728	572	- 21.5		
Termofosfato	156	167	+ 7.6		
Fosfato parcialmente acidulado	300	300	-	18	18
Total	5.217	5.019	- 3.8	300	284

Fonte: adaptado de Sindicato da Indústria de Adubos e Corretivos Agrícolas no Estado de São Paulo (1986).

Sulfonitrato de amônio

Este fertilizante tem por objetivo aumentar o conteúdo de nitrogênio do sulfato de amô (Palmer et alii, 1983). É formado por uma mistura homogênea de 76% de nitrato de amônio, 21% de fato de amônio e 3% de condicionador. Apresenta a vantagem sobre o nitrato de amônio de não ser plosivo, além de ter proporções de nitrogênio e enxofre mais balanceada para a nutrição das pl tas. Contém 5 a 6% de enxofre e 28 a 29% de nitrogênio.

Nitrosulfato de amônio

Este fertilizante é muito usado na Europa, sendo largamente produzido na Alemanha. É uma m ra equimolar de sulfato de amônio e nitrato de amônio. Apresenta teor de enxofre de 11,5% e de trogênio de 27%.

Uréia - Sulfato de amônio

Este produto pode ser preparado pela mistura física de uréia e sulfato de amônio, sendo po riormente compactado. Outra maneira de se preparar é cobrir os cristais mais finos de sulfato amônio com uréia em granulador. Este produto contém 10% de enxofre e 35% de nitrogênio (60% u + 40% sulfato de amônio) podendo atingir 40% de nitrogênio e 4% de enxofre.

Os processos de perolação atualmente em uso, podem ser adequados à agregação de até 4% de sulfato de amônio.

Uréia compactada e/ou perolada com gesso agrícola

Este produto é obtido pela mistura física de 80% de uréia e 20% de gesso agrícola seco (pó) com conseqüente compactação. Contém 36% de nitrogênio e 4% de enxofre. As pesquisas em andamento com este produto têm mostrado excelente desempenho, tanto na aplicação agronômica como na pecuária. Nesta última atividade, o produto serve aos animais como fonte suplementar de nitrogênio não proteico, cálcio e enxofre.

Uma outra alternativa altamente promissora, é a reação entre a uréia e o sulfato de cálcio (4 moles de uréia para 1 mol de $CaSO_4.1/2 H_2O$) dando origem a um produto com propriedades físicas e químicas distintas, ressaltando-se a dureza e baixa higroscopicidade dos grânulos.

Sulfonitrocálcio

Este produto está sendo desenvolvido a partir da adição de gesso diidratado ou hemiidratado em substituição de parte do calcário dolomítico do nitrocálcio (nitrato de amônio e calcário) ou pelo recobrimento de nitrocálcio com gesso. Apresenta um teor de 2 a 3% de enxofre e 21% a 27% de nitrogênio.

Suspensões nitrogenadas contendo enxofre

Estes produtos pertencem à nova geração de fertilizantes e são produzidos pela reação *in situ* do ácido sulfúrico (H_2SO_4) e da amônia (NH_3) no xarope de uréia, resultando numa suspensão com 29% de nitrogênio e 5% de enxofre. A relação N/S de 6:1 faz desse produto uma excelente fonte balanceada de N/S principalmente para as adubações nitrogenadas de cobertura.

O Grupo Petrofértil tem se preocupado com a falta de enxofre nas matérias primas que comercializa no mercado nacional, visto que dentre os fertilizantes aqui discutidos, somente o sulfato de amônio encontra-se disponível no mercado; os demais são produtos em fase de teste agronômico de campo ou em teste a nível industrial.

FERTILIZANTES FOSFATADOS CONTENDO ENXOFRE

Superfosfato simples

O processo de fabricação deste fertilizante foi originalmente desenvolvido e patenteado na Inglaterra por Lawes e Murray em 1842, e consiste na reação de ácido sulfúrico com rocha fosfática, permitindo um tempo de contato ou cura à mistura. O resultado final é um produto seco, que após desintegrado e moído é granulado ou não (em pó). Este produto, conhecido como superfosfato simples, é formado basicamente por fosfato monocálcico monoidratado [$Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$], por sulfato de cálcio hemiidratado ($CaSO_4.1/2 H_2O$) e sulfato de cálcio diidratado ($CaSO_4.2H_2O$), com algumas impurezas oriundas da rocha. Dependendo do grau de pureza do ácido utilizado, assim como o da rocha, o superfosfato simples contém cerca de 50% de gesso (12% de S) e 20% de pentóxido de fósforo (P_2O_5). Por meio dos dados apresentados no Quadro 1, pode ser estimado que este produto contribuiu com cerca de 80% da adição de enxofre aos solos brasileiros em 1984 e em 1985.

No passado, desde o início da história dos adubos minerais, fabricados através do tratamento de rochas com produtos químicos, a principal fonte de enxofre era o superfosfato simples. Com o avanço tecnológico e as medidas econômicas de redução de custos, vem diminuindo o mercado deste fertilizante pelo uso de formulações mais concentradas, de menor custo unitário por unidade de elemento.

O superfosfato simples tem sua faixa de mercado, mas há uma tendência de substituição em favor dos fertilizantes de alta concentração, quando este produto é usado a longa distância da unidade fabricadora.

Fosfato parcialmente acidulado com ácido sulfúrico

Este produto comercial visa também a economia de ácido sulfúrico, já que somente parte da rocha é acidulada e outra parte fica em seu estado natural, para um possível intemperismo com o pas-

sar dos anos e conseqüente liberação de fósforo às plantas.

Este adubo contém gesso em sua compo· ção na ordem de 6%. A comercialização deste produto vem conquistando o seu lugar, principalmente para pastagens e reflorestamento, onde o tempo é fator comum à produção, além dos custos iniciais baixos na implantação.

Para a produção dos fosfatados parcialmente acidulados, normalmente são utilizados concentrados de rochas fosfáticas de baixo teor em P_2O_5 e cujo processo de concentração não atingiu níveis de eliminação de impurezas suficientes para a fabricação de superfosfato triplo, ou mesmo de ácido fosfórico.

Fosfonitrosulfocálcio

Este é um produto que está sendo desenvolvido na indústria, pela reação de ácido fosfórico com amônia e mais a adição de gesso agrícola. O resultado final é um material contendo fosfato diamônio (DAP), fosfato monoamônio (MAP), fosfato bicálcico, sulfato de amônio e gesso. O teor de enxofre neste material varia conforme o teor de gesso a ser adicionado para a otimização industrial do DAP, ficando na faixa de 5 a 10% de enxofre. Basicamente, o processo resulta da transformação do fosfato diamônio da mistura em fosfato bicálcico e sulfato de amônio, conforme a reação:

$$(NH_4)_2HPO_4 + CaSO_4 \longrightarrow CaHPO_4 + (NH_4)_2SO_4$$

Testes agronômicos foram realizados por Hing (1980) e através do convênio EMBRAPA/PETROFÉRTIL, e os resultados estão publicados no Relatório Bienal 1984/85 (1986).

Termosulfosfato

Este produto é obtido pela fusão da mistura de gesso anidro e rocha fosfática em proporções variáveis. Boyland & Larson (1957) descreveram o processo de obtenção deste produto com várias misturas e avaliaram o teor de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2%. A maior solubilização de P_2O_5 ocorre quando o teor de fósforo no produto é de 10% de P_2O_5 e a concentração de enxofre é de 15% de S.

Os custos de dispêndio com energia impedem a comercialização deste tipo de termofosfato contendo enxofre, mas não impede a adição de enxofre nos termofosfatos comercializados, nos quais a relação P:S poderia ser definida de acordo com as necessidades da planta, sem entretanto descaracterizar as propriedades físico-químicas do produto comercial.

Rota não convencional (R.N.C.)

Estão sendo estudadas pelo Grupo Petrofértil maneiras mais eficientes de solubilização de concentrados de rocha fosfática de baixo teor de P_2O_5. Um dos processos utilizados que mostrou alta eficiência, foi pelo ataque à rocha com sulfato de amônio e ácido sulfúrico. Esta maneira de ataque foi chamada de rota não convencional, e os produtos assim obtidos estão sendo levados a testes agronômicos a nível de campo. A concentração de nutrientes no produto final, depende, evidentemente, do teor das composições matriciais, mas em geral apresenta 16 a 17% de P_2O_5 total, 2 a 4% de nitrogênio e 3 a 5% de enxofre.

FERTILIZANTES POTÁSSICOS CONTENDO ENXOFRE

Sulfato de potássio

Este produto é obtido pela reação de cloreto de potássio a quente em leito através de corrente de vapor e ar contendo dióxido de enxofre. Resulta desta reação a formação de sulfato de potássio (K_2SO_4) e ácido clorídrico (HCl). O sal é cristalizado por abaixamento de temperatura e o ácido descartado. O sulfato de potássio é muito importante para a cultura do fumo como fonte de potássio isenta de cloro. Devido ao seu alto valor comercial, o uso deste produto é recomendado somente quando outras fontes alternativas forem mais onerosas ou no caso da necessidade de um produto com qualidades específicas, como ocorre com a cultura do fumo. Apresenta teores de 50% de K_2O e 18% de S.

Sulfato duplo de magnésio e potássio

Este produto, conhecido também como K-Mag, contém 22% K_2O, 18% de MgO e 18% S. A sua importação foi paralizada, pois sua baixa concentração de elementos e o alto preço foram fatores limitantes para a comercialização desta fonte de enxofre, potássio e magnésio.

OUTRAS FONTES DE ENXOFRE

Pirita

Este produto é resultante da britagem e moagem de sulfeto de ferro (FeS_2) e contém 54% de enxofre e 46% de ferro. Sua aplicação depende da disponibilidade do minério, que no Brasil é utilizado como fonte de enxofre para fabricação de ácido sulfúrico na Indústria Carboquímica Catarinense (ICC) para conseqüente produção de ácido fosfórico para a região sul do país. O enxofre contido na pirita precisa ser oxidado a sulfato para a correção de deficiências nutricionais. Nesta condição, a granulometria do material é de extrema importância para sua eficiência.

Enxofre elementar

Este produto de cor amarela é usado como matéria prima para a fabricação de ácido sulfúrico. Apresenta teor de 80-100% de S e é obtido a partir de minérios sedimentares de origem vulcânica (15 a 50% de S) ou mais freqüentemente de jazidas naturais pelo processo "Frash". A recuperação do enxofre de gás natural e dos gases das refinarias (processo "Claus"), também se constituem em importante fonte deste elemento, principalmente no Brasil.

Ballio (1984) desenvolveu processo para produção de enxofre elementar perolado (-8+14 Tyler Mesh), com granulometria adequada para mistura de granulados. Presentemente a Ultrafértil produz cerca de 50 ton/dia do produto perolado.

Nestas três primeiras fontes de enxofre, o elemento não é prontamente disponível às plantas e necessita da oxidação biológica realizada por microorganismos (*Thiobacilos*).

Gipsita (gesso de jazidas minerais)

A gipsita é o sulfato de cálcio diidratado ($CaSO_4.2H_2O$) de ocorrência natural e depositado em conseqüência da evaporação de mares no passado geológico (Abreu, 1973). Este mineral, geralmente branco e de dureza 2, facilmente riscável, começa a perder parte da água de cristalização quando aquecido acima de 100°C, formando gesso hemiidratado ($CaSO_4.1/2\ H_2O$). A partir de 170°C obtém-se outros tipos de sulfato de cálcio ($CaSO_4$), até atingir o produto praticamente anidro de difícil hidratação. A ocorrência deste minério no Brasil é verificada nos Estados do Maranhão, Piauí, (Chapada do Araripe), Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Sergipe, Bahia e Goiás.

Gesso agrícola (gesso subproduto industrial)

Este é um produto resultante da fabricação de ácido fosfórico pelo ataque de ácido sulfúrico à rocha fosfática. Nos últimos anos, tem-se acumulado muito deste produto nos pátios das indústrias nacionais e internacionais, pelas tendências de fabricação de fertilizantes de alta concentração. É constituído de sulfato de cálcio diidratado ($CaSO_4.2H_2O$), com teores de água-livre que variam de 15 a 30%. Quando seco, apresenta teor de 15 a 18% de enxofre. Por se tratar de produto secundário de fabricação (sobra de processo industrial), seu preço é relativamente baixo, o que confere ao produto o interesse pela comercialização.

Testes agronômicos têm sido realizados por diversos autores, conforme citação de Vitti & Malavolta (1985), nos quais os aspectos de sua aplicação isolada ou associado com calcário foram discutidos.

Considerando a deficiência de enxofre nos solos, em decorrência do uso de fórmulas de alta concentração, estão sendo criados mecanismos mais rápidos de retirada e comercialização de gesso agrícola dentro das companhias estatais que armazenam tal produto e foram, inclusive, criados incentivos de comercialização.

Mais recentemente, o grupo de pesquisas Petrofértil desenvolveu um produto a base de gesso agrícola compactado contendo gesso agrícola diidratado e gesso agrícola hemiidratado. Tal produto tem

por objetivo substituir o material inerte utilizado nas formulações com matérias primas de alta concentração para fechamento dos adubos formulados.

FONTES DE MICRONUTRIENTES

A agricultura brasileira não dispõe de fontes nobres de materias-primas para a produção dos micronutrientes necessários às condições de solos tropicais no país. Geralmente essas fontes são oriundas de subprodutos das indústrias que produzem a matéria-prima, na forma de cinzas ou escórias de forno e resíduos. Tais cinzas podem conter teores variáveis de metal pesado, que quando adicionadas ao solo podem contaminá-lo e conseqüentemente, contaminar a planta e o animal ou o ser humano que alimentar-se dela.

Fontes inorgânicas de micronutrientes

As fontes inorgânicas de micronutrientes incluem os minérios de ocorrência natural, óxidos manufaturados e sais metálicos como nitrato, cloreto e sulfatos. Os sulfatos são as fontes mais comuns de sais micronutrientes na forma cristalina ou granulada. As fontes inorgânicas são as fontes de menor custo por unidade de micronutriente, mas nem sempre são as mais eficientes.

Boro

As fontes de boro são encontradas em depósitos geológicamente velhos. O minério removido da jazida é refinado, purificado, moído e usado como fertilizante.

Os principais minerais de boro são: kermita, ulexita, inderita, hydroboracita e boracita. Entretanto, vários outros produtos contendo boro são usados, devido a maior solubilidade e alta concentração: bórax hidratado, bórax pentaidratado, bórax anidro, bórax calcinado, bórax vítreo, ácido bórico, óxido de boro, diborato de amônio, pentaborato de potássio e tetraborato de potássio. Desta relação, o bórax nos diversos estados de hidratação é o mais usado, apesar de ser importado. Esses boratos apresentam propriedades químicas (água e hidratação) que os tornam de difícil uso em misturas de fertilizantes. Formas mais solúveis são preparadas para a aplicação foliar ou para incorporação nos fertilizantes fluídos tal como o ácido bórico.

Cobre

O cobre é obtido através de minério contendo aproximadamente 1% do elemento. Assim, o minério é moído, purificado e concentrado através de processo de flotação. Depois, o cobre é oxidado através de temperatura para óxido de cobre (CuO), o qual é usado diretamente na indústria de fertilizantes. Este produto pode reagir com ácido sulfúrico para formar sulfato de cobre ($CuSO_4.5H_2O$), o qual também tem propriedade fungicida.

Manganês

O manganês é obtido de minérios de rocha, tais como a pirolusita (MnO_2), manganita [MnO(OH)] e hausmanita (Mn_3O_4). A rocha é moída, purificada, concentrada e reduzida a óxido de manganês (MnO), o qual é usado no preparo de formas químicas mais solúveis para fertilizantes líquidos ou aplicação foliar ($MnSO_4.H_2O$) ou ainda, aplicado diretamente ao solo para correção do nível de manganês. O principal uso de manganês é na indústria de aço.

Molibdênio

O molibdênio é outro elemento cujas fontes são escassas no Brasil. Seu principal minério é a molibdenita (MoS_2), a qual é usada na fabricação de aços especiais. Alguns minerais de molibdênio encontram-se associados a minérios de cobre, sendo obtidos como subproduto de mineração.

Zinco

As fontes de zinco são produzidas por vários processos. O zinco metálico obtido na mineração é oxidado para formar óxido de zinco (ZnO), o qual é usado como pigmento, tendo um alto custo. O minério esfarelita (ZnS) também pode ser oxidado a ZnO. Entretanto, este minério contém chumbo e cádmio a

sociado, o qual pode ser fonte de contaminação destes metais pesados (Pb e Cd) no solo. Outras fontes de zinco, como cinzas e borras, têm sido usadas, sendo o principal subproduto de indústrias produtoras de zinco. O sulfato de zinco hidratado, resultante do tratamento das cinzas, é usado como fertilizante por muitos agricultores. Quando usado sem processos de purificação de outros metais pesados poderá causar a contaminação do solo com metais não essenciais à vida da planta, e que podem causar danos fisiológicos aos animais e ao homem.

Quando se deseja manter o nível de micronutrientes disponíveis no solo antes que apareçam deficiências visíveis na planta, o uso de "fritas" (FTE, Fritted Trace Elements) pode ser uma solução prática e conveniente, principalmente por sua baixa solubilidade, e por isto, de lenta liberação com o decorrer do tempo, e por ser produto de relativo baixo custo por unidade de nutriente. Tal produto pode fornecer às plantas boro, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco de uma só vez ou em suas proporções comerciais mais necessárias à uma determinada cultura e solo. No processo convencional, as fritas são preparadas em quantidades apropriadas de feldspato, cinzas, sílica, sódio e bórax. Todos esses componentes são misturados e aquecidos de 1.000 a 1.300°C. O material derretido sofre adição de água (quench), que o quebra, e depois é seco e finalmente moído. Atualmente, alguns segmentos da indústria nacional estão obtendo as fritas com micronutrientes na forma disponível, através da agregação de fontes de menor custo de oligoelementos (oxidos metálicos) misturando-os diretamente sobre a escória fundida oriunda de processos siderúrgicos (forno Cubilôt). Desta forma utiliza-se a energia disponível na escória, no estado fluído, a qual são agregados os óxidos metálicos, seguindo-se da dispersão da mistura homogênea com jatos de água como no processo convencional. O Quadro 2 mostra as fontes mais comuns de micronutrientes no Brasil.

Quelatos

A palavra quelato (do grego pinçar), significa em química orgânica um tipo de estrutura produzida quando um íon metálico combina com dois ou mais grupos de elétrons doadores para formar uma molécula anelada simples. Nesta forma anelada o metal perde sua habilidade de atuar como íon, e assim são menos suscetíveis a reações químicas que os precipitem, ficando mais disponível às plantas. Todos os cátions metálicos polivalentes podem formar quelatos, mas cada um deles, nesta forma, tem uma força de troca do metal com outro no meio, a qual decresce na seguinte ordem: $Fe^{3+} > Zn^{2+} > Fe^{2+} > Mn^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+}$. O quelato de ferro III (férrico) é o mais estável; e o de magnésio é o menos estável, o qual pode facilmente trocar de posição com qualquer outro cátion metálico. Os quelatos podem ser usados para corrigir as deficiências nutricionais tanto na aplicação foliar como na aplicação ao solo. Dependendo do tipo de solo e do nível de acidez, existem diferentes quelatos:

ED - etileno diamino
EDTA - ácido etileno diamino tetracético, este produto quelato é o mais eficiente em solos ácidos
NTD - ácido nitrilotriacético
DTPA - ácido dietileno triamino pentacético
HEEDTA - ácido hidroxietil etileno diamino tetracético
CDTA - ácido iclohexano trans 1,2 -diamino tetracético
EDDHA - ácido etileno bis alfa-imino 2 - hidroxi-fenil-acético
A.L. - ácido lático
A.C. - ácido cítrico, usado especialmente para zinco (Mortvedt, 1979a).
A.T. - ácido tartárico
A.G. - ácido glucônico
P.F. - poliflavonóides

As características desejáveis para um agente quelante (Jonnes, 1979) quando aplicado via foliar são:

1. facilmente absorvido pela planta;
2. facilmente translocável dentro da planta; e
3. facilmente decomposto dentro da planta.

As características desejáveis para um agente quelante quando adicionados ao solo são:

1. estável à hidrólise;
2. resistente à decomposição microbiológica;
3. não ser facilmente trocável por outro cátion polivalente no solo;

4. não ser facilmente precipitado por íons ou adsorvidos nos colóides do solo;
5. deve ser disponível para as plantas, na superfície da raiz e dentro da planta;
6. não deve causar danos fisiológicos às plantas nas concentrações requeridas para corrigir as deficiências.

Quando se usa fertilizantes líquidos como prática agrícola de adubação, os micronutrientes na forma de quelatos não devem ser incorporados às fórmulas que contenham amônia livre em solução. O alto pH dessas soluções precipita o metal do quelato, porque o grupo hidroxila (OH) compete com o grupo doador do agente quelante. Os quelatos também não devem ser adicionados a fertilizantes que contenham ácido fosfórico livre, porque os íons hidrogênio vão competir com os metais pelos grupos doadores de elétrons e reações paralelas podem ocorrer, causando precipitação do metal principalmente com o complexo Zn-EDTA. Embora seja muito pouco usado, devido ao alto preço, a aplicação dessa forma complexada de micronutrientes ao solo apresenta eficiência agronômica de 3 a 10 vezes maior que o sal sulfato de zinco ($ZnSO_4$), dependendo, evidentemente, das condições de acidez do solo (Mortvedt, 1979b).

Quadro 2. Fontes mais comuns de micronutrientes no Brasil, 1984.

Fonte		Teor do elemento
		---%---
H_3BO_4	ácido bórico	17,0
$Na_2B_4O_7$	tetraborato de sódio	21,0
$CuSO_4.5H_2O$	sulfato de cobre II pentaidratado	25,2
CuO	óxido de cobre II pentaidratado	50,0
Cu EDTA	cobre EDTA	7,5
$FeSO_4.H_2O$	sulfato de ferro II monoidratado	20,8
$MnSO_4.H_2O$	sulfato de manganês II monoidratado	28,0
MnO	óxido de manganês	62,0
Mn EDTA	manganês EDTA	6,0
$Na_2Mo_4.2H_2O$	molibdato de sódio diidratado	39,7
$ZnSO_4.H_2O$	sulfato de zinco monoidratado	36,0
ZnO	óxido de zinco	60,0
Zn EDTA	zinco EDTA	6,0
Fritas (FTE, Fritted Trace Elements)	óxidos silicatados provenientes da fusão do vidro com micronutrientes metálicos	Variável
Fungicidas		Variável

LITERATURA CITADA

ABREU, S.F. Recursos minerais do Brasil. São Paulo, Edgard Blücher, 1973. v.1. 324p.

BALLIO, L.A.C. Processo de perolação de enxofre. B.Tec. Petrobrás. 27(2):137-144, 1984.

BOYLAN, D.R. & LARSON, M.A. Fertilizer by fusion of phosphate rock and gypsum. Agricultural and Food Chemistry, 5(2):104-108, 1957.

HING, L.T. Estudos sobre o aproveitamento de novos fertilizantes portadores de cálcio e enxofre. Piracicaba, ESALQ, 1980. 170p. Tese Mestrado.

JONES, U.S. Fertilizer and soil fertility. Virginia, Reston Publ., 1979. 368p.

MORTVEDT, J.J. Micronutrient fertilizer technology and use in the United States. Alabama, TVA, 1979a. 14p. (Trabalho apresentado no Seminário de Micronutrientes na Agricultura. New Delhi, Índia. Setembro,17-21 de 1979).

MORTVEDT, J.J. Crops response to zinc sources applied alone or with suspensions. Fertilizer solutions, 23(3):64-79, 1979b.

PALMER, B.M.; McCASKIL, L.; FRIESEN, D. & HAMMOND, L. Sulfur containing fertilizers, part present and S. Pacific Agriculture. In: SULFUR IN SOUTH EAST ASIA AND SOUTH PACIFIC AGRICULTURE TILL. Indonésia UNE, 1983. p.301-314.

PAVAN, M.A. & VOLKWEISS, S.J. Efeitos do gesso nas relações solo-planta: princípios. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasília, DF, 1985. Anais... Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p.107-18.

RAIJ, B. van; SILVA, N.M. da; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; DECHEN, A.R. & TRANI, P.E. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. B. Técn. Inst. Agron., (100):1-107, 1986.

RELATÓRIO BIENAL 1984/85. Brasília, EMBRAPA/PETROFÉRTIL, 1986. 164p.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DE ADUBOS E CORRETIVOS AGRÍCOLAS NO ESTADO DE SÃO PAULO, Circular 015-A/86. 1986.

VIRGILIIS, E.A.S. & PONCHIO, C.O. Fontes de enxofre e micronutrientes para agricultura. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. Anais... Brasília, EMBRAPA, 1984. p.123-37. (EMBRAPA-DEP. Documentos, 14).

VITTI, G.C. & MALAVOLTA, E. Fosfogesso - Uso Agrícola. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.160-201.

CAPÍTULO 12

PERSPECTIVAS DE DEMANDA, COMERCIALIZAÇÃO E PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE ENXOFRE E MICRONUTRIENTES PARA A AGRICULTURA

Marcos Rocha[1]
Euripedes Malavolta[2]

RESUMO

Utilizando as quantidades necessárias para a produção de uma tonelada das diversas culturas e os respectivos volumes produzidos no país, foram estimadas as necessidades para cada cultura em termos de enxofre e micronutrientes. Para os principais micronutrientes foram apresentados os diversos fatores que afetam a sua maior ou menor disponibilidade nos solos brasileiros, bem como os sintomas de deficiência. Reunindo uma considerável série de dados de pesquisa, foram apresentadas as recomendações de níveis de adubação de enxofre e micronutrientes para as principais culturas brasileiras. Tendo por base a área cultivada e informações de pesquisa agrícola, foram calculadas as necessidades do País em termos de enxofre e micronutrientes. O suprimento nacional, através da produção local e ou importação, foi analisado em relação aos aspectos de fabricação e tipos de nutrientes disponíveis no mercado local. Os canais de comercialização existentes foram examinados, fazendo-se no final um balanço entre a necessidade e a disponibilidade atual, indicando os possíveis superávit ou déficit para cada um dos nutrientes abordados.

Termos de indexação: enxofre, micronutrientes, demanda, comercialização, produção industrial.

SUMMARY

AN OUTLOOK OF THE DEMAND, MARKETING AND INDUSTRIAL PRODUCTION OF SULPHUR AND MICRONUTRIENTS FOR THE BRAZILIAN AGRICULTURE

The sulphur and micronutrients needs for each crop were estimated by using the amount required for the production of one metric ton of the various crops. For the main micronutrients it is mentioned several factors which affect their availability in Brazilian soils as well as

---

[1] Engº Agrº. Nutriplant Ind. e Com. Ltda - Caixa Postal 97, CEP 13.140, Paulínia, SP.

[2] Engº Agrº. Professor ESALQ-Piracicaba, SP.

the deficiency symptoms. Based on a large number of research data there are presented fertilizer recomendation of sulphur and micronutrient for the main Brazilian crops. Also, taking in account the cultivated area and the agriculture research data it is estimated the total metric tons needs of sulphur and micronutrients for the country. The national supply by the local producers or by importing were analysed and finally a actual balance between necessity and disponibility. It was also indicated the possibility of superavit or deficit for each one of the nutrients.

Index terms: sulphur, micronutrients, demand, marketing, industrial production.

INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira vive no momento mais um desafio. Após vários anos de inflação alta, estamos nos adaptando a um novo sistema econômico, de moeda forte e inflação baixa.

Essa nova perspectiva renova a tese da produtividade, já que sem os ganhos especulativos, a renda do agricultor deverá vir da comercialização de maiores volumes de produtos agrícolas.

Estima-se que um quilograma de adubo NPK colocado no solo pode ser responsável por dez quilogramas de grãos e que uma dose moderada de fertilizantes aumenta a produtividade em pelo menos 50%, em solos de baixa fertilidade.

Com a crescente utilização das terras agricultáveis do país e o desenvolvimento da indústria de fertilizantes, produzindo adubos de alta concentração e quimicamente puros, aumentam as probabilidades do aparecimento de sintomas de deficiências, resultando numa maior necessidade do uso de fertilizantes melhor balanceados em nutrientes. Junto aos três tradicionais macronutrientes N, P e K, há necessidade de serem acrescentados outros nutrientes essenciais, em condições de suprir todas as exigências das plantas, a fim de aumentar os rendimentos das culturas. Dentre esses nutrientes, destacam-se o enxofre e alguns micronutrientes, sem os quais não serão conseguidos os ganhos de produtividade esperados.

Este trabalho tem como objetivo discutir a demanda de enxofre e dos principais micronutrientes, a disponibilidade destes em solos brasileiros, métodos de correção de deficiências, produção e comercialização.

NECESSIDADES DE ENXOFRE DAS CULTURAS

No Quadro 1, extraído do trabalho de Malavolta (1984), são apresentadas as quantidades de macronutrientes consumidas pelas principais culturas para a produção de uma tonelada de produto colhido, ou em alguns casos, os teores contidos nas culturas indicadas.

Pode ser observado que de uma maneira geral, é obedecida a seguinte ordem decrescente:

$$N > K > Ca > Mg > P = S$$

Pela operação matemática de multiplicar as quantidades produzidas de cada uma das principais culturas no ano de 1985 (IBGE, 1985) com os valores fornecidos no Quadro 1, foram estimados os valores que aparecem no Quadro 2. A consolidação desses dados leva à Figura 1.

As quantidades de nutrientes exigidas para a produção, apresentadas no Quadro 2, são menores no caso das culturas permanentes (cacau, café, citros e frutíferas), sendo o consumo de nutrientes por tas subestimado, porque não foi computado o teor existente nas raízes, caule, ramos e folhas. No caso das leguminosas de grãos, considerou-se para o nitrogênio somente a contribuição do solo, sendo estes valores de 40% para soja e amendoim e de 80% para o feijão. Deve-se mencionar ainda que as necessidades de enxofre são usualmente iguais às do fósforo e em determinados casos (feijão, cana-de-açúcar, algodão, hortaliças e leguminosas) maiores.

DISPONIBILIDADE DE ENXOFRE NOS SOLOS BRASILEIROS

A disponibilidade de enxofre em solos do Brasil pode ser afetada por uma série de fatores. Estes fatores, citados a seguir, explicam o aumento da freqüência do aparecimento de sintomas de deficiência de enxofre no País, bem como as respostas à adição deste elemento como adubo.

Quadro 1. Quantidades de macronutrientes, em quilogramas, necessárias para a produção de uma tonelada das principais culturas[1].

Culturas		Quantidades de macronutrientes (kg)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Cereais	Arroz	25	4	11	2	1	3
	Milho	48	9	40	6	8	7
	Sorgo	13	2	10	3	2,5	1,5
	Trigo	16	3	12	2	2	2
Leguminosas	Feijão[2]	102	9	93	54	18	25
	Soja[2]	100	13	32	23	12	8
Sacarinas e de amido	Batatinha	6	1,5	10	2	1	1
	Cana	1,5	0,2	1,5	1,1	0,5	0,5
	Mandioca	6	0,6	4	3	1	0,4
Fibrosas	Algodoeiro	64	6	18	47	10	25
	Sisal[3]	1	0,2	1,6	2,7	1	-
Oleaginosas	Amendoim[2]	38	3,5	19	13	3,5	3
	Coqueiro[4]	92	18	100	16	22	-
	Dendezeiro[5]	3	0,5	16	0,5	0,5	-
	Mamoneira[5]	3	0,5	7,5	5	5,5	-
Hortaliças	Alface	1,5	0,3	3,5	0,9	0,2	0,2
	Cebola	4	0,6	5	0,4	0,5	1
	Cenoura	11	2	33	8	1,4	1,3
	Couve-flor	7	9	8	2,5	1,0	2
	Ervilha[2]	80	8	55	26	7	10
	Repolho	6	1,5	8	3,3	0,8	1,4
	Tomateiro	2	0,5	5	0,8	0,2	0,7
Frutíferas	Abacateiro[5]	2	0,3	3,7	0,13	0,15	0,2
	Abacaxizeiro[6]	4	0,4	6	3	1,4	0,5
	Bananeira	21	2,3	46	10	-	-
	Laranjeira[5]	2	0,2	1,5	0,5	0,13	0,14
	Macieira[5]	0,7	0,1	1	0,07	0,04	0,6
	Pessegueiro[5]	3,5	0,3	2	0,06	0,12	0,2
	Videira[5]	3,3	0,6	2	0,1	0,1	0,2
Estimulantes	Cacaueiro[7]	61	3	56	5	5	3
	Cafeeiro (coco)[5]	16	1,5	26	3,5	1,5	1,5
	Fumo[3]	5	0,5	5	2	6	-
Forrageiras	Gramíneas	13	3	18	5	2,5	3
	Leguminosas[2]	15	1,5	20	10	1,7	1,5

[1] Exceto quando indicado de modo diferente, as quantidades foram estimadas pela divisão da quantidade total de nutrientes contida na planta pelo número de toneladas produzidas, sendo os nutrientes expressos na forma elementar.

[2] Feijão: 20% do N fixado simbioticamente; soja: 60%; ervilha: ?; amendoim: ? e forrageiras: ?

[3] Nas folhas.

[4] Contido em 7000 cocos/ha com 124 plantas/ha.

[5] Nos frutos.

[6] Frutos = casca + polpa + corôa = 84 t.

[7] Nas frutas; amêndoa = 1/4 da casca e quantidade produzida de amêndoa seca = 1 t.

Fonte: adaptado de Malavolta (1984).

Quadro 2. Quantidades produzidas e estimativa do consumo de macronutrientes pelas principais culturas em 1985.

Cultura	Quantidade produzida em 1.000 t	Nutrientes necessários em toneladas					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Arroz	9.022	255.550	36.088	99.242	18.044	9.022	27.066
Milho	21.174	1.016.352	190.566	846.960	127.044	169.392	148.218
Sorgo	291	3.783	582	2.910	873	727	437
Trigo	1.956	31.296	5.868	23.472	3.912	3.912	3.912
Feijão	2.614	266.628	23.526	243.102	141.156	47.052	65.350
Soja	15.536	1.553.600	201.968	233.040	357.328	186.432	124.288
Batatinha	2.172	13.032	3.258	21.720	4.344	2.172	2.172
Cana	222.716	334.074	44.543	334.074	244.987	111.358	111.358
Mandioca	21.289	127.734	12.773	85.156	63.867	21.289	8.516
Algodão	2.159	138.176	12.954	38.862	101.473	21.590	53.975
Sisal	225	225	45	360	608	225	-
Amendoim	247	9.386	864	4.693	3.211	865	741
Coco[1]	521	47.932	9.378	52.100	8.336	11.462	-
Mamona	225	675	112	1.687	1.125	1.238	-
Cebola	718	2.872	431	3.590	287	359	718
Tomate	1.820	3.640	910	9.100	1.456	364	1.274
Abacaxi	312	1.248	125	1.872	936	437	156
Laranja	14.360	28.720	2.872	21.540	7.180	1.867	2.010
Uva	603	1.990	362	1.206	60	60	121
Cacau (amêndoa)	345	21.045	1.035	19.320	1.725	1.725	1.035
Café (coco)	2.679	42.864	4.018	69.654	9.376	4.018	4.018
Fumo	415	2.075	207	2.075	830	2.490	-
Total		3.902.897	552.485	2.115.735	1.098.158	598.056	555.365

[1] Um Milhão de frutas.

Fonte: estimativa de Marcos Rocha, 1985

O aumento no consumo de N, P e K verificado nas duas últimas décadas, elevando as médias produção, causou maior extração de elementos no solo. Em vista disso, provavelmente houve empobr cimento dos solos em enxofre, e com certeza, tornando-se o fator limitante em alguns locais.

O uso de adubos sem enxofre substituindo os fertilizantes tradicionais tais como o sulfato de amônio e o superfosfato simples, também é um fator muito importante. Nos últimos anos, estes fertilizantes vêm sendo substituídos pelos denominados concentrados, como a uréia, o nitrato de amônio, o fosfato de amônio e o superfosfato triplo. A fonte mais usada de K, o cloreto de potássio, também não possui enxofre. A participação relativa daqueles dois produtos fornecedores de enxofre tende a cair ainda mais, devido a tendência do mercado de concentrar as formulações cada vez mais, chegando atualmente ao redor de 40%, o que significa pouco ou nenhum espaço para a inclusão do enxofre.

Outro aspecto a ser considerado é a utilização de terras pobres em enxofre, onde cerca de 90% do elemento está na forma orgânica, a qual não pode ser utilizada direta e prontamente pela planta. A atividade de microorganismos do solo faz a decomposição da matéria orgânica, liberando o enxofre em forma mineral reduzida que é depois oxidada para dar o sulfato que a raiz absorve. O avanço da fronteira agrícola obrigou a ocupação de terras mais pobres como o cerrado, onde há pouca matéria orgânica e o suprimento de enxofre é menor, podendo até ser insuficiente. O uso contínuo e sem reposição de enxofre de uma terra, mesmo que bem provida inicialmente, terá o mesmo efeito de esgotar este elemento.

Outro fator, é a alta relação N/S no solo. Em solos de várzea no baixo Amazonas, foi verificada a deficiência de enxofre como um fator limitante à produção de arroz. Tais solos apresentam uma relação N/S entre 17 e 20, em contraste a outros solos onde esta relação é em torno de 10. A alta relação parece agravar a deficiência, devido à imobilização do enxofre disponível.

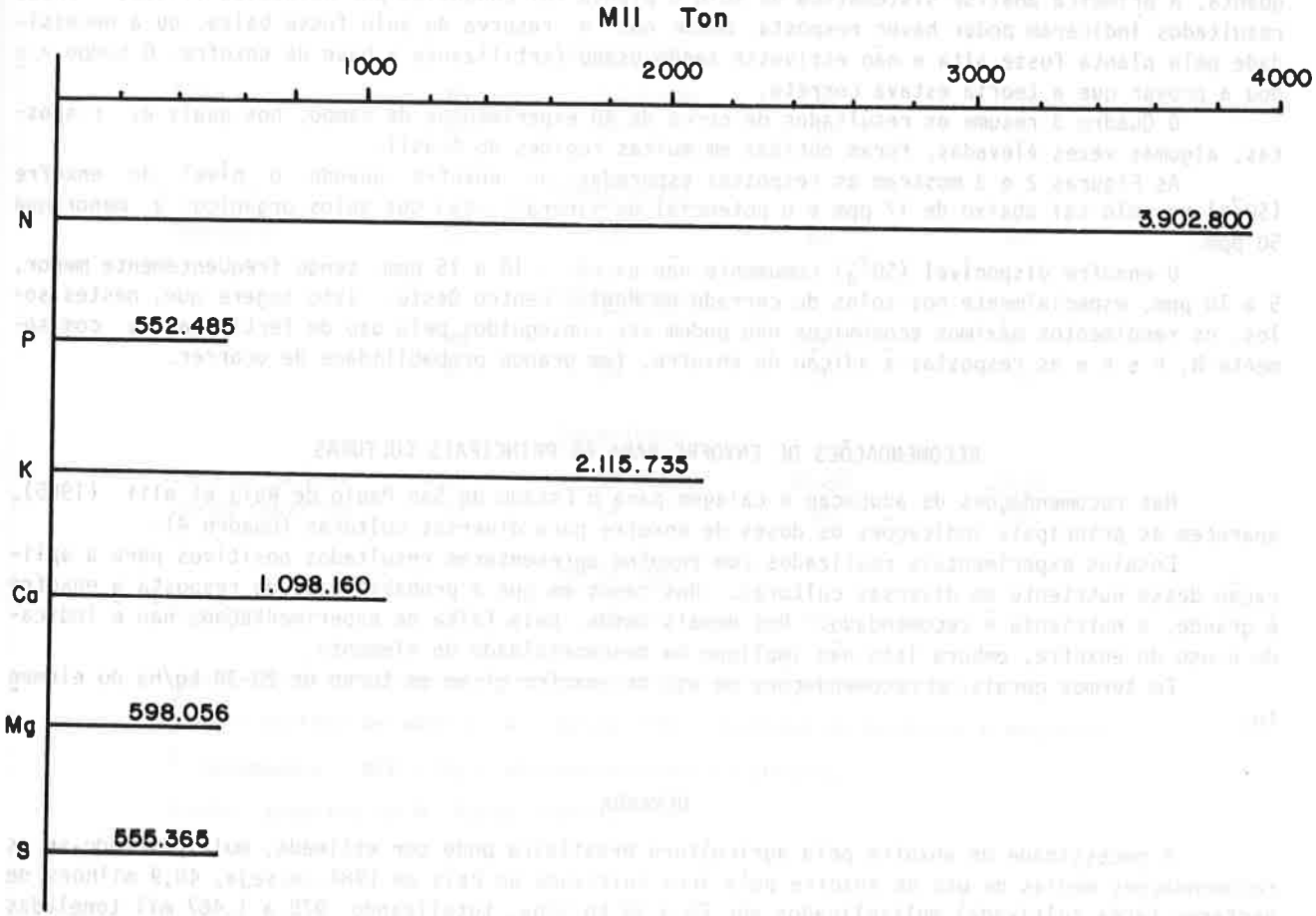


FIG. 1. Consumo de macronutrientes pelas principais culturas brasileiras para a formação da colheita. 1986. Estimativa de Marcos Rocha, Paulínia, SP.

Uma das formas de retorno e enriquecimento de enxofre nos solos é através da água da chuva. A queima de madeira, de combustíveis fóss s e a fundição de metais ferrosos e não ferrosos liber SO_2 na atmosfera, o qual pode sofrer oxidação a sulfato e retornar ao solo pela água da chu a. Est enxofre poderá ser utilizado pelas plantas, mas isto ocorre com mais intens ade em ár dustri lizadas. Estima-se que a contribuição da chuva varia entre 5-28kg de S/ha/a ; longe d indús trias a quantidade menor é a mais provável de ocorrer, sendo esta insuficiente para s as exi gências das plantas.

DEFICIÊNCIAS E RESPOSTAS AO ENXOFRE

Como já foi exposto, diversas causas ajudam a explicar a indisponibilidade e o aumento severidade dos sintomas de deficiências de enxofre em todas as regiões do Brasi .

De maneira geral os principais sintomas de carência do enxofre são descritos como:

- clorose, inicialmente nas folhas mais novas;
- mudança de coloração (em algumas plantas a cor passa para laranja, roxa ou vermelha);
- folhas pequenas;
- enrolamento das margens das folhas;
- necrose e desfolhamento;
- internódios curtos e
- redução da floração.

Estudos das exigências de enxofre pelas culturas brasileiras tiveram início nos anos ci qüenta. A primeira análise sistemática de solo e planta foi conduzida por Malavolta (1950), cuj resultados indicaram poder haver resposta desde que a reserva do solo fosse baixa, ou a necess dade pela planta fosse alta e não estivesse sendo usado fertilizante a base de enxofre. O tempo a dou a provar que a teoria estava correta.

O Quadro 3 resume os resultados de cerca de 40 experimentos de campo, nos quais as respo tas, algumas vezes elevadas, foram obtidas em muitas regiões do Brasil.

As Figuras 2 e 3 mostram as respostas esperadas ao enxofre quando o nível de enxof (SO^{2-}_4) no solo cai abaixo de 17 ppm e o potencial de mineralização dos solos orgânicos é menor c 50 ppm.

O enxofre disponível (SO^{2-}_4) comumente não excede a 10 a 15 ppm, sendo freqüentemente menc 5 a 10 ppm, especialmente nos solos de cerrado na Região Centro Oeste. Isto sugere que, nestes s los, os rendimentos máximos econômicos não podem ser conseguidos pelo uso de fertilizantes com s mente N, P e K e as respostas à adição de enxofre, tem grande probabilidade de ocorrer.

RECOMENDAÇÕES DE ENXOFRE PARA AS PRINCIPAIS CULTURAS

Nas recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo de Raij et alii (198 aparecem as principais indicações de doses de enxofre para diversas culturas (Quadro 4).

Ensaios experimentais realizados com enxofre apresentaram resultados positivos para a ap cação desse nutriente em diversas culturas. Nos casos em que a probabilidade de resposta a enxo é grande, o nutriente é recomendado. Nos demais casos, pela falta de experimentação, não é indi do o uso do enxofre, embora isto não implique na desnecessidade do elemento.

Em termos gerais, as recomendações de uso do enxofre giram em torno de 20-30 kg/ha do ele to.

DEMANDA

A necessidade de enxofre pela agricultura brasileira pode ser estimada, multiplicando-se recomendações médias de uso de enxofre pela área cultivada no País em 1984, ou seja, 48,9 milhões hectares (área cultivada) multiplicados por 20 a 30 kg S/ha, totalizando 978 a 1.467 mil tonela de enxofre (Malavolta, 1984). Supondo-se ainda que apenas 70% da área cultivada seja realmente tilizada, aqueles totais seriam reduzidos para cerca de 685 a 1.027 mil toneladas de enxofre.

Quadro 3. Respostas para o enxofre adicionado em recentes experimentos de campo no Brasil.

Culturas	Estado	Fonte[2]	Dose kg S/ha	Aumento sobre a testemunha (%)[2]
		Cereais		
Milho	SP	SA-G	30-60	14-27
Arroz	GO	SA-G	20-40	28
Trigo	SP	SA-G-KMg	20-40	26-33
		Fibras		
Algodão	SP	SA-G	20-40	15-42
		Forrageiras		
Grama de Guiné	SP	SA	45	10
		Frutas		
Citros	SP	SA	60	39
		Leguminosas		
Soja	MG	SA-G-KMg	30	23
	SP	SA	30	23
		Oleaginosas		
Amendoim	SP	SA	60	67
		Estimulantes		
Café	MG	G	200	61
	SP	SA	30	44
		Sacaríneos		
Cana-de-açúcar	SP	SA-G-KMg	30-60	8-20
Sorgo sacarino	SP	SA	30	16
		Hortaliças		
Repolho	SP	SA-G	60	9

[1] SA = Sulfato de amônio; G = Gesso; KMg = Sulfato de potássio e magnésio

[2] Testemunha = NPK + Mg + micronutrientes + calcário.

Fonte: adaptado de M. Rocha (1985).

PRODUÇÃO E IMPORTAÇÃO

Estima-se que cerca de 85% de todo o enxofre utilizado pela indústria brasileira de fertilizantes é importado, principalmente do Canadá, Polônia, U.S.A. e México. O restante, 15%, é obtido da recuperação do petróleo e da pirita carbonosa pela indústria nacional.

Em 1985 o país consumiu cerca de 1 milhão de toneladas de enxofre, as quais foram transformadas em matérias primas (ácido sulfúrico (ácido fosfórico) e fertilizantes (sulfato de amônio, superfosfato simples, etc...). Excluindo-se aquelas matérias primas e adicionando-se aos fertilizantes simples, portadores de enxofre, o fosfogesso, subproduto da produção de ácido fosfórico, pode-se montar um panorama da produção e importação nacional de enxofre destinado à agricultura, conforme demonstra o Quadro 5. Cabe ainda destacar que o modelo brasileiro de produção de fertilizantes fosfatados está calcado na utilização do ácido sulfúrico como agente de solubilização de fósforo e somente uma pequena parcela de fosfatos solúveis é atualmente produzida no país pela rota térmica (Figura 4). Em decorrência desse fato, na produção de ácido fosfórico tem-se como subproduto fosfogesso ($CaSO_4$), na proporção de 4,7t desse produto para cada tonelada de P_2O_5 produzida com ácido fosfórico. Estima-se que os depósitos de fosfogesso no país atualmente girem em torno de 1 milhões de toneladas, dos quais uma parcela vem sendo aplicada na agricultura nos últimos anos.

COMERCIALIZAÇÃO

A comercialização do enxofre e sua conseqüente utilização pela agricultura brasileira s faz principalmente através da própria indústria de fertilizantes formulados tradicionais (NPK).

Como já foi mencionado, a adição de S aos solos se faz indiretamente, através do uso do fertilizantes nitrogenados e fosfatados, portadores de enxofre.

Atualmente começa a surgir um novo canal de distribuição do enxofre, através da aplicaçã direta ou misturado com calcário, do fosfogesso, subproduto da industrialização de ácido fosfórico

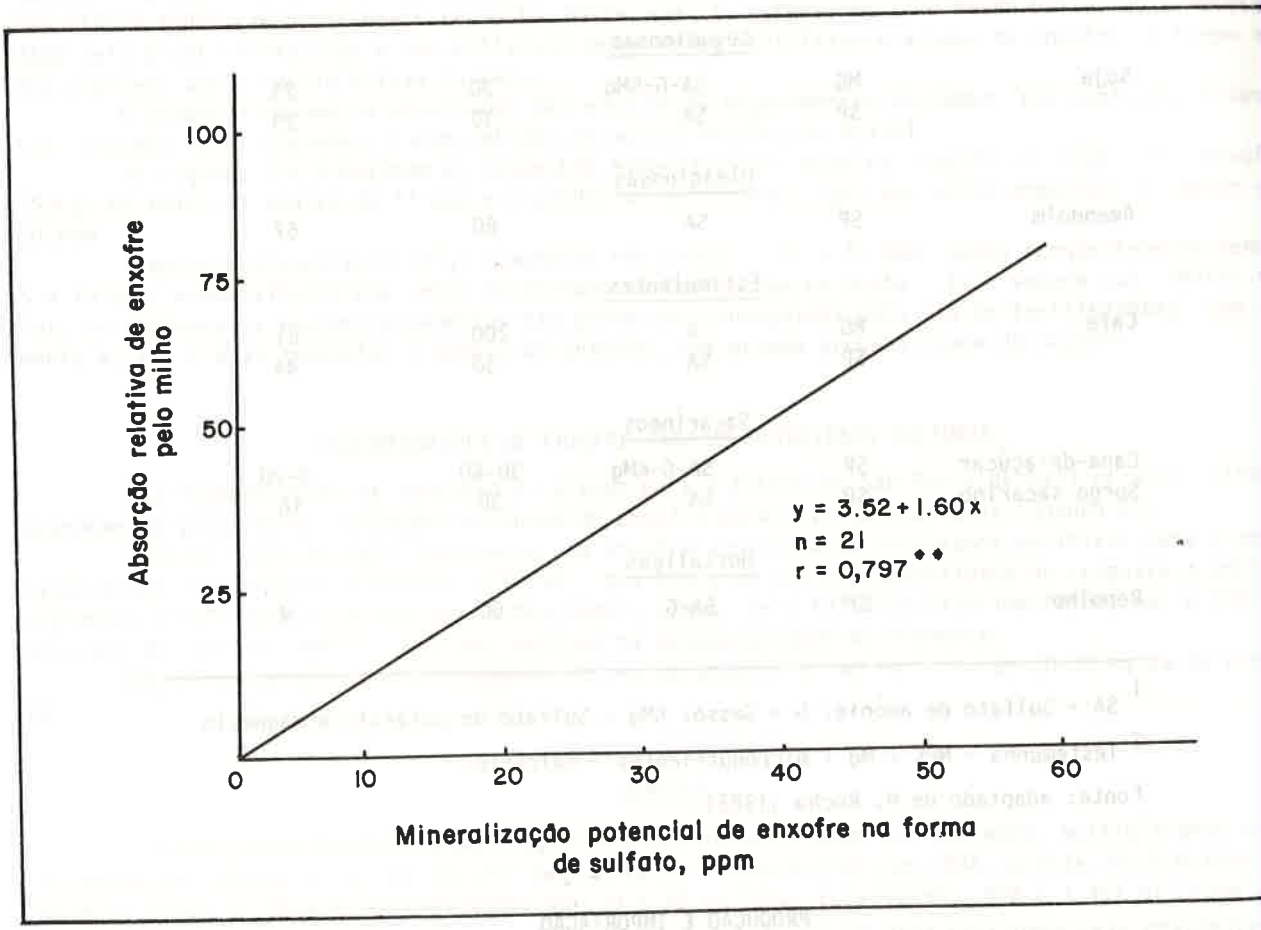


FIG. 2. Relação entre mineralização potencial e enxofre no milho em vasos.

Fonte: adaptado de Malavolta (1980).

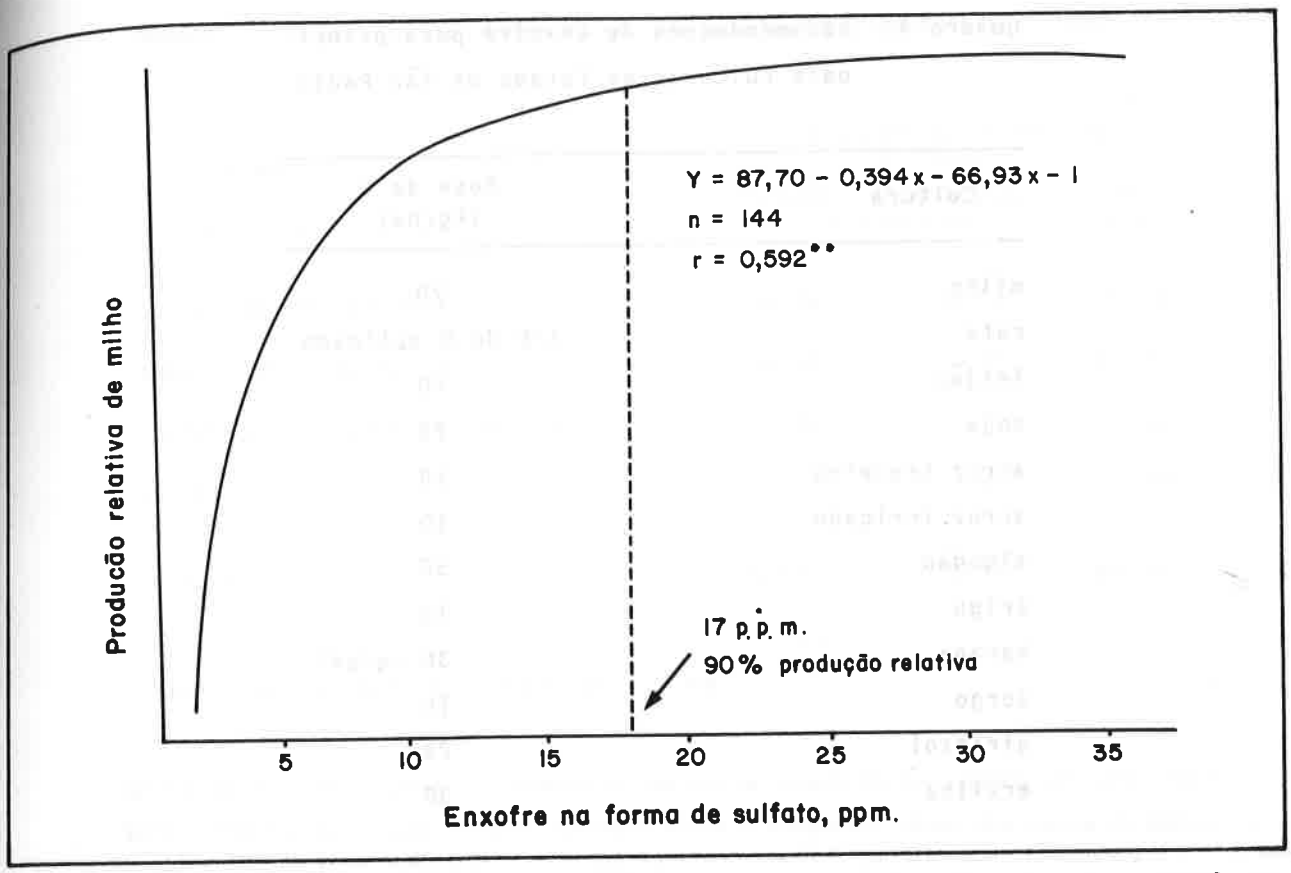


FIG. 3. Relação entre enxofre disponível (solução extratora acetado de amônio 0,5 N) e produção relativa em vasos.

Fonte: adaptado de Malavolta (1980).

NECESSIDADES DE MICRONUTRIENTES DAS CULTURAS

Conforme já foi demonstrado anteriormente para os macronutrientes, o Quadro 6, elaborado por Malavolta (1984), apresenta também as quantidades de micronutrientes necessários para a produção de uma tonelada de produto, pelos principais cultivos brasileiros.

De acordo com as quantidades exigidas de micronutrientes, em ordem decrescente, a escala é a seguinte:

$$Fe > Mn > Zn > B = Cu > Mo$$

Com os dados da produção brasileira das principais culturas (IBGE, 1985), multiplicados pelos números do Quadro 6, podem ser estimadas as necessidades de micronutrientes, conforme o Quadro 7, e sumarizadas na Figura 5.

DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES NOS SOLOS BRASILEIROS

Pode acontecer que um determinado tipo de solo possua um micronutriente em nível suficiente para a cultura, entretanto, ele pode estar bloqueado, isto é em forma não disponível. Além disso, a disponibilidade poderá ser modificada pelo homem através das práticas da adubação e da calagem (Quadro 8).

Quadro 4. Recomendações de enxofre para principais culturas no Estado de São Paulo.

Cultura	Dose de S (kg/ha)
milho	20
café	1/8 do N aplicado
feijão	20
soja	20
arroz sequeiro	10
arroz irrigado	10
algodão	30
trigo	10
banana	30 (g/pé)
sorgo	10
girassol	20
ervilha	30

Fonte: adaptado de Raij et alii (1985).

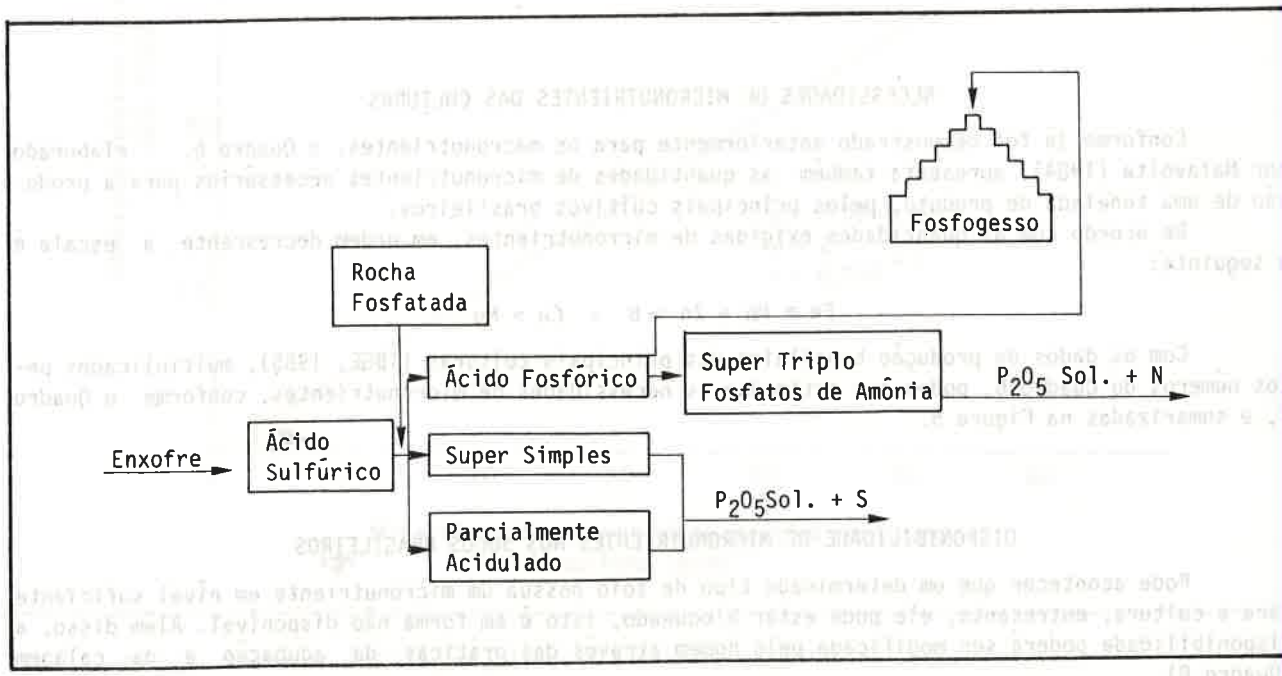


FIG. 4. Rotas de solubilização do fósforo. Marcos Rocha, Paulínia, SP.

Quadro 5. Produção e importação de enxofre destinados à agricultura - 1985.

Fonte	Enxofre contido (1.000 t de S)		
	Produção	Importação	Total
Sulfato de amônio (24% S)	36,08	124,22	160,30
Superfosfato simples (14% S)	268,64	0,32	268,96
Fosfato parcialmente acidulado (6% S)	18,02	-	18,02
Sulfato de potássio (18% S)	-	3,69	3,69
Totais	322,74	128,23	450,97

Fonte: adaptado de Produção Nacional... (1986).

Dentre os fatores ligados à disponibilidade dos micronutrientes, podem ser destacados:

Solo - Sem dúvida alguma, o fator que mais afeta a disponibilidade dos micronutrientes é a reação do solo, medida pelo índice pH. É o que mostra de modo esquemático as Figuras 6 e 7. À medida que o pH aumenta (diminuição da acidez), diminui a disponibilidade do boro, cobre, ferro, manganês e zinco, aumentando entretanto a disponibilidade do cloro e do molibdênio. Contudo, nota-se que na faixa de pH mais adequada para a maioria das culturas, entre 6,0 e 6,5, a disponibilidade não está no mínimo relativo para nenhum dos micronutrientes.

As explicações para a disponibilidade de cada micronutriente podem ser resumidas:

Boro - dentro de certos limites, a disponibilidade do boro acompanha a do nitrogênio e a do enxofre. Isto porque a principal fonte do elemento nas condições naturais é a matéria orgânica. Esta, ao mineralizar sob a ação dos microrganismos do solo, libera nitrogênio, enxofre e boro, que a planta utiliza. No caso do pH ser muito baixo (muita acidez), a atividade microbiana diminui, o que faz cair o fornecimento desses três elementos. Entretanto, se o pH aumentar demais, como conseqüência de calagem excessiva, por exemplo, o boro entra em combinação com as argilas e com a própria matéria orgânica resultando em compostos de menor disponibilidade.

Cobre - o aumento no pH conduz a uma queda na disponibilidade devido à formação de compostos insolúveis (hidróxidos e carbonatos).

Ferro - quando o pH se eleva em uma unidade, passando de 6,0 para 7,0, por exemplo, a concentração de ferro na solução do solo diminui em cerca de 1.000 vezes, devida a formação de hidróxidos de ferro de baixa solubilidade (Figura 6).

Manganês - a acidez (pH abaixo de 5,5) na solução do solo, promove a formação de manganês bivalente, a forma disponível para as plantas. Todavia, aumentando o pH, o elemento sofre transformações convertendo-se na forma trivalente e depois na tetravalente, esta insolúvel e portanto, indisponível.

Molibdênio - a elevação do pH provoca a liberação do molibdato, que deixa a fase sólida, passando para a lábil e em seguida para a solução do solo (Figura 6). Ao que parece, ocorre o deslocamento do íon molibdato pelas oxidrilas (OH) e, por esse motivo, a calagem aumenta a disponibilidade do molibdênio, como se vê na Figura 7.

Zinco - quando o pH aumenta uma unidade (diminuição da acidez), o teor de zinco na solução do solo diminui em 100 vezes, devido à formação de compostos (hidróxidos e zincatos) de menor solubilidade. Num solo ácido e pobre em zinco, a calagem poderá provocar deficiência ou acentuá-la.

Cloro - aumento da disponibilidade com a elevação do pH, provavelmente por razões semelhantes às descritas para o molibdênio.

Quadro 6. Quantidades de micronutrientes, em gramas, necessárias para a produção de uma tonelada das principais culturas.

	Cultura	Quantidades de micronutrientes (g)					
		B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Cereais	Arroz	18	3	263	99	0,26	73
	Milho	13	29	292	119	0,63	85
	Sorgo	100	73	1893	340	2,67	162
	Trigo	100	-	330	153	-	67
Leguminosas	Feijão	-	-	-	-	-	-
	Soja	33	33	566	200	3	67
Sacarinas de amido	Batatinha	4	3	-	6	-	4
	Cana	4	4	155	37	0,02	9
	Mandioca	14	2	67	34	-	8
Fibrosas	Algodoeiro	118	42	1209	92	1,0	43
	Sisal	-	-	-	-	-	-
Oleaginosas	Amendoim	-	-	-	-	-	-
	Coqueiro	-	-	-	-	-	-
	Dendezeiro	-	-	-	-	-	-
	Mamoneira	-	-	-	-	-	-
Hortaliças	Alface	-	4	8	10	-	9
	Cebola	5	2	11	8	-	2
	Cenoura	9	1,5	60	13	-	7
	Couve-flor	5	0,8	9	12	-	7
	Ervilha	170	44	250	250	5	450
	Repolho	-	3	10	3	-	5
	Tomateiro	5	10	25	24	0,012	25
Frutíferas	Abacateiro	6	3	8	2	0,19	5
	Abacaxiziero	4	1	60	30	0,06	5
	Bananeira	-	-	-	-	-	-
	Laranjeira	2,2	1,2	6,6	2,8	0,008	0,9
	Macieira	1	1	8	0,8	0,001	0,2
	Pessegueiro	1,5	1	5	1,5	0,004	1
	Videira	4	4	3	2	0,003	0,6
Estimulantes	Cacaueiro	45	32	245	129	0,08	108
	Cafeeiro (coco)	25	15	80	20	0,25	40
	Fumo	22	14	-	249	32	-
Forrageiras	Gramíneas	28	27	441	117	-	71
	Leguminosas	40	8	190	55	-	27

Fonte: adaptado de Malavolta (1984).

Quadro 7. Quantidades produzidas e estimativa de consumo de micronutrientes para a produção das principais culturas em 1985.

Culturas	Quantidade produzida em 1.000 t	Nutrientes necessários em toneladas					
		B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Arroz	9.022	162	27	2.373	893	2,3	659
Milho	21.174	275	614	6.183	2.520	13,3	1.800
Sorgo	291	29	21	551	99	0,78	47
Trigo	1.956	196	-	645	299	-	131
Feijão	2.614	-	-	-	-	-	-
Soja	15.536	513	513	8.793	3.107	47	1.041
Batatinha	2.172	9	7	-	13	-	9
Cana	222.716	891	891	34.521	8.240	4,5	2.004
Mandioca	21.289	298	43	1.426	724	-	170
Algodão	2.159	255	91	2.610	199	2,2	93
Amendoim	247	-	-	-	-	-	-
Cebola	718	4	1	8	6	-	1
Tomateiro	1.820	9	18	46	44	0,22	46
Abacaxi	312	1	-	19	9	0,02	2
Laranja	14.360	32	17	95	40	0,11	13
Uva	603	2,4	2,4	2	1,8	0,02	0,4
Cacau	345	15,5	11	85	45	0,03	65
Café	2.679	67	40	214	54	0,67	107
Fumo	415	9	6	-	103	-	13
Totais	-	2.768	2.302	57.571	16.397	71	6.201

Fonte: adaptado de IBGE (1985).

Fatores ligados ao clima podem afetar o comportamento de alguns micronutrientes no solo ou na planta.

A seca acentua os sintomas de carência de boro. A falta de água diminui a atividade e o número dos microrganismos responsáveis pela mineralização de matéria orgânica e, portanto, diminui a liberação do boro, como já foi explicado. Por outro lado, o movimento dos micronutrientes e de todos os outros nutrientes na solução do solo para a raiz, também fica prejudicada pela falta de umidade.

A chuva em excesso (ou a irrigação e as regas) pode provocar a lavagem do boro para horizontes profundos, longe do alcance das raízes. O encharcamento e a matéria orgânica podem causar a formação de compostos de ferro insolúveis, menos disponíveis, causando a deficiência, geralmente temporária.

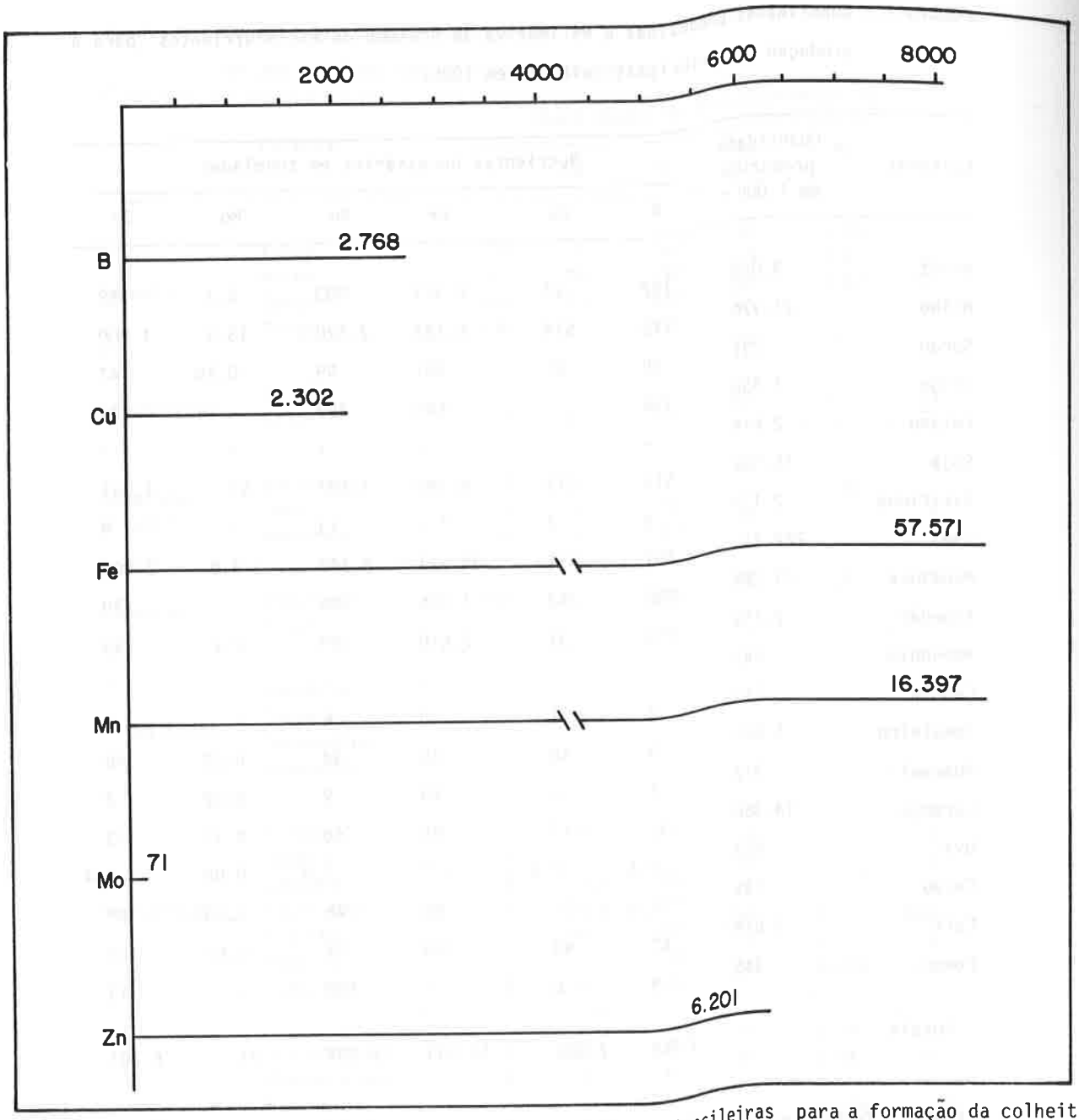


FIG. 5. Consumo de micronutriente pelas principais culturas brasileiras para a formação da colheita. Estimativa de Marcos Rocha, Paulínia, SP.

A grande intensidade luminosa (muita luz), como ocorre no cerrado do Planalto Central, acentua a deficiência de zinco. O teor do elemento na planta pode até ser adequado, mas a auxina sintetizada com a acidez do zinco é em parte inativada.

A própria adubação pode induzir deficiência.

A Figura 8 ilustra como a adubação fosfatada provoca diminuição no teor de zinco do milho, até que o mesmo se torne insuficiente.

O excesso de adubação nitrogenada é capaz de provocar carência de cobre, ferro, manganês e zinco. Também, altos níveis de potássio na adubação podem induzir deficiência de zinco, o mesmo ocorrendo com magnésio solúvel.

Quadro 8. Teores de micronutrientes encontrados em solos brasileiros em forma disponível.

Elemento	Faixa	Teor médio	Teor adequado
	ppm	ppm	ppm
Boro (B)	0,1 - 3	-	0,5 - 1,0
Cobre (Cu)	0,0 - 10	0,6	0,8 - 1,0
Ferro (Fe)	4,0 - 74	30	20 - 30
Manganês (Mn)	0,6 - 100	8	6 - 10
Molibdênio (Mo)	0,01 - 0,2	0,007	?
Zinco (Zn)	0,2 - 4	0,6	0,8 - 1,0
Cobalto (Co)	0,001 - 1	0,2	?

Fonte: adaptado de Lopes (1983).

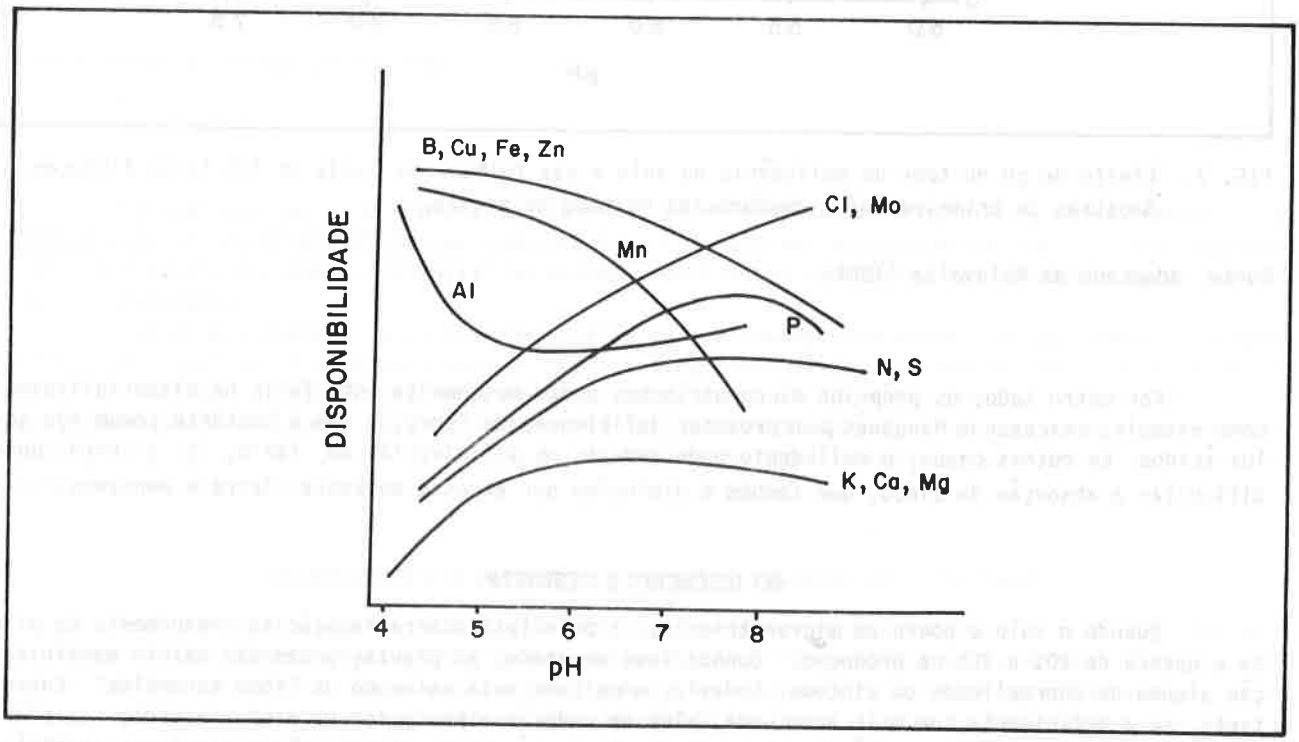


FIG. 6. Efeito do pH na disponibilidade de elementos no solo.

Fonte: adaptado de Malavolta (1981).

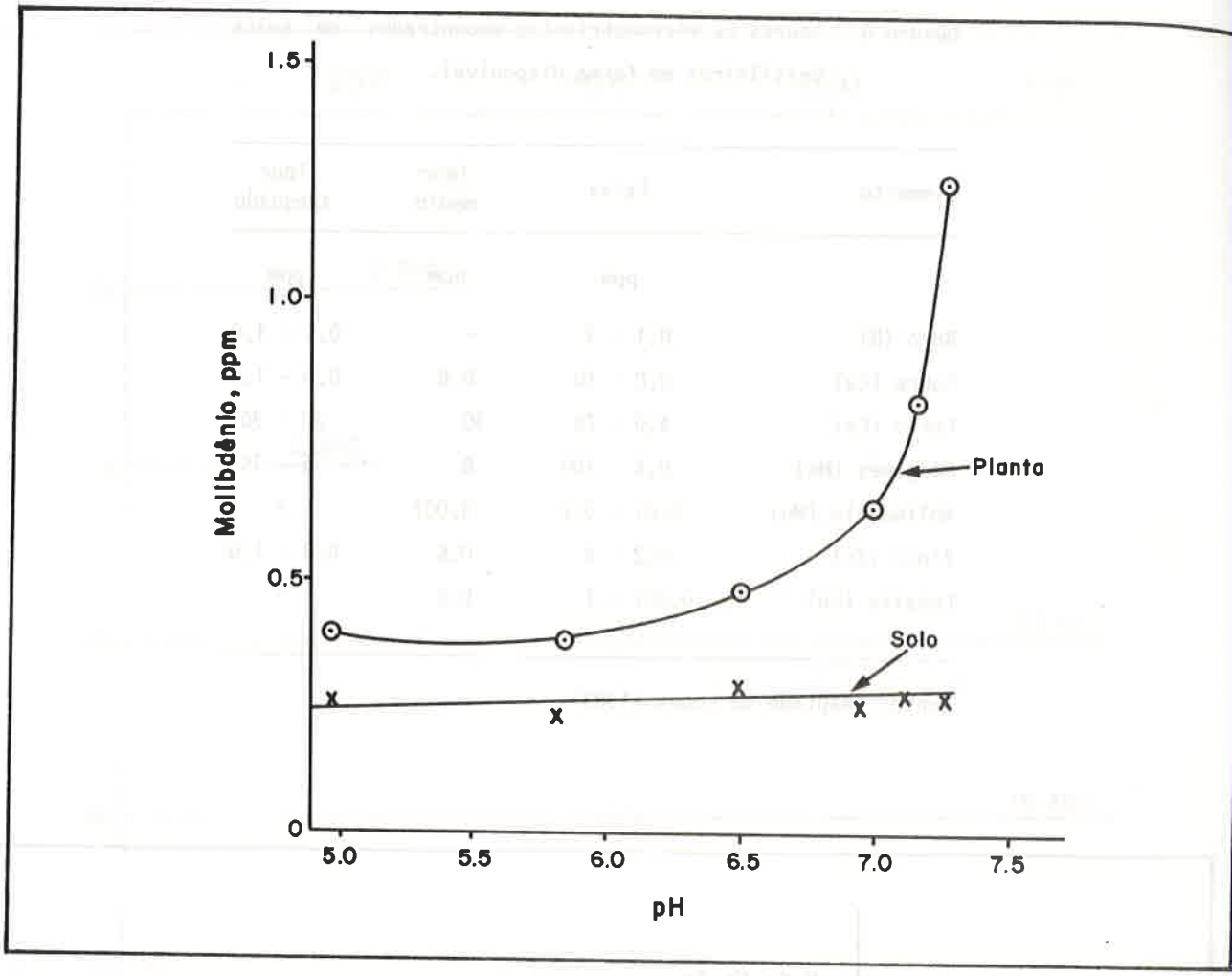


FIG. 7. Efeito do pH no teor de molibdênio no solo e nas folhas da soja no início da floração. Amostras da primeira folha amadurecida no topo da planta.

Fonte: adaptado de Malavolta (1981).

Por outro lado, os próprios micronutrientes podem mutuamente interferir na disponibilidade; como exemplo, o excesso de Manganês pode provocar deficiência de ferro, o que é bastante comum nos solos ácidos. Em outros casos, o molibdênio pode reduzir a deficiência de ferro, e o boro pode dificultar a absorção do zinco, que também é diminuída por excesso de cobre, ferro e manganês.

DEFICIÊNCIAS E RESPOSTAS

Quando o solo é pobre em micronutrientes, a princípio ocorre redução no crescimento da planta e quebra de 20% a 30% na produção. Quando isso acontece, as plantas podem não exibir manifestação alguma de anormalidade ou sintoma, todavia, a cultura está sofrendo de "fome escondida". Entretanto, se a deficiência for mais acentuada, além da redução ainda maior na produtividade, as plantas podem apresentar sintomas típicos de deficiência, carência ou "fome". Tais sinais de anormalidades são mais freqüentes nas folhas, embora possam aparecer também em outros órgãos.

Os solos brasileiros são dos mais velhos do mundo; estima-se que os solos sob vegetação de cerrado, por exemplo, tenham cem milhões de anos. Por isso, houve tempo suficiente para lixiviação e a erosão se encarregassem de empobrecê-los. A situação de empobrecimento pode, por outro lado,

ter sido agravada pelo material de origem (a rocha matriz), o qual já era pobre em micronutrientes no início do processo de formação do solo.

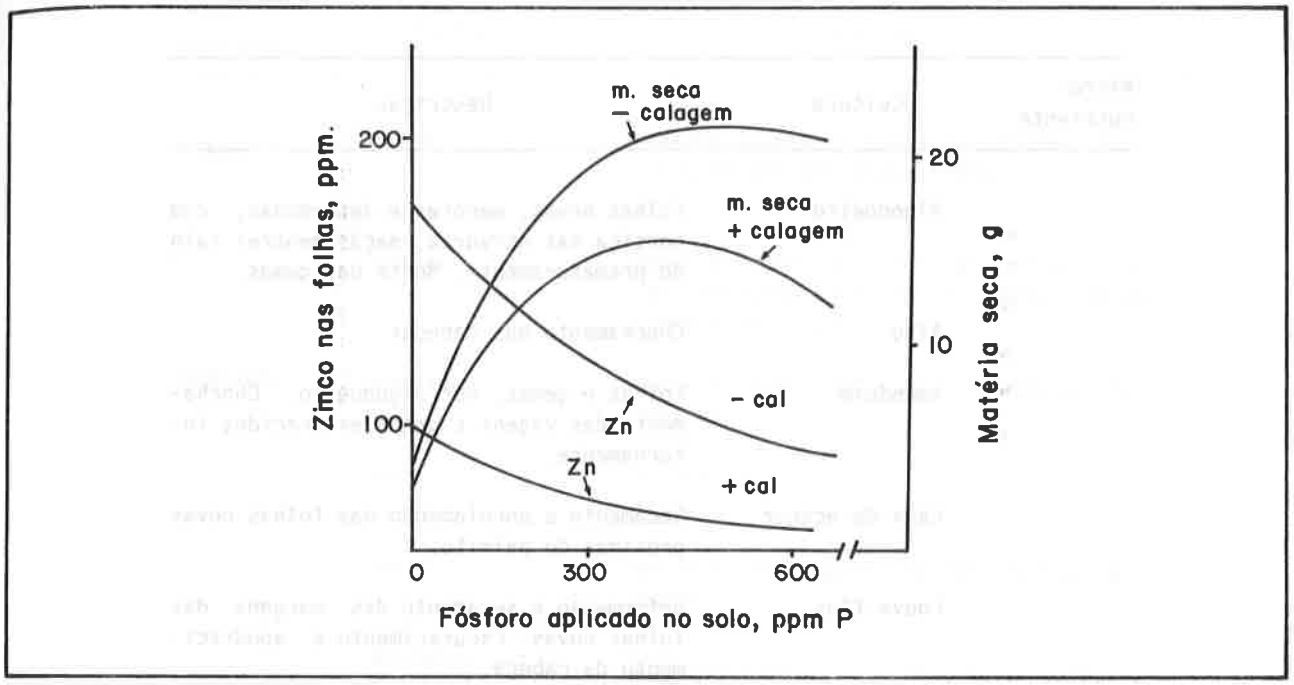


FIG. 8. Efeito da adubação fosfatada e de calagem sobre o crescimento e o teor de zinco no milho em solo bruno ácido.

Fonte: adaptado de malavolta (1981).

Em qualquer que seja a planta ou cultura, um determinado micronutriente exerce sempre as mesmas funções, excessão feita ao molibdênio. Como foi relatado anteriormente, no caso das leguminosas o molibdênio é elemento essencial no processo de fixação simbiótica do nitrogênio do ar nos nódulos radiculares.

Assim, por exemplo, o zinco é necessário para a formação da auxina ácido indolil acético (AIA), sem o qual as células não crescem. Como conseqüência disto, no cafeeiro deficiente nesse elemento os internódios são curtos, o mesmo acontecendo com o pé-de-milho, que fica quase anão. Embora existindo sempre um padrão para os sintomas de deficiência, pode ocorrer alguma variação de uma planta para outra. Nos Quadros 9 e 10 aparecem descrições dos sintomas de deficiência de micronutrientes nas principais culturas.

RECOMENDAÇÕES DE MICRONUTRIENTES PARA AS PRINCIPAIS CULTURAS

Tendo em vista a baixa fertilidade dos solos brasileiros e a freqüência com que aparecem sintomas de deficiência de micronutrientes, muitos Estados recomendam o seu uso para diversas culturas (Malavolta, 1986). Em outros Estados, embora deficiências sejam observadas (e muitas vezes prevenidas ou corrigidas), ainda não existem recomendações oficiais, no entanto, as mesmas deverão aparecer no futuro à medida que a pesquisa e a experimentação progridam. De um modo geral o Quadro 11 consolida as recomendações sobre o uso de micronutrientes e dá outras informações. Para não se aplicar indiscriminadamente os micronutrientes, o que aliás é verdadeiro também para os macro, recomenda-se a consulta prévia aos engenheiros agrônomos da extensão, pesquisa ou da própria industria.

Quadro 9. Principais sintomas de deficiência de micronutrientes encontrados nas culturas anuais.

Micro-nutriente	Cultura	Descrição
	Algodoeiro	Folhas novas, menores e deformadas, com cortiça nas nervuras, maçãs menores caindo prematuramente. Morte das gemas.
	Alho	Chochamento das cabeças.
	Amendoim	Folhas e gemas, ver algodoeiro. Chochamento das vagens e grãos escurecidos internamente.
	Cana-de-açúcar	Secamento e enrolamento das folhas novas próximas do palmito.
	Couve-flor	Deformação e secamento das margens das folhas novas. Escurecimento e apodrecimento da cabeça.
BORO	Girassol	Folhas menores, esbranquiçadas. Abortamento de flores.
	Milho	Internódios curtos, espigas mal granadas.
	Repolho	Folhas, ver couve-flor.
	Soja	Folhas novas amareladas entre as nervuras com as pontas encurvadas para baixo, encarquilhamento das folhas, morte de gemas terminais, pouca ou nenhuma floração e raízes atrofiadas.
	Tomateiro	Folhas novas menores e deformadas, morte das gemas. Rachadura nos frutos.
	Trigo	Chochamento.
	Alface	Cabeças menores, folhas mais novas com manchas irregulares.
	Cana-de-açúcar	Tombamento das touceiras pouco desenvolvidas. Amarelecimento em manchas das folhas mais novas semelhantes ao mosaico.
COBRE	Cebola	Empalidecimento da casca.

(Continua...)

Quadro 9. Continuação...

Micro-nutriente	Cultura	Descrição
FERRO	Geral	Amarelecimento do limbo das folhas, nervuras verdes por algum tempo.
	Feijão	Amarelecimento do limbo das folhas novas; nervuras e tecido ao longo delas permanecem verdes.
MANGANÊS	Mandioca	Amarelecimento entre as nervuras das folhas mais novas.
	Soja	Ver feijão.
MOLIBDÊNIO	Geral	Amarelecimento uniforme das folhas mais velhas.
	Brócoles, Couve-flor e Repolho	Amarelecimento das folhas mais velhas e estrangulamento do limbo.
	Soja	Folhas mais velhas amareladas e encurvadas; pouca nodulação.
ZINCO	Arroz	Plantas menores, diminuição no perfilhamento. Cor ferruginosa nas folhas.
	Cana-de-açúcar	Estrias amarelo-bronzeadas entre as nervuras das folhas mais novas
	Mandioca	Folhas menores e com amarelecimento entre as nervuras.
	Milho	Plantas anãs. Região de crescimento esbranquiçadas. Folhas com estrias brancas ao longo do comprimento. Espigas menores com ponta curva e mal granada.
	Soja	Folíolos menores com manchas pardas.
	Trigo	Plantas menores, pouco perfilhamento, folhas novas estreitas e com estrias amareladas entre as nervuras e depois de cor parda.

Fonte: adaptado de Malavolta (1986).

Quadro 10. Principais sintomas de deficiência de micronutrientes em culturas permanentes.

Micro-nutriente	Cultura	Descrição
BORO	Cafeeiro	Encurtamento de internódios. Morte da gema terminal e superbrotamento. Folhas menores e deformadas.
	Eucalipto	Folhas menores e encarquilhadas, rachaduras na casca e exsudação de goma.
	Laranjeira	Ver cafeeiro. Frutos com albedo grosso e goma nos gomos.
	Macieira	Ver cafeeiro. Frutos com lesões pardas.
	Mamoeiro	Morte nas gemas terminais, folhas menores e encarquilhadas. Fruto com calombos e exsudação de látex.
	Pinus	Morte das gemas e superbrotamento.
	Videira	Ver cafeeiro. Cachos com bagas menores e maiores.
COBRE	Cafeeiro	Mudas, folhas com nervuras secundárias salientes (costelas) e encurvadas para baixo. Adultas, folhas com nervuras salientes e deformadas.
	Laranjeira	Folhas novas grandes e flácidas, ramos deformados e com exsudação de goma. Frutos rachados.
FERRO	Geral	Ver anuais (Quadro 9)
MANGANÊS	Geral	Ver anuais (Quadro 9)
ZINCO	Cacaueiro, Cafeeiro e Laranjeira	Folhas novas em forma de foice. Encurtamento de internódios. Folhas novas amareladas entre as nervuras e lanceoladas. Secamento de ponteiros. Roseta na ponta dos ramos.
	Eucalipto	Semelhante a Cafeeiro e Laranjeira.

Fonte: adaptado de Malavolta (1986).

Quadro 11. Recomendações gerais para o uso de micronutrientes.

Elemento	Cultura	kg/ha	Método de aplicação	Observações
	Alface	1,0	Na mistura de adubos	10 dias antes da semeadura ou transplante.
	Algodoeiro	0,5 - 1,0	Na mistura de adubos, no sulco de plantio	Usar a dose maior no solo onde a deficiência já foi observada e a menor nos demais casos.
	Alho	3,0	Na mistura de adubos	8-10 dias antes do plantio.
	Beterraba, Brócoles, Couves e Repolho	1,0	Na mistura de adubos	No plantio.
BORO (B)	Cacaueiro	1,0	Na mistura de adubos	Covas de plantio.
		1,0	Idem	2 vezes ao ano, plantas formadas.
	Cafeeiro	1,0	Ver cacaueiro	
		1,0	Ver cacaueiro	
	Citrus	1,0	Ver cacaueiro	
		1,0	Ver cacaueiro	
	Ervilha	1,0	Na mistura de adubos	No plantio.
	Eucalipto e Pinus	0,5	Na mistura de adubos, covas ou sulcos do plantio	Aplicações foliares de ácido bórico com 0,08% se necessário na seca.
	Girassol	1,0; 2,0 ou 3,0	Na mistura de adubos	Dose menor - solos arenosos, Dose média - solos intermediários.

(Continua...)

Quadro 11. Continuação.

Elemento	Cultura	kg/ha	Método de aplicação	Observações
	Leguminosas forrageiras	0,5 - 1,0	Na mistura de adubos	Dose menor em solos arenosos.
	Mamoeiro	1	Na mistura de adubos	Plantio
BORO (B)	Soja	0,5 - 1,0	Ver leguminosas forrageiras	
	Tomateiro	1	Na mistura de adubos	Plantio
	Trigo	0,5 - 1,0	Na mistura de adubos	Dose menor em solos arenosos.
	Cafeeiro	0,5	Na mistura de adubos	Covas de plantio. Planta em formação e produção - produtos com Cu no controle da ferrugem. Se necessário usar sulfato de cobre a 0,3% nas folhas.
	Cana-de-açúcar	2,5 - 5,0	Mistura de adubos, nos sulcos de plantio	Dose maior em solos muito pobres em cobre, deficiência observada.
COBRE (Cu)	Citrus	0,5	Na mistura de adubos	Covas de plantio. Planta em formação ou em produção quando a aplicação de defensivos com cobre é insuficiente para suprir as necessidades da planta.
	Hortaliças em geral	0,5 - 1,0	Mistura de adubos	Dose maior em solos argilosos ou com muita matéria orgânica ou calcariados. Se necessário usar sulfato de cobre 0,2% nas folhas.
	Trigo	0,5	Mistura de adubos	

(Continua...)

Quadro 11. Continuação.

Elemento	Cultura	kg/ha	Método de aplicação	Observações
FERRO (Fe)	Abacaxi, Sorgo Arroz e Milho	1,0	Foliar	Neutralizar a solução, geralmente de sulfato ferroso; se necessário quelatos também poderão se aplicados.
MANGANÊS (Mn)	Cana-de-açúcar	2,5 - 5,0	Mistura de adubos	Doses maiores em solos calcariados argilosos ou orgânicos.
	Citrus, Feijoeiro e Tomateiro	1,0 a 2,0	Foliar	Solução de sulfato de manganês a 0,15%, 1 a 4 vezes/ano. Quelatos também podem ser empregados.
	Soja	3,0	Na mistura de adubos	
	Trigo	1,0 a 2,0	Na mistura de adubos	Ver cana-de-açúcar
MOLIBDÊNIO (Mo)	Hortaliças em geral	0,25 - 0,50	Mistura de adubos	Doses maiores em brássicas. Se necessário usar molibdato de sódio ou amônio a 0,1% nas folhas, na sementeira e depois do pagamento.
	Leguminosas de grãos (ervilhas, feijão, soja)	0,25 a 0,50	Mistura de adubos	
	Leguminosas forrageiras	0,10 a 0,25	Mistura de adubos	Doses maiores em espécies de clima temperado.

(Continua...)

Quadro 11. Continuação.

Elemento	Cultura	kg/ha	Método de aplicação	Observações
	Alho	5,0	Mistura de adubos	
	Arroz	2,5 - 5,0	Mistura de adubos	Dose maior em arroz irrigado.
	Cacaueiro	1,0	Mistura de adubos	Cova de plantio.
		3,0	Idem	Plantas formadas, se necessário usar sulfato de zinco a 0,6% nas folhas. Quelatos também podem ser usados.
	Cafeeiro	Ver cacaueiro		
	Citrus	Ver cacaueiro		
	Cana-de-açúcar	2,0	Mistura de adubos	
	Eucalipto	2,0	Mistura de adubos	
ZINCO (Zn)	Frutíferas em geral	Ver cacaueiro		
	Gramíneas forrageiras	3,0	Mistura de adubos	Estabelecimento e manutenção.
	Leguminosas forrageiras	2,0	Idem	Idem
	Mamoeiro	1,0	Mistura de adubos	Plantio.
	Mandioca	3,0	Mistura de adubos	Plantio.
	Milho	2,0 a 5,0	Mistura de adubos	Dose maior em solos muito pobres ou calcariados.
	Soja	2,0	Mistura de adubos	
	Trigo	3,0	Mistura de adubos	
COBALTO (Co)	Leguminosas forrageiras	0,05	Mistura de adubos	
	Leguminosas de grãos	0,075	Idem	

Fonte: adaptado de Malavolta (1986).

DEMANDA

Levando-se em conta a área cultivada com as diferentes culturas no Brasil (IBGE, 1985), os dados de pesquisa disponíveis e as recomendações oficiais para adubação com micronutrientes, foram calculadas estimativas das necessidades do país em termos de micronutrientes (Malavolta, 1986).

Estes resultados aparecem no Quadro 12 e em resumo são:

Boro	10.000 t
Cobre	2.500 t
Ferro	125 t
Manganês	1.000 t
Molibdênio	130 t
Zinco	44.000 t

Quadro 12. Necessidades de micronutrientes das principais culturas.

Cultura	Toneladas					
	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Molibdênio	Zinco
Cacau	482	-	-	-	-	964
Café	4866	1216	-	-	-	4866
Laranja	475	-	-	950	-	950
Limão	23	-	-	46	-	46
Maçã	10	-	-	-	-	20
Mamão	22	-	-	-	-	-
Pêssego	-	-	-	-	-	42
Uva	104	-	-	-	-	-
Abacaxi	-	-	125	-	-	-
Algodão	2706	-	-	-	-	1353
Alho	24	-	-	-	-	-
Amendoim	312	-	-	-	-	-
Arroz	-	-	-	-	-	18729
Batatinha	181	-	-	-	-	-
Cana-de-açúcar	651	1303	-	-	-	651
Cebola	-	16	-	-	-	-
Feijão	-	-	-	-	46	-
Mandioca	-	-	-	-	-	2015
Milho	-	-	-	-	-	11451
Soja	-	-	-	-	87	2186
Sorgo	-	-	-	-	-	78
Tomate	50	-	-	-	-	-
Trigo	-	-	-	-	-	780
Total	9.906	2.535	125	996	133	43.931

Fonte: adaptado de Malavolta (1986).

Embora não existam dados sobre o consumo efetivo de micronutrientes, acredita-se que não deva chegar a um quinto desses valores. Portanto, a conclusão é que a falta e o baixo nível do uso de micronutrientes devam estar contribuindo para os baixos tetos de rendimento observados e para a menor eficiência dos demais adubos e insumos.

PRODUÇÃO E IMPORTAÇÃO

Os produtos usados como fontes de micronutrientes classificam-se em:

1- óxidos, ácidos e sais minerais;
2- silicatos complexos ("fritas") e
3- quelatos naturais ou sintéticos;

Os dois primeiros grupos têm apenas minerais em sua composição e os quelatos são produtos orgânicos.

No Quadro 13 encontra-se a lista dos óxidos, ácidos e sais minerais mais usados, no Quadro 14 a composição elementar das fritas e no Quadro 15 os principais quelatos.

Os óxidos, ácidos e sais podem ser produtos naturais, simplesmente beneficiados ou produzidos pela indústria à partir de diversas matérias primas.

As "fritas" são também chamadas "elementos traços fritados", tradução literal do inglês "Fritted Trace Elements", com a sigla FTE. Para obtê-las, os micronutrientes são fundidos a 1.300°C, juntamente com a sílica e boratos. Ao sair do forno, o material é resfriado rapidamente em água, formando cristais que em seguida são moídos muito finamente. Devido a pouco solubilidade, as "fritas" liberam gradualmente os micronutrientes no solo de modo semelhante ao de alguns óxidos, sais e fosfatos, o que representa uma vantagem, reduzindo o perigo de toxicidade. Recentemente foram introduzidas no mercado formas granulares de fritas, parcialmente solubilizadas com ajuda de ácido sulfúrico.

Nos quelatos, o micronutriente é seguro pela molécula orgânica como se esta fosse uma pinça. Com isso, o elemento metálico fica menos exposto às reações de insolubilização que podem ocorrer no solo, caso fossem fornecidos na forma do sal mineral correspondente. Embora inicialmente os quelatos tivessem sido desenvolvidos e usados para fornecer micronutrientes metálicos (Cu, Fe, Mn, Zn) via solo, mais recentemente começaram a ser empregados também via foliar.

As reservas brasileiras de cobre, ferro, manganês e zinco são suficientes para atender a demanda do mercado interno. Até o momento não foram dimensionadas as jazidas de boro e molibdênio no Brasil. O boro é totalmente importado, principalmente dos Estados Unidos da América e da Argentina, e o molibdênio é produzido principalmente de minério contendo sulfeto de molibdênio. Esse minério ocorre principalmente nos depósitos nos quais os metais principais são o cobre, o urânio e o tungstênio. Existem informações da ocorrência de molibdênio em diversos Estados do Brasil.

A indústria nacional emprega grande variedade de matérias primas para a produção de micronutrientes, tais como:

. óxidos e minérios de zinco;
. bórax e boratos naturais;
. óxidos de cobre;
. óxidos e minérios de ferro e de manganês e
. óxidos e minérios de molibdênio e de cobalto.

Também deve ser levado em consideração que os calcários brasileiros podem conter teores não desprezíveis de micronutrientes, principalmente zinco, ferro, cobre, manganês e molibdênio (Malavolta, 1981).

COMERCIALIZAÇÃO

A distribuição dos micronutrientes para a agricultura é efetuada por aproximadamente cinco dezenas de empresas, sediadas na região central do país. Estas, utilizam basicamente de dois canais de comercialização, vendas diretas ao consumidor final (agricultores) e vendas industriais (revendedores).

A utilização desses produtos pode ser de duas maneiras, diretamente aplicado na lavoura ou adicionado aos fertilizantes (NPK), o que é o mais comum.

Quadro 13. Óxidos, ácidos e sais minerais como fonte de micronutrientes.

Fonte	Fórmula química	Teor do elemento (%)
Boro:		
Bórax	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	11
Pentaborato de sódio	$Na_2B_{10}O_{16}.10H_2O$	
Tetraborato de sódio		
Borato 46	$Na_2B_4O_7.5H_2O$	14
Borato 65	$Na_2B_4O_7$	20
Solubor	$Na_2B_4O_7.5H_2O + Na_2B_{10}O_{16}.10H_2O$	20
Ácido bórico	H_3BO_3	17
Colemanita	$Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$	10
Cobre:		
Sulfato cúprico		
Penta hidratado	$CuSO_4.5H_2O$	25
Monohidratado	$CuSO_4.H_2O$	35
Básicos	$CuSO_4.3Cu(OH)_2$	13-53
Malaquita	$2CuSO_3.Cu(OH)_2$	55
Óxido cuproso	Cu_2O	89
Óxido cúprico	CuO	75
Calcopirita	$CuFeS_2$	35
Calcosita	Cu_2S	80
Fosfato cúprico		
Amoniacal	$Cu(NH_4)PO_4.H_2O$	32
Acetato cúprico	$Cu(C_2H_3O_2).H_2O$	32
Oxalato cúprico	$CuC_2O_4.1/2H_2O$	40
Ferro:		
Sulfato ferroso	$FeSO_4.7H_2O$	19
Sulfato férrico	$Fe_2(SO_4)_3.4H_2O$	23
Óxido ferroso	FeO	77
Óxido férrico	Fe_2O_3	69
Fosfato ferroso		
Amoniacal	$Fe(NH_4)PO_4.H_2O$	29
Sulfato ferroso amoniacal	$(NH_4)_2SO_4.FeSO_4.6H_2O$	14
Polifosfato de ferro		
e amônio	$Fe(NH_4)HP_2O_7$	22

(Continua...)

Quadro 13. Continuação

Fonte	Fórmula química	Teor do elemento (%)
Manganês:		
Sulfato manganoso	$MnSO_4.3H_2O$	26-28
Óxido manganoso	MnO	41-68
Carbonato manganoso	$MnCO_3$	31
Cloreto manganoso	$MnCl_2$	17
Óxido manganoso	MnO_2	63
Molibdênio:		
Molibdato de sódio	$Na_2MoO_4.2H_2O$	39
Molibdato de amônio	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$	54
Trióxido de molibdênio	MoO_3	66
Sulfeto de molibdênio	MoS_2	60
Zinco:		
Sulfato de zinco		
Monohidratado	$ZnSO_4.H_2O$	35
Heptahidratado	$ZnSO_4.7H_2O$	23
Básico	$ZnSO_4.Zn(OH)_2$	55
Óxido de zinco	ZnO	20-78
Carbonato de zinco	$ZnCO_3$	52
Sulfeto de zinco	ZnS	67
Fosfato de zinco	$Zn_3(PO_4)_2$	51

Fonte: adaptado de Malavolta (1986).

Existem também duas formas físicas de apresentação desses micronutrientes, os fertilizantes sólidos e os líquidos. Os sólidos em maior quantidade, são aplicados diretamente no solo ou misturados aos adubos radiculares, enquanto que os últimos são utilizados via foliar.

BALANÇO

Enxofre

Conforme já foi mencionado, em 1985 as necessidades das principais culturas brasileiras em enxofre foram estimadas em torno de 550 mil toneladas. Esse volume refere-se as quantidades exportadas, já que os restos de cultura retornam ao solo e parte dos elementos é reciclada.

Através das recomendações técnicas para aplicação de enxofre em kg/ha, multiplicadas pela área agricultável do País e levando em conta determinado índice de utilização, é possível estimar a necessidade potencial de enxofre ao redor de 700 mil a 1 milhão de toneladas.

Quadro 14. Óxidos silicatos ("Fritas") produzidos no Brasil e teores de micronutrientes nos produtos.

Fórmula dos óxidos silicatados ("Fritas")	Teores dos elementos (%)						
	Zinco	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Molibdênio	Cobalto
FTE BR-8	7,00	2,50	1,00	5,00	10,00	0,10	-
FTE BR-9	6,00	2,00	0,80	6,00	3,00	0,10	-
FTE BR-10	7,00	2,50	1,00	4,00	4,00	0,10	0,10
FTE BR-12	9,00	1,80	0,80	3,00	2,00	0,10	-
BR-12 Extra	15,00	2,50	1,00	3,00	3,00	0,10	-
FTE BR-13	7,00	1,50	2,00	2,00	2,00	0,10	-
FTE BR-15	8,00	2,80	0,80	-	-	0,10	-
FTE BR-16	3,50	1,50	3,50	-	-	0,40	-
FTE BR-24	18,00	3,60	1,60	6,00	4,00	0,20	-
Micronutri-121	12,00	1,00	-	-	-	0,60	0,15
Micronutri-155	15,00	5,00	-	-	6% Mg	-	-
Micronutri-183	18,00	3,00	-	-	8% Mg	-	-
Micronutri-204	20,00	4,00	-	-	-	-	-
Micronutri-222	22,00	2,00	1,00	-	-	-	-
Micronutri-252	25,00	2,50	-	-	-	1,30	0,30
Micronutri-301	30,00	1,00	1,00	-	-	-	-
Nutricitro-248	24,00	2,00	-	-	8,00	-	-
ZIN-COP 101	10,00	2,00	10,00	-	-	-	-
ZIN-COP 105	10,00	2,00	10,00	5,00	-	-	-
ZIN-COP 110	10,00	-	10,00	-	-	-	-
ZIN-COP 115	10,00	1,00	15,00	5,00	-	-	-
ZIN-COP 201	20,00	1,00	10,00	5,00	-	-	-
ZIN-COP 210	20,00	-	10,00	-	-	-	-
Zincogran	20,00	-	6% S	-	-	-	-
Nutrizinco I	30,00	-	-	2,00	-	-	-
Nutrizinco II	20,00	-	-	2,00	-	-	-
Sulfato de zinco	21,00	-	-	-	-	-	-
Nutriboro	-	9,00	-	-	-	-	-
Borogran	-	8,00	-	-	-	-	-
Nutrimag	-	-	4% S	-	30% Mg	-	-

Fonte: adaptado de Malavolta (1986).

Quadro 15. Principais quelatos comerciais.

Fonte	Fórmula	Porcentagem do metal
Cobre:		
Oxalato	$CuC_2O_4.0,5H_2O$	40
Quelato sintético	Na_2Cu EDTA	13
Quelato sintético	NaCu HEDTA	9
Naturais	Poliflavonóides	5-7
Ferro:		
Quelatos sintéticos	NaFe EDTA	5-14
	NaFe HEDTA	5-9
	NaFe EDDHA	6
	NaFe DTPA	10
Quelatos naturais	Poliflavonóides	9-10
	Lignossulfonatos	5-8
Metoxifenilpropano	FeMPP	5
Manganês:		
Quelato sintético	Mn EDTA	12
Quelato natural	Poliflavonóides	8,5
Metoxifenilpropano	MnMPP	10-12
Zinco:		
Quelatos sintéticos	Na_2Zn EDTA	14
	NaZn NTA	13
	NaZn HEDTA	9
Quelatos naturais	Poliflavonóides	10
	Lignossulfonato	5

Fonte: adaptado de Malavolta (1981).

Ficou demonstrado que o enxofre contido nos fertilizantes nitrogenados e fosfatados são responsáveis pela adição de cerca de 500 mil toneladas de S aos solos do País. Disso, conclui-se que estão apenas sendo repostas ao solo as quantidades extraídas e exportadas.

Qualquer aumento de produtividade, deve necessariamente representar maiores adições de enxofre ao solo, que podem chegar a outras 500 mil toneladas de S, pela diferença entre o recomendado e o aplicado.

Micronutrientes

A indisponibilidade de dados estatísticos sobre o consumo efetivo, cria dificuldade para analisar o balanço dos micronutrientes.

Por outro lado, o conhecimento da fertilidade natural dos solos brasileiros, face a grande variabilidade de tipos, torna difícil a caracterização química do solo típico ou padrão.

Lopes (1983), usando 518 amostras de terra (Quadro 16) coletadas em solos de cerrado, apresenta análises que avaliam a fertilidade natural e as principais características em relação aos micronutrientes essenciais. Alguns resultados obtidos por Lopes (1983) são relatados a seguir:

Zinco: 95% das amostras analisadas são deficientes nesse elemento, sendo a média em torno de 0,6% ppm e a amplitude variando entre 0,2 e 2,15 ppm. Trabalhos da Universidade da Carolina do Norte estabelecem como nível crítico de zinco 1 ppm.

Cobre: 70% das amostras analisadas apresentam deficiência em cobre, com média de 0,6 ppm e variação entre 0,0 e 9,7. Hunter (1975) estabeleceu como nível crítico para o cobre 1 ppm.

Manganês: 37% dos solos analisados são deficientes em manganês, com média de 7,6 ppm e amplitude entre 0,6 e 92,2. Cox & Kamprath (1973) estabeleceram 5,0 ppm como nível crítico de manganês.

Quadro 16. Caracterização química dos solos de cerrado em 518 amostras de terra analisadas.

Micronutrientes	ppm		Nível crítico	Solos deficientes (%)
	mediana	amplitude		
Zinco[1]	0,6	0,2 - 2,15	1	95
Cobre[2]	0,6	0,0 - 9,70	1	70
Manganês[3]	6	0,6 - 2,2	1	37
Ferro	32,5	3,7 - 74,0	-	-
Boro	-	-	-	-
Cobalto	-	-	-	-
Molibdênio	-	-	-	-

[1] Nível crítico estabelecido pela North Carolina State University.

[2] Nível crítico de acordo com Hunter (1975).

[3] Nível crítico de acordo com Cox & Kamprath (1973).

Fonte: adaptado de Lopes (1983).

Ferro, boro, cobalto e molibdênio: Para esses quatro micronutrientes, ainda não foram estabelecidos níveis críticos bem definidos.

Ainda, segundo Lopes (1983), levando em consideração os resultados das análises e as pesquisas conhecidas, é maior a probabilidade de que sejam obtidas respostas para aplicação de zinco e cobre nesses solos sob vegetação de cerrado.

Malavolta (1986), utilizando-se da área cultivada com as diferentes culturas no Brasil, de dados de pesquisa e as recomendações oficiais de adubação, estimou as necessidades do país em micronutrientes, as quais aparecem no Quadro 17.

Quadro 17. Necessidades de micronutrientes para diversas culturas.

Micronutrientes	Necessidades (t)	Estimativa uso (t)	Déficit (t)
Boro	10.000	2.000	8.000
Cobre	2.500	500	2.000
Ferro	125	25	100
Manganês	1.000	200	800
Molibdênio	130	26	104
Zinco	44.000	8.800	35.200

Fonte: adaptado de Malavolta (1986).

Como não se dispõe de informações sobre o consumo real, a falta de aplicação de micronutrientes (déficits) certamente deve estar contribuindo para os baixos rendimentos observados para a menor eficiência dos demais adubos e insumos.

LITERATURA CITADA

COX, F.R. & KAMPRATH, E.J. Micronutrients soils tests. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. eds. Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Sci. Soc. Amer., 1973. cap.1 p.289-317.

HUNTER, A.H. Laboratory and greenhouse technique for nutrient survey studies to determine the soil amendments required for optimum plant growth. Raleigh. North Carolina State University ISFEIP. Department of Soil Science. 1975. 19p. (mimeo.).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola. Rio de Janeiro, 1985. 84p.

LOPES, A.S. Solos sob "cerrado"; características, propriedades e manejo. Piracicaba, POTAFÓS, 1983. 162p.

MALAVOLTA, E. Estudos sobre o enxofre. Piracicaba, ESALQ (Tese Livre Docência) 1950. 120p.

MALAVOLTA, E. Exigências nutricionais das plantas e necessidades de fertilizantes e corretivos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, DF, 1984. Anais... Brasília, EMBRAPA/POTAFÓS, 1984. p.159-78.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola; adubos e adubação. 3 ed. São Paulo, Agronômica Ceres 1981. 606p.

MALAVOLTA, E. Micronutrientes na adubação. Paulínia, NUTRIPLANT, 1986. 65p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; KLIEMANN, H.J.; FAGERIA, N.K.; GUIMARÃES, P.T.G. & MALAVOLTA, M.L. Sulphur in Brasilian agriculture. s.l. 1986. 65p. (mimeo.).

Produção Nacional e importação de fertilizantes e suas matérias primas. s.l., AMA/ANDA/SIACESP/ SIMPIFESP, 1986. n.p. (mimeo.).

RAIJ, B. van; SILVA, N.M. da; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; DECHEN, A.R. & TRANI, P.E. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, IAC, 1985. 107p. (IAC Boletim Técnico, 100).

RELAÇÃO DE PARTICIPANTES DA XVII REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO

ADAUTO BARROS FERNANDES
ESAL-Deptº Ci. de Solo
C. Postal 37
37.200 - Lavras, MG

ADEMAR ESPIRONELLO
IAC - C. Postal 28
13.001 - Campinas, SP

ADEMIR CALEGARI
IAPAR - C. Postal 510
85.500 - Pato Branco, PR

AFRÂNIO CESAR MIGLIARI
Rua Mossoró, 600 - Ap. 23
86.020 - Londrina, PR

ALEX CARNEIRO LEAL
IAPAR - C. Postal 1331
86.001 - Londrina, PR

ALFREDO SCHEID LOPES
ESAL-Deptº Ci. de Solo
C. Postal 37
37.200 - Lavras, MG

ALLERT ROSA SUHET
EMBRAPA-CPAC
C. Postal 700023
73.300 - Planaltina, DF

ANA RITA A. NOGUEIRA
EMBRAPA-UEPAE
Rod. Washington Luiz, km 234
C. Postal 339
13.560 - São Carlos, SP

ANGELA M.C. FURLANI
IAC - C. Postal 28
13.001 - Campinas, SP

ANTONIO COSTA
IAPAR - C. Postal 1331
86.001 - Londrina, PR

ANTÔNIO C.M. MATOS
EPABA - C. Postal 024
47.800 - Barreiras, BA

ANTONIO CARLOS VARGAS MOTTA
Pça da Bandeira, 37 - Ap. 331
37.200 - Lavras, MG

ANTONIO FERREIRA
Sementes Mauá
Rua Fernando de Noronha, 319
86.020 - Londrina, PR

ANTONIO F.J. BELLOTE
Rua XV de Novembro, 2471
13.400 - Piracicaba, SP

ANTONIO L.B. AZEVEDO
Coop. Agríc. de Cotia
Est. Ponta Grossa/Palmeira, 500
84.040 - Ponta Grossa, PR

ANTONIO MARQUES DA SILVA
TROIAN Ind. Com. Café e Cereais
Av. Presidente Kennedy, 2.362
85.940 - Palotina, PR

ANTONIO SARAIVA MUNIZ
Univ. Est. de Maringá
C. Postal 331
87.001 - Maringá, PR

ARNALDO COLOZZI FILHO
Rua Paulo O. Lima, 351 - Ap 301
37.200 - Lavras, MG

ATSUO SUZUKI
EMPASC - Est. Exper. Caçador
C. Postal D-1
89.500 - Caçador, SC

ALBERTO COTRIN COIMBRA
PROPLANTA Agricultura Ltda
Av. Maurício Cardoso, 255
99.700 - Erechim, RS

ALCIR CHIARI
CAC-CC
Av. Celso Garcia Cid, 599
86.010 - Londrina, PR

ALFREDO HAGEMANN
CALCOAGRO LTDA
Rod. dos Minérios, km 14
83.500 - Almirante Tamandaré, PR

BEATRIZ R. MENDONÇA
Rua Silvestre P. Soares, 511
25.975 - Teresópolis, RJ

BRAZ V. DEFELIPO
Univ. Fed. Viçosa
Rua Alberto Pacheco, 90
36.570 - Viçosa, MG

CAIO VIDOR
Fac. Agron. - UFRGS
Av. Bento Gonçalves, 7712
91.500 - Porto Alegre, RS

CARLOS ALBERTO BISSANI
EMPASC - C.Postal 181
88.500 - Lages, SC

CARLOS A. VASCONCELOS
CNPMS-EMBRAPA
C. Postal, 151
35.700 - Sete Lagoas, MG

CARLOS ALVAREZ
ARBORE
Rua Rio das Pedras, 123
13.030 - Campinas, SP

CARLOS A. CUNHA
QUIMBRASIL S/A
Rua General Osório, 1155
99.010 - Passo Fundo, RS

CARLOS H. DA SILVA
Banco do Brasil S/A
Av. Paraná, 347
86.010 - Londrina, PR

CARLOS O. PONCHIO
Ultrafértil S/A
Av. Ernesto Igel, 429
05.077 - São Paulo, SP

CARLOS V. S. BARBO
UEPAE-EMBRAPA
C. Postal 661
79.800 - Dourados, MS

CELI T. FEITOSA
IAC - C. Postal 28
13.001 - Campinas, SP

CELITO MISSIO
Agropec. Basso
Rua São Paulo, 933
79.030 - Campo Grande, MS

CELSO DE A. GAUDÊNCIO
CNPSo-EMBRAPA
C. Postal 1061
86.001 - Londrina, PR

CELSO DE C. FILHO
IAPAR - C. Postal 1331
86.001 - Londrina, PR

CELSO WOBETO
Coop. Entre Rios
Colônia Vitória
85.100 - Guarapuava, PR

CLÁUDIO P. PEREIRA
Arafértil S/A
Rua Santa Cruz, s/nº
38.180 - Araxá, MG

CLEIDE A. DE ABREU
EPAMIG - C. Postal 295
35.700 - Sete Lagoas, MG

CLORI BASSO
EMPASC - Est. Exp. Caçador
C. Postal D-1
89.500 - Caçador, SC

CRISTINA M.A. DIB TÁXI
Fac. Ci. Agrár. Pará
Av. Perimetral, s/nº
66.052 - Belém, PA

DANIEL DALLAGNOL
DANATHOS Plan. Agropec.
Rua Duque de Caxias, 100
89.620 - Campos Novos, SC

DAVID DE AQUINO FILHO
Banco do Brasil
Av. Princesa Izabel
Ed. Vitória Center - 6º andar
29.010 - Vitória, ES

DAVILSON R. TOSSI
SOLOCENTER/NUTRICENTER
Rua José Bonifácio, 1.303
98.700 - Ijuí, RS

DÉCIO C. ZOCOLER
IAPAR - C. Postal 1331
86.001 - Londrina, PR

DILERMANDO M. DA FONSECA
EPAMIG
Rua Benjamim Araújo, 156/310
36.570 - Viçosa, MG

DIÓGENES PANCHONI
Pioneer Sementes
Av. Higienópolis, 70 - s.66
86.020 - Londrina, PR

DIVINO S. LAVES
Reichert Agropec.
C. Postal 53
79.540 - Cassilândia, MS

DIVON SCARPIM
IBC - C. Postal 767
86.001 - Londrina, PR

DJALMA M.G. SOUSA
EMBRAPA-CPAC
C. Postal 70.023
73.300 - Planaltina, DF

DRÁUSIO G. ARMBRUSTER
SN-Centro Pesq. Prom. Sulf. Amon.
Av. Vieira Carvalho, 172 - 6º and.
01.210 - São Paulo, SP

EDSON F. DE OLIVEIRA
OCEPAR - BR. 467, km 19
85.800 - Cascavel, PR

EDSON L. DE OLIVEIRA
IAPAR - C. Postal 1331
86.001 - Londrina, PR

EDSON L.M. COUTINHO
UNESP - Depto Solos e Adubos
Rod. Carlos Tonanni, km 5
14.870 - Jaboticabal, SP

EDUARDO B. LUCHESE
FUEM
Rua Rui Simão Busato, 289
87.040 - Maringá, PR

ELOI SCHERER
EMPASC
C. Postal 151
89.800 - Chapecó, SC

ELOISA M.M. ZOTARELLI
COPERSUCAR - C. Postal 162
13.400 - Piracicaba, SP

ELTJE J. LOMAN FILHO
Coop. Agropec. Batavo
Av. dos Pioneiros, 2.324
84.160 - Castro, PR

ELVO POMATTI
CARBOSUL Agropec. e Fert.
BR. 993, km 167
Passo do Perez
96.400 - Bagé, RS

ENÉAS Z. GALRÃO
EMBRAPA-CPAC - C. Postal 700023
73.300 - Planaltina, DF

ERNESTO G. PIZAIA
FOSFOCAL Ind. & Com. Corretivos
Rod. dos Minérios, km 25
83.540 - Rio Branco do Sul, PR

EUCLIDES C.A. DE SOUZA
Fac. Ci. Agr. e Vet. Jaboticabal
Rod. Carlos Tonanni, km 5
14.870 - Jaboticabal, SP

EVERARDO V.S.B. SAMPAIO
UFPE - Depto Energ. Nuclear
Av. Prof. Luiz Freire, s/nº
50.739 - Recife, PE

FABIANO R. DO VALE
ESAL - DCS
C. Postal 37
37.200 - Lavras, MG

FERNANDO C. ALBUQUERQUE
Usina da Barra S.A.
C. Postal 54
17.340 - Barra Bonita, SP

FERNANDO F. FERREYRA H.
Univ. Federal do Ceará
Depto Ci. do Solo
C. Postal 3.038
60.000 - Fortaleza, CE

FERNANDO J. HASS
LAGRO - Lab. Agronômico
Rua Cel. Borges Fortes, 23
13.065 - Campinas, SP

FRANCISCO A. MONTEIRO
Inst. de Zootecnia - SAA/SP
Rua Heitor Penteado, 56
13.460 - Nova Odessa, SP

FRANCISCO DE A.M. LIMA
UFCE
Campus do Pici - Bl 807
60.510 - Fortaleza, CE

FRANCISCO J.M. HOLANDA
UFCE
Campus do Pici - Bl 807
60.510 - Fortaleza, CE

FRANK Y. KAYANO
Rua da Lapa, 178
86.015 - Londrina, PR

FRANKLIN FRANCHINI
COFERCATU
Rua São Paulo, 465
86.160 - Porecatu, PR

GASPAR H. KORNDORFER
COPERSUCAR
C. Postal 162
13.400 - Piracicaba, SP

GEDI J.SFREDO
EMBRAPA-CNPSo
C.Postal 1061
86.001-Londrina, PR

GERALDINO PERUZZO
EMBRAPA-CNPT
C. Postal 569
99.001 - Passo Fundo, RS

GERHARD W. SCHULTZ
PRODUQUÍMICA
Ind. & Com Ltda
Rua Serra do Japi, 84

GILBERTO C. PEREIRA
CEPLAC-DEPEA
Rod. Augusto Montenegro, km 7
66.000 - Belém, PA

GILBERTO F. GIODA
Giacomet Marodim Ind. Com. Mad.
Av. Pinheirais, 1085
85.460 - Quedas do Iguaçu, PR

GLYN M. FIGUEIRA
Arbore Ind. Com. Ltda
Rua Rio das Pedras, 123
13.030 - Campinas, SP

GLADYS F. DE SOUZA
IAPAR - C. Postal 2.301
80.001 - Curitiba, PR

GODOFREDO C. VITTI
UEP - Fac. Ci. Agr. e Vet.
Rod. Carlos Tonanni, km 5
14.870 - Jaboticabal, SP

HARUMI HAMAMURA
Coop. Agr. Cotia
Est. P. Grossa/Palmeira, 500
84.001 - Ponta Grossa, PR

HEITOR CANTARELLA
IAC
C. Postal 28
13.001 - Campinas, SP

HÉLIO GRASSI FILHO
IHARABRÁS Ind. Quím.
Av. Liberdade, 1.701
18.100 - Sorocaba, SP

HERMÍNIA E.P. MARTINEZ
UFV - Depto Fitotecnia
36.570 - Viçosa, MG

HIDEAKI W. TAKAHASHI
FUEL
C. Postal 6001
86.051 - Londrina, PR

HUGO A. RUIZ
Univ. Fed. Espírito Santo
Alto Universitário s/nº
29.500 - Alegre, ES

ILO VASCONCELOS
UFCE - Centro Ci. Agrária
Campus do Pici
60.510 - Fortaleza, CE

INÊS N. CANAL
FECOTRIGO - Centro Exp. Pesq.
C. Postal 10
98.100 - Cruz Alta, RS

ISABEL E. EIMORI
FERTISUL
Rua Aquidaban, 692
96.200 - Rio Grande, RS

ISABELLA C. DE MARIA
Rua Pascal, 57 - Ap. 42
04.616 - São Paulo, SP

IVAN T. BALDISSERA
EMPASC - C. Postal D-76
89.800 - Chapecó, SC

JAIME A. DE ALMEIDA
Centro Agrovet - UDESC/SC
Av. Luiz de Camões, 2.090
88.500 - Lages, SC

JAIME W.V. DE MELLO
Fac. Unidas de Bagé
Av. Tupy Silveira, 2.099
96.400 - Bagé, RS

JAIR TRINDADE
FOSFOCAL Ind. Com. Corretivos
Rod. dos Minérios, km 25
83.540 - Rio Branco do Sul, PR

JAN T.G. RABBERS
Soc. Coop. Castrolanda Ltda
Colônia Castrolanda
84.160 - Castro, PR

JANDIR GUIZILINI
PLURAL - Rua Abolição, 627
86.180 - Cambé, PR

JESUR JOSÉ CASSOL
PLANAGRO LTDA
Rua Mal. Cândido Rondon, 76
85.300 - Laranjeiras do Sul, PR

JOÃO A.L. DO NASCIMENTO
EMPASC
Rua João José Godinho, s/nº
88.500 - Lages, SC

JOÃO BAPTISTA SILVA FERRAZ
INPA
Estrada do Aleixo, 1.756
69.083 - Manaus, AM

JOÃO C. HENKLAIN
IAPAR - C. Postal 1.331
86.001 - Londrina, PR

JOÃO C. MORAES SÁ
Bioplanta Tecnologia de Plantas
Pça Mal. Floriano, 26 - s. 6
C. Postal 393
84.040 - Ponta Grossa, PR

JOÃO KAMINSKI
UFSM - Depto Solos
97.119 - Santa Maria, RS

JOÃO DE LIMA
IAPAR - C. Postal 1.331
86.001 - Londrina, PR

JOÃO MIELNICZUK
UFRGS - Depto Solos
Av. Bento Gonçalves, 7.712
91.500 - Porto Alegre, RS

JOAQUIM C. WERNER
Inst. de Zootecnia - SAA/SP
Rua Heitor Penteado, 56
13.460 - Nova Odessa, SP

JOBED C. BICA
Laborfértil
Rua Caldas Júnior, 191
99.400 - Gravataí, RS

JONES LEANDRO TURRISSI
CASUL - Coop. Cafec. de
Centenário do Sul
Av. Pref. Wanderlei Moraes, 777
86.630 - Centenário do Sul, PR

JORGE LOVATO
CALCOAGRO LTDA
Rod. dos Minérios, km 14
83.500 - Almirante Tamandaré, PR

JORGE LUIZ ALBERICI
HERBITÉCNICA
Rua Brig. Luiz Antonio, 299
86.075 - Londrina, PR

JOSÉ A. QUAGGIO
IAC - C. Postal 18
13.020 - Campinas, SP

JOSÉ CARLOS ALVES
TOYO SEN-I DO BRASIL
Rod. Celso Garcia Cid, km 367
86.001 - Londrina, PR

JOSÉ D. MANAGÓ
Giacomet Marodim Ind. Mad.
Av. Pinheiros, 1.085
85.460 - Quedas do Iguaçu, PR

JOSÉ F. SILVA JR.
COPERSUCAR
C. Postal 162
13.400 - Piracicaba, SP

JOSÉ F. DA CUNHA
Comp. Paulista Fert.
Rua Jacarandás, 41
09.000 - Santo André, SP.

JOSÉ G. VIANI
MANAH
Av. Duque de Caxias, 596
87.010 - Maringá, PR

JOSÉ J.S. E SILVA
EPABA - C. Postal 024
47.800 - Barreiras, BA

JOSÉ J. SOUZA NETO
EMPA
Rod. do Pintado, s/nº
78.150 - Várzea Grande, MT

JOSÉ M. PALU
Av. Elpídio Cestari, 396
86.130 - Bela V. do Paraíso, PR

JOSÉ M. FREIRE
EPACE
Av. Rui Barbosa, 1.246
60.115 - Fortaleza, CE

JOSÉ M. LUIZÃO
Coop. Agropec. Cafeic. Porecatu
Rua São Paulo, 465
86.160 - Porecatu, PR

JOSÉ O.A. DE SENA
UEM
Av. Colombo, 3.690
87.020 - Maringá, PR

JOSÉ RENATO BEN
EMBRAPA-CNPT
C. Postal 569
99.001 - Passo Fundo, RS

JOSÉ R. PAIXÃO
COPERSUCAR
C. Postal 162
13.400 - Piracicaba, SP

JOSÉ R.P. DE CASTRO
ARBORE - Agr. Comércio
Rua Rio das Pedras, 123
13.030 - Campinas, SP

JOSÉ R.R. PERES
EMBRAPA-CPAC
C. Postal 70.0023
73.300 - Planaltina, DF

JOSÉ SÍMARO NETO
Rua Dinamarca, 729
86.180 - Cambé, PR

JOSEF PERTSCHY
Coop. Agr. Mista Entre Rios
Col. Vitória, Entre Rios
85.108 - Guarapuava, PR

JOUJI NAKACHIMA
K. Ueno Agríc. Pecuária
C. Postal, 22
86.280 - Uraí, PR

JÚLIA M. DE ANDRADE
UFMG
Av. Osmani Barbosa, s/nº
C. Postal 135
39.400 - Montes Claros, MG

JÚLIO C.D. CHAVES
IAPAR
C. Postal 1.331
86.001 - Londrina, PR

JÚLIO C.L. NEVES
UFV - Depto Solos
36.570 - Viçosa, MG

JÚLIO NAKAGAWA
Fac. Ci. Agronômicas
C. Postal 237
18.600 - Botucatu, SP

JUSTINIANO A.R. PAIVA
Rua Farrapos, 98
86.020 - Londrina, PR

LEÔNCIO G. DUTRA
Rua B.- Q.6 - C.5
Jardim Yolanda, Parque 10
69.055 - Manaus, AM

LOURIVAL VILELA
EMBRAPA-CPAC
C. Postal 70.0023
73.300 - Planaltina, DF

LUÍS I. PROCHNOW
Fund. Shunji Nishimura Tec.
C. Postal 72
17.580 - Pompéia, SP

LUÍS M.S. MAGALHÃES
INPA
C. Postal 478
69.011 - Manaus, AM

LUIZ A.C. LUCCHESE
SEAG-PR
Rua dos Funcionários, 1.559
80.030 - Curitiba, PR

LUIZ A. GRACIOLLI
UNESP
15.378 - Ilha Solteira, SP

LUIZ A. ROSSAFA
Rua Paraíba, 327
86.360 - Bandeirantes, PR

LUIZ C. DESCHAMPS
Av. Duque de Caxias, 4.221
86.025 - Londrina, PR

LUIZ C.K. TEIXEIRA
HERBITÉCNICA
Rua Brig. Luiz Antonio, 299
86.075 - Londrina, PR

LUIZ C. PREZOTTI
EMCAPA - Est. Exp. M. Fonseca
29.375 - Venda Nova, ES

LUIZ E. DIAS
Rua Acamari, 100
36.570 - Viçosa, MG

LUÍS F.Z. CESPEDES
Nutriplant
C. Postal 97
13.140 - Paulínia, SP

LUIZ F. DA S. SOUZA
EMBRAPA-CNPMF
C. Postal 007
44.380 - Cruz das Almas, BA

LUIZ J. MISSIO
Agrop. Jotabasso
Av. Brasil, 2.478
79.900 - Ponta Porã, MS

LUIZ M. ANTONIALLI
Coop. Agric. de Cotia
Av. Jaguaré, 1.487
05.346 - São Paulo, SP

LUIZ M.M. DE FREITAS
Fazenda Marina
C. Postal 109
14.640 - Morro Agudo, SP

LUIZ ZOTARELLI FILHO
Rua Silva Jardim, 570 - Ap. 12
13.400 - Piracicaba, SP

LUÍZA H.I. NAKAYAMA
CEPLAC
Rod. Ilhéus-Itabuna, km 22
45.600 - Itabuna, BA

MANOEL D. DE SOUZA
EMBRAPA - UEPAT
C. Postal 133
69.300 - Boa Vista, RR

MANOEL DA SILVA CRAVO
EMBRAPA-UEPAE
C. Postal 455
69.011 - Manaus, AM

MANOEL V. DE MESQUITA FILHO
EMBRAPA-CNPH
Rod. Brasília-Anápolis, km 060
70.359 - Brasília, DF

MARCO A. DAL BÓ
EMPASC
Rua João Zardo, s/nº
C. Postal 3
89.560 - Videira, SC

MARCOS ROCHA
Nutriplant
C. Postal 93
13.140 - Paulínia, SP

MARIA A.G.S. CASARINI
Rua Mário Urbinatti, Bl.2- Ap. 2
87.020 - Maringá, PR

MARIA B.M. SANTANA
CEPLAC
Rod. Ilhéus-Itabuna, km 22
45.600 - Itabuna, BA

MARIANGELA HUNGRIA
EMBRAPA-UAPNPBS
Rod. Rio-São Paulo, km 47
23.851 - Seropédica, RJ

MÁRIO MIYAZAWA
IAPAR
C. Postal 1.331
86.001 - Londrina, PR

MAURO BECKER
EMPASC
Rua João Zarto, s/nº
C. Postal 3
89.560 - Videira, SC

MAURO PARRA
IAPAR
C. Postal 1.331
86.001 - Londrina, PR

MAURY CHIGUTI
Coop. Agr. Cotia
Est. P.Grossa-Palmeira, 500
84.130 - Ponta Grossa, PR

MOACYR A. DA MOTTA
SEAG-PR
Rua dos Funcionários, 1.559
80.030 - Curitiba, PR

MURILO C.A. SILVA
Av. Bernardo Vieira de Melo,
nº 2.250 - Ap. 1.302
54.410 - Jaboatão, PE

NELI M.A. SILVA
Fac. Med. Vet. Zoot. - USP
C. Postal 23
13.630 - Pirassununga, SP

NELSON HOROWITZ
Adubos Trevos
Av. Padre Cacique, 320
90.650 - Porto Alegre, RS

NELSON M. DA SILVA
IAC - C. Postal 28
13.020 - Campinas, SP

NELSON T. TOMIMATSU
Rua Santa Catarina, 1.217
86.600 - Rolândia, PR

NEUSA SONI
Rua Antonio Salema, 639
87.010 - Maringá, PR

NEWTON P. STAMFORD
Rua Quipapá, 537 - Ap.101
50.731 - Recife, PE

OLÍVIA N.C. NAHWAGE
Rua Dr. Malcher, 252
66.010 - Belém, PA

ONDINO C. BATAGLIA
IAC - C. Postal 28
13.020 - Campinas, SP

OSMAR S. SANTOS
UFSM, Depto de Fit.
97.119 - Santa Maria, RS

OTÁVIO A. DE CAMARGO
IAC - C. Postal 28
13.020 - Campinas, SP

OTÁVIO J.F. DE SIQUEIRA
EMBRAPA-CNPT
C. Postal 569
99.001 - Passo Fundo, RS

PAULO A. MILAN
Fertisul
Rua Aquidaban, 692
96.200 - Rio Grande, RS

PAULO AUGUSTO DA EIRA
EMBRAPA-SNLCS
Rua Jardim Botânico, 1.024
22.460 - Rio de Janeiro, RJ

PAULO AUGUSTO VAITI
Coop. Agr. Cotia
Av. Jaguaré, 1.487
05.346 - São Paulo, SP

PAULO CHOITI SUSUKI
Coop. Agrop. M. Vale Ivaí
Rua Sertanópolis, 950
86.870 - Ivaiporã, PR

PAULO F. MENDES FILHO
Univ. Fed. do Ceará
Campus do Pici
60.510 - Fortaleza, CE

PAULO R.D. LACERDA
Planterra Com. Fertilizantes
Rua Olavo Bilac, 1.509
85.800 - Cascavel, PR

PAULO ROBERTO J. AZEVEDO
Quimbrasil S.A.
Av. Visconde de Mauá, 4.307
84.045 - Ponta Grossa, PR

PAULO ROBERTO DE MORAES
Quimbrasil S.A.
Av. Maria Coelho Aguiar
nº 215 - Bl.A - 3º andar
05805 - São Paulo, SP

PAULO R.R. SÁ SANTOS
Fosfértil
Pça Rui Barbosa, 300 s. 707
38.010 - Uberaba, MG

PAULO S. GONÇALVES
EPQ - Emp. Prod. Químicos
Av. N. Sra. do Carmo, 251
30.330 - Belo Horizonte, MG

PEDRO C. DELAZARI
EMCAPA
C. Postal 391
29.001 - Vitória, ES

PEDRO C. VINHOLI
TERRA Com. Repres. Prod. Agric.
Rua 1º de Maio, 993
85.940 - Palotina, PR

PEDRO HENRIQUE CERVI
C. Postal 85
84.170 - Carambeí, Castro, PR

PEDRO IVAN FAZIO
EMCAPA
Rod. BR 101
29.900 - Linhares, ES

PEDRO L.O. DE A. MACHADO
IAPAR
C. Postal 1.331
86.001 - Londrina, PR

PEDRO ROBERTO FURLANI
IAC
C. Postal 28
13.020 - Campinas, SP

QUIRINO A. DE C. CARMELLO
ESALQ - C. Postal 9
13.400 - Piracicaba, SP

RAFAEL E.C. SILVA
CEPLAC
C. Postal 7
45.600 - Itabuna, BA

RAPHAEL M. BLOISE
EMBRAPA-SNLCS
Rua Jardim Botânico, 1.024
22.460 - Rio de janeiro, RJ

RAUL WOLFFENBÜTTEL
CBM - Cent. Bras. Microfert.
Av. São Pedro, 509
90.230 - Porto Alegre, RS

REINALDO M.A. PINTO
Petrobrás Fertilizantes S.A.
Av. Paulista, 2.073 - Horsa II
01311 - São Paulo, SP

RENE A.K. GUNNEWIEK
Hoechst do Brasil
Av. Paraná, 427 - Cj. 802
86.020 - Londrina, PR

RICARDO T.G. PEIXOTO
IAPAR - C.Postal 129
84.001 - Ponta Grossa, PR

ROBERTO ARCURI
Ultrafértil
Rua Ernesto Igel, 429
05077 - São Paulo, SP

ROBERTO P. CAMARGO
IBRA
C. Postal 1.811
13.001 - Campinas, SP

ROGÉRIO T. ALMEIDA
Rua Alberto Sá, 540
60.155 - Fortaleza, CE

ROMEU MUNASHI ENDO
Rua José Maria Paranhos,
123 - Ap 26-B
86.060 - Londrina, PR

ROSANA FARIA VIEIRA
EMBRAPA-CPAC
C. Postal 70.0023
73.300 - Planaltina, DF

RUI C. BISCAIA
IAPAR
C. Postal 2.301
80.001 - Curitiba, PR

SALVADOR PARDUCCI
Microquímica S.A.
Rua. Dr. Eduardo E. Badaró, 530
13.063 - Campinas, SP

SANDRA TEREZINHA ZAMBUDIO
EMBRAPA-CNPSo
C. Postal, 1061
86.001 - Londrina, PR

SEGUNDO S. URQUIAGA C.
EMBRAPA-UAPNPBS
Rod. Rio-S.Paulo, km 47
23.851 - Itaguaí, RJ

SEISUKE ITO
Coop. Agr. Cotia
Av. Celso Garcia Cid, 599
86.015 - Lodnrina, PR

SÉRGIO P.R. MARTINS
Rua Pio XII, 97
47.800 - Barreiras, BA

SÉRGIO SUZUKI
Coop. Agr. Cotia
Av. Celso Garcia Cid, 599
86.015 - Londrina, PR

SÉRGIO T. DECARO
Quimbrasil S.A.
Av. Maria C. de Aguiar,
215 Bl. A - 3º andar
05.805 - São Paulo, SP

SÉRGIO T. ZANATTA
Rua 14 de Julho, 109
99.070 - Passo Fundo, RS

SILAS ZEN
Com. Agr. Paineiras
Rua Gal. Francisco Glicério,
354 - 2º andar
08.600 - Suzano, SP

SILVIO BRIENZA JUNIOR
UFV
36.570 - Viçosa, MG

SILVIO C.R. SILVA
Arbore
Rua Rio das Pedras, 123
13.030 - Campinas, SP

SÍRIO WIETHOLTER
EMBRAPA-CNPT
C. Postal 569
99.001 - Passo Fundo, RS

SÔNIA SENA ALFAIA
INPA - C. Postal 478
69.011 - Manaus, AM

TARCÍSIO G.S. CAMPOS
EMBRAPA-CNPA
Rua Osvaldo Cruz, 1.143
58.100 - Campina Grande, PB

TIAKI UMEDA
Coop. Agropec. Sul Paulista
C. Postal 21
18.440 - Itabera, SP

THOMAZ ADOLPHO REIN
EMBRAPA-CPAC
C. Postal 70.0023
73.300 - Planaltina, DF

TSUIOSHI YAMADA
POTAFÓS
Rua Alfredo Guedes, 1.949-s701
13.400 - Piracicaba, SP

VALDINEI TADEU PAULINO
Inst. Zootecnia
Rua Heitor Penteado, 56
C. Postal 60
13.460 - Nova Odessa, SP

VERA MARIA C. ALVES
EMBRAPA-CNPMS
C. Postal 151
35.700 - Sete Lagoas, MG

VICTOR HUGO A. VENEGA
UFV
36.570 - Viçosa, MG

VITOR ANTONIO COELHO
Arbore
Rua Rio das Pedras, 123
13.030 - Campinas, SP

WENCESLAU GOEDERT
EMBRAPA-CPAC
C. Postal 70.0023
73.300 - Brasília, DF

WILSON S. GOTO
Coop. Agr. Cotia
Rod. MG 235, km 01
38.800 - São Gotardo, MG

LINEU DE C. CRUZ
COPEBRÁS
Praça da República, 497
01.045 - São Paulo, SP

Total de 230 participantes inscritos e de 79 estudantes que participaram como ouvintes e não estão relacionados.