

ADILSON DE OLIVEIRA JÚNIOR

**DISPONIBILIDADE DE ZINCO, MANGANÊS, COBRE E BORO PARA A
CULTURA DA SOJA NA REGIÃO DE BALSAS (MA)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2003

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

O48d
2003

Oliveira Júnior, Adilson de, 1978-

Disponibilidade de zinco, manganês, cobre e boro para
a cultura da soja na região de Balsas (MA) / \ Adilson de
Oliveira Júnior. – Viçosa : UFV, 2003.

76p. : il.

Orientador: Roberto Ferreira de Novais
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de
Viçosa

1. Solos - Fertilidade. 2. Solos - Correção. 3. Extra-
ção (Química). 4. Soja – Nutrição mineral. 5. Soja -
Micronutrientes. 5. Soja - Balsas (MA). I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 631.42

CDD 20.ed. 631.42

ADILSON DE OLIVEIRA JÚNIOR

**DISPONIBILIDADE DE ZINCO, MANGANÊS, COBRE E BORO PARA A
CULTURA DA SOJA NA REGIÃO DE BALSAS (MA)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

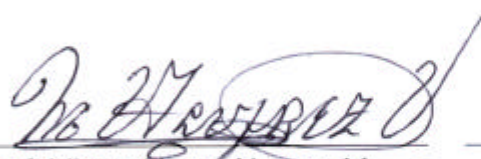
Aprovada: 17 de junho de 2003.



Prof. Ivo Ribeiro da Silva

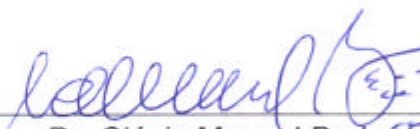


Prof. Tocio Sedyama



Prof. Victor Hugo Alvarez V.

(Conselheiro)



Dr. Clóvis Manuel Borkert

(Co-orientador)



Prof. Roberto Ferreira de Novais

(Orientador)

A Deus, por me conduzir nos tortuosos caminhos da vida.

*A meu Avô Antonio de Oliveira (in memoriam), homem honesto, íntegro e
trabalhador que será meu eterno exemplo de vida.*

Dedico

A minha família, que me ensinou a sempre lutar pelos meus ideais.

A minha noiva, Ana Cristina, fonte de amor e inspiração.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, por meio do Departamento de Solos, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Soja, por permitir a utilização dos resultados.

Ao professor orientador Roberto Ferreira de Novais, pela dedicação e apoio durante o curso.

Aos pesquisadores da Embrapa Soja, Clovis Manuel Borkert e Dirceu Klepker, pela amizade, confiança e apoio durante a execução dos trabalhos em Londrina e em Balsas.

Aos professores Víctor Hugo Alvarez V. e Júlio César Lima Neves, pelas sugestões apresentadas durante o curso.

Aos funcionários e estagiários do Laboratório de Análises de Solo e Tecido Vegetal da Embrapa Soja, pela amizade e auxílio nas análises.

Aos funcionários do Laboratório de Fertilidade do Solo do DPS-UFV, pelo apoio durante a execução das análises de solo.

Ao Orlando C. Martins e Rodrigo L. de Oliveira pelo apoio no início do curso.

À família do Eng^o. Agr^o. Angelo T. Taniguchi pelo apoio durante a estadia em Balsas.

Aos amigos Marco Valle, Augusto, Gerardo, Ignácio, Juliano Possamai,

Carlos H. Kurihara, Danusa, Daniela, Leandro, Alessandro, José Humberto e Cláudio pelo companheirismo e convivência durante o período do curso.

A todas aquelas pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

ADILSON DE OLIVEIRA JÚNIOR, filho de Adilson de Oliveira e Vera Regina Petrini de Oliveira, nasceu em 06 de junho de 1978, no município de Primeiro de Maio, PR.

Em fevereiro de 1996, iniciou o curso de Agronomia, na Universidade Estadual de Londrina (UEL), em Londrina, PR, graduando-se em janeiro de 2001. Durante o curso, estagiou na Embrapa Soja durante o período de março de 1998 a março de 2001, com a equipe de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas sob a orientação do Pesquisador Dr. Clovis Manuel Borkert, recebendo bolsa de Iniciação Científica da Embrapa Soja durante os dois primeiros anos e do CNPq no último ano de estágio.

Em abril de 2001, ingressou no curso de mestrado do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, submetendo-se à defesa de tese em 17 de junho de 2003.

ÍNDICE

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 RESPOSTA DA SOJA À APLICAÇÃO DE ZINCO, MANGANÊS, COBRE, BORO E CALCÁRIO.....	3
2.2 TEORES DE MICRONUTRIENTES NOS CALCÁRIOS E FERTILIZANTES	5
2.3 DISPONIBILIDADE DE ZINCO, MANGANÊS, COBRE E BORO NO SOLO	5
2.4 MÉTODOS PARA AVALIAR A DISPONIBILIDADE DE ZINCO, MANGANÊS, COBRE E BORO NO SOLO	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1 DESCRIÇÃO GERAL DOS EXPERIMENTOS	11
3.2 AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DAS PLANTAS DE SOJA	15
3.3 DETERMINAÇÃO DOS MICRONUTRIENTES NAS AMOSTRAS DE SOLO, FOLHAS E PLANTAS	16
3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	17
3.5 CÁLCULO DOS NÍVEIS CRÍTICOS	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1 RESPOSTA DA SOJA À APLICAÇÃO DE ZN, MN, CU E B.....	19
4.1.1 Zinco	19
4.1.2 Manganês	20
4.1.3 Cobre	22

4.1.4	Boro.....	23
4.2	TAXA DE RECUPERAÇÃO DE ZN, MN, CU E B DO SOLO PELOS EXTRATORES.....	24
4.2.1	Zinco	25
4.2.1.1	Mehlich-1	25
4.2.1.2	Mehlich-3 e DTPA	27
4.2.2	Manganês	29
4.2.2.1	Mehlich-1	29
4.2.2.2	Mehlich-3 e DTPA	31
4.2.3	Cobre	33
4.2.3.1	Mehlich-1	33
4.2.3.2	Mehlich-3 e DTPA	35
4.2.4	Boro.....	38
4.3	NÍVEIS CRÍTICOS DE ZN, MN, CU E B NO SOLO	39
4.3.1	Zinco	40
4.3.2	Manganês	42
4.3.3	Cobre	43
4.3.4	Boro.....	45
4.4	CONTEÚDO DE ZN, MN, CU E DE B NA PARTE AÉREA DE SOJA	45
4.4.1	Zinco	46
4.4.2	Manganês	47
4.4.3	Cobre	49
4.4.4	Boro.....	51
4.5	AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE EXTRAÇÃO.....	52
4.5.1	Zinco	52
4.5.2	Manganês	54
4.5.3	Cobre	56
4.5.4	Boro.....	58
4.6	CONTRIBUIÇÃO DOS MICRONUTRIENTES PRESENTES NO CALCÁRIO E FERTILIZANTES PARA A NUTRIÇÃO DA SOJA	59
5.	CONCLUSÕES	61
6.	LITERATURA CITADA	62
	APÊNDICE	69

RESUMO

OLIVEIRA JÚNIOR., Adilson de, M.S., Universidade Federal de Viçosa, Junho de 2003. **Disponibilidade de zinco, manganês, cobre e boro para a cultura da soja na região de Balsas (MA)**. Orientador: Roberto Ferreira de Novais. Co-orientador: Clóvis Manuel Borkert. Conselheiros: Víctor Hugo Alvarez V. e Júlio César Lima Neves.

Foram instalados quatro experimentos em condições de campo para avaliar a disponibilidade de Zn, Mn, Cu e B para a cultura da soja em dois locais (Faz. Parnaíba e Faz. Agroserra) na região de Balsas, MA. O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho-Amarelo, com textura argilosa na Faz. Agroserra e com textura média na Faz. Parnaíba. Cada experimento seguiu o esquema fatorial 6 x 6, disposto em blocos ao acaso com parcelas subdivididas e quatro repetições, onde as doses de calcário foram localizadas nas parcelas e as doses de cada micronutriente nas subparcelas. As doses de calcário foram calculadas por meio do método de saturação por bases, procurando atingir 30; 40; 50; 60; 70 e 80 %; as doses dos micronutrientes foram: Zn (0; 1,25; 2,5; 5; 10 e 15 kg/ha), Mn (0; 5; 10; 15; 30 e 60 kg/ha), Cu (0; 1,25; 2,5; 5; 10 e 20 kg/ha) e B (0; 0,5; 1; 1,5; 3 e 6 kg/ha). As doses de calcário e dos micronutrientes foram aplicadas em novembro de 1997; no entanto, em outubro de 2000 foi realizada a reaplicação de calcário nos experimentos. Foram avaliados os resultados obtidos nas safras 2000/01 e 2001/02; assim, na primeira safra após a reaplicação do calcário, avaliaram-se a produtividade e o teor dos micronutrientes no solo, ao passo que, na segunda safra, além das variáveis analisadas no ano anterior, também foram avaliados a produção de matéria seca, o teor e o conteúdo de micronutrientes de toda a parte vegetativa e apenas das folhas da soja. A determinação dos teores de Zn, Mn e Cu no solo foi

realizada com a solução extratora Mehlich-1 na safra 2000/01, e com as soluções extratoras Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA na safra seguinte; o B foi determinado utilizando o método da água quente em ambas as safras. Também foram determinados os teores de Zn, Mn, Cu e B nas amostras de fertilizantes e corretivos utilizados. Os resultados obtidos evidenciaram a baixa resposta à aplicação de Zn, Mn e B para a soja, uma vez que, a produção de grãos, na maioria das vezes, não foi influenciada pelas doses aplicadas, mesmo em saturações mais elevadas. No entanto, a resposta à aplicação de Cu ocorreu com maior frequência nos dois solos. Verificou-se, também, o maior potencial produtivo do solo textura média em relação ao argiloso. As taxas de recuperação de Zn, Mn e Cu no solo pelos extratores após cinco anos de cultivos foram baixas, principalmente, no solo argiloso. Para o B, não foi verificado efeito das doses no teor deste micronutriente no solo, evidenciando o baixo efeito residual da aplicação deste micronutriente. Os níveis críticos (NCs) de Zn pelo Mehlich-1, na safra 2000/01, oscilaram de 0,65 a 1,12 e de 1,80 a 1,48 mg/dm³, respectivamente para os solos textura média e argiloso. Para o Mehlich-3 e DTPA, na safra 2001/02, os NCs de Zn no solo argiloso foram de 0,52 e 0,34 mg/dm³. Os NCs de Mn pelo Mehlich-1, na safra 2000/01, foram de 7,63 e 8,74 mg/dm³, respectivamente, para o solo textura média e argiloso. No caso do Cu, os NCs para o solo textura média e argiloso, pelo Mehlich-1, foram 0,39 e 0,78 mg/dm³. Pelo Mehlich-3 e DTPA, os NCs de Cu foram respectivamente de 0,35 e 0,46 mg/dm³, no solo textura média, e de 0,56 e 0,84 mg/dm³, no argiloso. O DTPA foi mais eficiente em comparação aos demais para o Zn e Mn, principalmente no solo textura média; para o Cu os três métodos mostraram-se semelhantes em prever o teor disponível deste micronutriente. A análise do calcário e dos fertilizantes evidenciou a possibilidade dos micronutrientes desses materiais contribuir para a nutrição da cultura da soja, reduzindo, assim, a probabilidade de resposta à aplicação de Zn, Mn, Cu e B.

ABSTRACT

OLIVEIRA JÚNIOR., Adilson de, M.S., Universidade Federal de Viçosa, June 2003.
Availability of zinc, manganese, copper and boron for soybean in the region of Balsas, State of Maranhão, Brazil. Adviser: Roberto Ferreira de Novais. Co-adviser: Clóvis Manuel Borkert. Committee members: Víctor Hugo Alvarez V. and Júlio César Lima Neves.

To evaluate the availability of Zn, Mn, Cu and B for soybean crop four experiments were conducted under field conditions at two sites (Fazenda Parnaíba and Fazenda Agroserra) in the region of Balsas, Maranhão State. The experimental design was a 6 x 6 factorial layout in randomized blocks with subdivided plots in four replications on an Oxisol of clayey texture on the Faz. Agroserra, and of medium texture on the Faz. Parnaíba. Lime doses per plot and the doses of every micronutrient per subplot were established. The lime doses were calculated for the following base saturation levels: 30; 40; 50; 60; 70 , and 80 %. The micronutrient doses were: Zn (0; 1.25; 2.5; 5; 10, and 15 kg/ha), Mn (0; 5; 10; 15; 30, and 60 kg/ha), Cu (0; 1.25; 2.5; 5; 10, and 20 kg/ha) and B (0; 0.5; 1; 1.5; 3, and 6 kg/ha). Lime and micronutrients were applied in November 1997, and lime reapplied in October 2000. The obtained results of the first harvest after lime reapplication were evaluated in relation to productivity and soil contents of micronutrients, while for the second harvest the same variables, besides dry matter yield, content and concentration of micronutrients in the entire vegetative part and in soybean leaves only were analyzed. Zinc, Mn, and Cu soil concentration were determined by the Mehlich-1 extraction solution in the harvest 2000/01, and with the Mehlich-1, Mehlich-3 and DTPA extraction solutions in the following. Boron was determined by the hot water method for both harvests. Zinc, Mn, Cu, and B concentration were also

determined in samples of the applied fertilizers. Results suggested a low response of soybean to the application of Zn, Mn, and B since the grain yield was, for the most part, uninfluenced by the applied fertilizer doses, even at a higher saturation. There was, however, a more frequent response to Cu in both soils, as well as a higher production potential of the medium than the clayey texture soil. Recovery rates of Zn, Mn, and Cu from the soil by the extractants were low after five years of cultivation, mainly in the clayey soil. The residual effect of B application was low since no alteration was found in soil concentration of this micronutrient. The critical levels (CLs) of Zn established by Mehlich-1 for the harvest 2000/01 varied from 0.65 to 1.12 and from 1.80 to 1.48 mg/dm³, respectively, for the soils of medium and clayey texture. In the harvest 2001/02, the CLs of Zn by Mehlich-3 and DTPA in the clayey soil were 0.52 and 0.34 mg/dm³. In the harvest 2000/01, the CLs of Mn by Mehlich-1 were 7.63 and 8.74 mg/dm³, respectively, for the medium and clayey texture soils. In the case of Cu, CLs for the medium and clayey texture soils by Mehlich-1 were 0.39 and 0.78 mg/dm³. The CLs of Cu were 0.35 and 0.46 mg/dm³ by Mehlich-3 and DTPA, respectively, in the medium texture, and 0.56 and 0.84 mg/dm³ in the clayey soil. For Zn and Mn, DTPA proved to be more efficient than the other extractants, mainly in the medium texture soil, while all three methods proved to be similar in the prediction of the available Cu content. Results indicate that micronutrients of lime and fertilizers possibly contribute to the nutrition of the soybean crop, thus reducing the probability of a response to the application of Zn, Mn, Cu, and B.

1. INTRODUÇÃO

No sul do estado do Maranhão, há área apta para agricultura de 1,8 milhões de hectares, além de áreas adicionais limítrofes, no estado do Tocantins e no sul do estado do Piauí, onde novos projetos de expansão da área cultivada estão sendo implantados. Toda essa região possui solos de cerrados, predominantemente ácidos e com baixa fertilidade, pelas limitações nas disponibilidades de P, K, Ca, Mg e S e, também, de micronutrientes, principalmente de Zn, Mn, Cu e B.

Muitos resultados de pesquisa conduzida nos cerrados do Brasil Central poderiam ser extrapolados para essa região, porém, as condições edafoclimáticas do sul do Maranhão diferem das que ocorrem nos estados da Região Centro-Oeste, (MS, MT e GO). Isso se deve ao fato de a região estar situada na zona de transição entre a pré-amazônia e a caatinga, em que a primeira caracteriza-se por ser extremamente chuvosa e, geograficamente, limitada pelo rio Tocantins, ao passo que, a segunda se apresenta extremamente seca durante a maior parte do ano e é limitada pelo rio Parnaíba.

Portanto, como existem poucos estudos em fertilidade do solo e nutrição de plantas para essa condição edafoclimática, verifica-se a falta de informações locais que possam subsidiar a recomendação racional e econômica de adubos e de corretivos. Segundo Alvarez V. (1995), para se realizar uma recomendação com um bom grau de confiabilidade, são necessárias três informações específicas para o solo a ser cultivado e a cultura a ser implantada, a saber: o teor de nutriente disponível no solo, o seu nível crítico e a declividade da reta que relaciona o teor desse nutriente recuperado por um determinado extrator em função de suas doses aplicadas.

Os problemas nutricionais relativos aos micronutrientes para a cultura da soja, no Brasil, variam entre os diferentes tipos de solos e regiões produtoras. A toxicidade de Mn é comum em solos da região Sul, formados a partir de rochas basálticas, ricas em Mn. Por outro lado, a sua deficiência pode ocorrer em solos de cerrados, naturalmente pobres nesse nutriente (Rosolem et al., 2001).

A resposta da soja à adubação com micronutrientes tem sido variada, isso conforme os solos estudados, o próprio micronutriente em estudo, as condições ambientais e as cultivares utilizadas (Santos, 1999). Outro fator que influencia a resposta da soja à aplicação de Zn, Mn, Cu e B é a presença destes micronutrientes em fertilizantes e corretivos como “contaminantes”, em quantidades suficientes para suprir em parte as necessidades da cultura.

Dessa forma, o conhecimento da concentração dos micronutrientes nos fertilizantes e calcários é de suma importância para entender a baixa probabilidade de resposta da cultura da soja à aplicação de Zn, Mn Cu e B em condições de campo, onde as quantidades totais desses micronutrientes adicionadas ao solo podem ser suficientes para suprir as necessidades da cultura.

Sendo assim, este trabalho teve os seguintes objetivos:

1. Avaliar a resposta da cultura da soja à aplicação de Zn, Mn, Cu e B em diferentes condições de acidez do solo;
2. Avaliar a eficiência de extratores para Zn, Mn, Cu e B do solo;
3. Estabelecer níveis críticos para Zn, Mn, Cu e B no solo por diferentes métodos de extração;
4. Estimar a quantidade desses micronutrientes adicionadas ao solo, como “contaminantes” em fertilizantes e corretivos utilizados na região em estudo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Resposta da soja à aplicação de zinco, manganês, cobre, boro e calcário

A grande maioria dos trabalhos realizados com o intuito de verificar o efeito da aplicação de micronutrientes na cultura da soja (Mascarenhas et al., 1967, Mascarenhas et al., 1973, Galvão, 1984, Buzetti et al., 1989, Galvão, 1989 e Galvão, 1991) utilizou apenas um ou, no máximo, duas doses para cada micronutriente estudado, permitindo aos autores somente inferir sobre a resposta da cultura à presença ou não de cada um deles.

Oliveira Junior et al. (2000) e Abreu et al. (1996) verificaram, em casa de vegetação, aumento da produção de matéria seca da soja em resposta à aplicação de Mn. Galvão (1991) observou que a adição de Cu proporcionou aumento do rendimento de grãos de soja nos três últimos cultivos de um experimento conduzido durante quatro safras.

Trabalhos de calibração que possibilitam a obtenção das doses recomendáveis (DRs) e dos níveis críticos (NCs) de Zn no solo e na planta foram realizados por Ritchey et al. (1986) e Galvão (1993). Mesmo assim, são escassos os trabalhos visando estabelecer as doses de máxima eficiência econômica e os NCs de Zn, Mn, Cu e B no solo e na planta, para a cultura da soja, principalmente em condições de campo.

De modo geral, a soja não é considerada planta muito responsiva à adubação com micronutrientes, principalmente os considerados neste estudo. Esse fato dificulta o processo de calibração, pois, normalmente, não se obtém

uma curva de resposta bem definida, o que dificulta a obtenção das DRs, bem como os respectivos NCs desses micronutrientes. Dessa forma, fatores como a presença de micronutrientes em fertilizantes e corretivos, como “contaminantes” (Malavolta, 1994), e a capacidade da soja em solubilizar e absorver frações menos lábeis desses micronutrientes levam à baixa probabilidade de se obter respostas a Zn, Mn, Cu e B, em condições de campo.

A calagem é reconhecida como prática eficiente para a produção das culturas nos solos ácidos dos cerrados (Fageria, 2001). Segundo Sfredo et al. (1996), em solos de cerrado podem ocorrer teores tóxicos de Al para a soja. Desse modo, a aplicação de calcário é imprescindível para elevar o pH e neutralizar o Al trocável do solo, bem como fornecer Ca e Mg para as plantas. De acordo com Sousa et al. (1989), a faixa de saturação por bases indicada para o cultivo da soja, na maioria dos solos da região dos cerrados, é de 35 a 50 % , que corresponde ao intervalo de 5,5 a 6,0 de $pH_{\text{água}}$.

A resposta da soja à calagem é bastante conhecida na literatura. Em condições de cultivo convencional, vários trabalhos demonstraram aumentos consideráveis na produção devidos à aplicação de calcário (Mascarenhas et al., 1969; Raij et al., 1977; Quaggio et al., 1982, Quaggio et al., 1993; Fageria, 2001). Todavia, em condições de semeadura direta, têm-se verificado respostas pouco expressivas da aplicação de calcário sobre a produtividade da soja (Caires et al., 1999; Caires & Fonseca, 2000). Sfredo et al. (1996) também verificaram pequena resposta da soja à calagem em um Argissolo Vermelho-Amarelo, da região de Balsas, MA.

Oliveira Junior et al. (2000) observaram, em experimento conduzido em casa de vegetação, resposta da soja à aplicação de Mn e de calcário em um Latossolo Vermelho-Amarelo. Esses autores verificaram que a calagem diminui a disponibilidade do Mn para as plantas e, dessa forma, observaram maior resposta da soja à aplicação de Mn no solo corrigido. Galvão (1993) avaliou o efeito da calagem e da adubação com Zn na cultura da soja e obteve resposta somente à aplicação de Zn; o efeito isolado da calagem e a interação entre os dois fatores não foram significativos.

2.2 Teores de micronutrientes nos calcários e fertilizantes

De acordo com Gabe (1998), as análises realizadas em fertilizantes e corretivos no Brasil têm sido também motivadas por interesse no conhecimento das concentrações de micronutrientes e metais pesados. Mascarenhas et al. (1973) sugeriram que a falta de resposta a micronutrientes pela cultura da soja, em solos de cerrado, teve como causa a presença destes elementos nos calcários e fertilizantes utilizados no experimento.

Malavolta (1994) enfatizou a importância dos micronutrientes para a agricultura brasileira, concluindo, com apoio em referências bibliográficas nacionais e internacionais, que os micronutrientes nos adubos comerciais e nos corretivos contribuem, eficientemente, para a nutrição das culturas.

As concentrações de vários micronutrientes, como Fe, Mn, Zn e Mo, em amostras de calcários utilizados no estado de São Paulo têm sido consideráveis (Valadares et al., 1974). Além disso, esses autores calcularam um balanço entre as quantidades totais adicionadas com a calagem e aquelas de micronutrientes removidas pela colheita, concluindo que, os calcários podem suprir integralmente ou mesmo em parte a demanda pelas culturas.

Gabe (1998) determinou os teores de micronutrientes e de metais pesados em 23 amostras de calcário do estado de São Paulo e obteve teores médios de Zn, Mn, Cu e B nas amostras, respectivamente de 16; 1.062; 7,6 e 8,6 mg/kg.

2.3 Disponibilidade de zinco, manganês, cobre e boro no solo

Segundo Alvarez V. (1995), a disponibilidade de um nutriente é medida pela sua concentração no solo recuperada por um método de extração que se correlaciona estreitamente com o conteúdo do nutriente na planta. Bataglia (1988) definiu a disponibilidade de um nutriente como a fração do elemento no solo, acessível às raízes das plantas, dependente das condições de solo, clima, tipo de planta e das interações da planta com o ambiente.

A disponibilidade de um micronutriente para as plantas é afetada, de modo geral, pelos seguintes fatores: pH, matéria orgânica, textura, minerais de argila,

umidade, potencial redox, temperatura e interações com outros nutrientes (Sillanpää, 1980)

O pH do solo, na maioria dos casos, é o mais importante fator de controle da disponibilidade dos micronutrientes catiônicos (Zn, Mn, Cu e Fe) para as plantas, visto que esses elementos têm sua disponibilidade diminuída pela elevação do pH (Lindsay, 1979).

Segundo Borkert et al. (2001), o pH do solo é um dos principais fatores que controlam a disponibilidade de Mn para as plantas. O pH influencia as reações químicas e bioquímicas, a solubilidade, a adsorção, a dessorção e a oxidação do Mn^{2+} no solo. Borkert (1991) cita que a liberação de exsudatos pelas raízes pode aumentar a disponibilidade de Mn e, dessa forma, afetar a absorção desse micronutriente pelas plantas. Godo & Reisenauer (1980) verificaram que os exsudatos liberados pelas raízes reduzem o Mn^{4+} para Mn^{2+} , assim como ocorre para o Fe. Esses autores sugerem que o Mn reduzido (Mn^{2+}) pode ser complexado por exsudatos orgânicos solúveis e transportados até a superfície das raízes. Temminghoff et al. (1998) verificaram para o Cu, que a complexação do Cu^{2+} por exsudatos orgânicos aumentava com a elevação do pH do solo e a mobilidade do Cu complexado por esses exsudatos era maior.

Da mesma forma que para o Mn, o fator mais importante no controle da disponibilidade do Zn no solo é o pH. Segundo Bar-Yosef et al. (1980), o decréscimo na concentração de Zn na solução do solo deve-se ao aumento da adsorção de Zn pelos constituintes da fase sólida. McBride & Blasiak (1979) referem-se à afinidade de Zn e Cu com óxi-hidróxidos de Fe e Al, como importante fator na adsorção desses micronutrientes em condições de solos ácidos. Machado & Pavan (1987b), estudando a adsorção de Zn em solos do Paraná, verificaram que, ao aumentar-se o pH, diminuía a solubilidade do Zn, pois aumentava-se a capacidade máxima de adsorção e a energia de ligação entre o íon e o solo.

A disponibilidade do Cu também é afetada pelo pH, tendendo a diminuir com a elevação do pH do solo. Este fato deve-se ao decréscimo na solubilidade desse micronutriente na forma de óxidos, ao aumento da quantidade adsorvida ou precipitada e, ainda, à maior estabilidade das ligações com a matéria orgânica a valores de pH mais elevados (Harmsen & Vlek, 1985).

A deficiência de Cu é freqüente em plantas crescendo em solos com baixo teor de Cu total ou em solos com altos teores de matéria orgânica, nos quais este elemento é complexado em formas orgânicas não disponíveis para as plantas (Abreu et al., 2001). Porém, nem todo o Cu do solo está em formas insolúveis. Segundo McLaren & Crawford (1973), o Cu da solução do solo, imediatamente disponível para as plantas, é reabastecido por formas fracamente associadas à matéria orgânica.

A disponibilidade do B para as plantas também diminui com a elevação do pH do solo (Tisdale et al., 1985). Isso se deve, principalmente, ao aumento da adsorção do B com a elevação do pH (Dantas, 1991). Pavan & Correa (1988) verificaram, em estudos de adsorção de B em solos altamente intemperizados do Paraná, que a adsorção foi mínima em pH inferior a 6,5, aumentando, consideravelmente, com a elevação do pH para a faixa entre 6,5 e 8,5. Segundo esses autores, o aumento do número de sítios de adsorção e a maior proporção do íon borato em relação ao ácido bórico no pH mais elevado foram os motivos da elevação da adsorção de B ao solo.

O B disponível do solo encontra-se, principalmente, associado à matéria orgânica, o que explica os maiores teores deste micronutriente nos horizontes superficiais (Dantas, 1991). Correlações positivas e significativas entre os teores de B, obtidos por água quente, e os teores de matéria orgânica do solo foram observadas por Horowitz & Dantas (1973), evidenciando a importância da matéria orgânica como a principal fonte de B nos solos de cerrado (Buzetti, 1988).

2.4 Métodos para avaliar a disponibilidade de zinco, manganês, cobre e boro no solo

A fração de um micronutriente que realmente tem influência sobre a produção vegetal é aquela chamada disponível, ou seja, acessível às raízes das plantas. Essa fração disponível pode estar associada ou correlacionada com índices, geralmente obtidos por métodos de extração química. As dificuldades no estabelecimento desses índices são maiores para os micronutrientes por causa

dos baixos teores no solo e dos mecanismos que governam as reações de disponibilidade (Abreu et al., 2001).

À semelhança dos macronutrientes, os fatores Quantidade (Q), Intensidade (I) e Capacidade (?Q/?I) também afetam a disponibilidade dos micronutrientes para as plantas e, conseqüentemente, estes fatores devem ser avaliados em uma análise de solo (Lindsay & Cox, 1985).

O principal dilema encontrado no desenvolvimento de um método para avaliar a disponibilidade de qualquer nutriente é a necessidade de conciliar as características essenciais a um extrator, originalmente propostas por Bray, em 1948 (Sims & Johnson, 1991). De acordo com Bray (1948), um método de análise ideal deve: (i) extrair a totalidade ou parte da forma ou das formas disponíveis de um nutriente para a planta, em solos com propriedades distintas; (ii) ser exato, preciso e rápido; e (iii) correlacionar bem com a resposta da planta à aplicação do nutriente sob diversas condições.

Para extração do Zn e do Cu em amostras de solo, as soluções concentradas de ácidos mostraram-se ineficientes para avaliar a disponibilidade destes micronutrientes. Iniciaram-se, então, estudos em solos de diversas regiões do país usando diferentes soluções extratoras, tais como de ácidos diluídos (Mehlich-1), soluções de sais, tamponadas ou não, e de agentes quelantes (Abreu et al., 2001).

Segundo Raij & Bataglia (1991), as soluções diluídas de ácidos fortes têm sido usadas para extração de micronutrientes, em parte por conveniência analítica. A solução Mehlich-1 (HCl 0,05 mol/L + H₂SO₄ 0,0125 mol/L) vem sendo utilizada no Brasil e no sudeste dos Estados Unidos para a extração de Cu, Mn, Zn e, eventualmente, B. Os autores relatam também que, ao utilizar essas soluções, é de se esperar a extração de parte dos elementos complexados, precipitados e adsorvidos nos óxidos de Fe e de Al, pelo efeito solubilizante que esses ácidos apresentam.

A busca de uma alternativa que permitisse conciliar a necessidade de extrair proporções maiores dos teores lábeis dos micronutrientes sem, porém, dissolver as formas não-lábeis, levou a processos de extração com a participação de compostos complexantes dos metais, portanto aplicáveis a Cu, Fe, Mn e Zn (Raij & Bataglia, 1991). Dessa forma, Lindsay & Norvell (1978) descreveram um

método de extração para os micronutrientes catiônicos (Zn, Mn, Cu e Fe), utilizando o complexante DTPA (ácido dietilenotriaminopentaacético), após terem-no usado por dez anos no laboratório de análise de solo. Mehlich (1984) descreveu, também, um método de extração multi-elementar para P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Mn e Cu baseado na solução extratora denominada Mehlich-3 (CH_3COOH 0,2 mol/L + NH_4NO_3 0,25 mol/L + NH_4F 0,015 mol/L + HNO_3 0,013 mol/L + EDTA 0,001 mol/L), adicionando um agente quelante (EDTA) para aumentar, principalmente, a quantidade de Cu extraída.

A concentração de Zn na solução do solo é sensível às variações de pH, o que explica a diminuição na absorção de Zn pelas plantas, com a elevação do pH do solo (Machado & Pavan, 1987a). Logo, para que o método seja eficiente, deverá, então, detectar a alteração da disponibilidade de Zn diante das mudanças de pH (Abreu et al., 2001). Verificam-se, na literatura, diversos trabalhos avaliando a disponibilidade de Zn no solo por diferentes métodos de extração (Lantmann & Meurer, 1982; Muraoka et al., 1983; Ribeiro & Tucunango Sarabia, 1984; Bataglia & Raij, 1989; Buzetti, 1992).

Assim como para o Zn, diversos trabalhos relacionaram o teor de Cu no solo, obtido por diferentes métodos de extração, com o conteúdo desse micronutriente na planta (Martens, 1968; Camargo et al., 1982; Makarim & Cox, 1983; Bataglia & Raij, 1989). Segundo Abreu et al. (2001), os coeficientes de correlação entre os conteúdos de Cu na planta e os respectivos teores de Cu no solo, obtidos pelos métodos HCl (0,1 mol/L), Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, são semelhantes, apesar de alguns trabalhos mostrarem uma ligeira superioridade dos métodos Mehlich-3 e DTPA em relação ao HCl e Mehlich-1.

O uso da análise de solo como diagnóstico da disponibilidade de Mn para as plantas apresenta vários problemas que dificultam a interpretação dos resultados (Borkert et al., 2001). Segundo Pavan & Miyazawa (1984), o preparo, a secagem, o armazenamento, a temperatura, o tempo de extração e as diferentes soluções extradoras, entre outros fatores, podem causar sérios equívocos na interpretação dos resultados para fins de fertilidade.

Dessa forma, devido à maior complexidade do comportamento do Mn no solo, verificam-se grandes variações entre os coeficientes de correlações para os principais métodos de extração deste micronutriente (Raij & Bataglia, 1991).

Abreu et al. (1994a) verificaram que os extratores cloreto de cálcio (0,0025 mol/L), acetato de amônio (1 mol/L, pH 7,0) e resina estimaram melhor a disponibilidade de Mn em solos que receberam adubação com Mn. As soluções ácidas (H_3PO_4 , 0,1 mol/L, Mehlich-1 e HCl, 0,1 mol/L) e o DTPA só foram eficazes em avaliar o teor de Mn disponível para as plantas de soja quando a interpretação foi acompanhada do valor de pH (Abreu et al., 1994b).

No caso da avaliação da disponibilidade de B para as plantas, o método da água quente, proposto originalmente por Berger & Truog (1939), continua sendo a base de muitos métodos para a análise deste nutriente (Sims & Johnson, 1991). Segundo Raij & Bataglia (1991), a extração de B com água quente é um processo de eficiência comprovada, para várias culturas e condições de solo e, por isso, é considerado padrão de referência obrigatório, quando se quer avaliar outros métodos de extração para B.

Fontes et al. (2001) destacaram que trabalhos realizados no Brasil (Ribeiro & Tucunango Sarabia, 1984; Cruz & Ferreira, 1984; Bataglia & Raij, 1990) e no exterior (Cox & Kamprath, 1972) apontaram o método de extração com água quente como superior aos que utilizam soluções salinas, ácidos fortes diluídos e soluções complexantes para a extração do B disponível no solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

As informações obtidas neste trabalho são oriundas dos experimentos de calibração de micronutrientes conduzidos pela Embrapa Soja no sul do estado do Maranhão.

3.1 Descrição geral dos experimentos

Os experimentos foram instalados no final de 1997, em dois locais na região de Balsas, MA. O primeiro local, denominado Fazenda Parnaíba, pertence ao Grupo SLC Agrícola S.A. e está localizado na Serra do Penitente (08°30'20"S e 46°07'19"W), município de Tasso Fragoso; o segundo local, denominado Fazenda Agroserra, é de propriedade da Agropecuária Serra Grande S.A. e está localizado na Serra Grande (06°46'19"S e 45°46'00"W), município de Fortaleza dos Nogueiras.

Em ambas as localidades, o solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), porém, na Fazenda Parnaíba, o solo apresenta textura média (27 % de argila, 2 % de silte e 71 % de areia), ao passo que, na Fazenda Agroserra, o solo apresenta textura argilosa (53 % de argila, 5 % de silte e 42 % de areia), na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Nos dois locais, os experimentos foram instalados em áreas de cerrado recém abertas, ou seja, não houve nenhum cultivo anterior à instalação dos experimentos.

Em cada localidade, foram instalados quatro experimentos, assim denominados: 1. zinco; 2. manganês; 3. cobre e; 4. boro. Cada experimento seguiu um esquema fatorial 6 x 6, ou seja, seis níveis de saturação por bases (V)

e seis doses do micronutriente em estudo (Quadro 1). O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com parcelas subdivididas e quatro repetições, em que os níveis de saturação por bases estavam localizados nas parcelas e as doses dos micronutrientes, nas subparcelas. Na Fazenda Parnaíba, o tamanho das subparcelas foi de 9,0 x 6,0 m, com 12 linhas de cultivo. Na Fazenda Agroserra, o tamanho das subparcelas foi de 9,0 x 4,0 m, com oito linhas de cultivo.

Quadro 1. Doses e fontes de zinco, manganês, cobre e boro utilizadas nos experimentos

Experimento	Dose						Fonte
	kg/ha						
Zinco	0,00	1,25	2,50	5,00	10,00	15,00	Sulfato de zinco
Manganês	0,00	5,00	10,00	15,00	30,00	60,00	Sulfato de manganês
Cobre	0,00	1,25	2,50	5,00	10,00	20,00	Sulfato de cobre
Boro	0,00	0,50	1,00	1,50	3,00	6,00	Bórax

As doses de Zn, Mn, Cu e B foram aplicadas a lanço e incorporadas com grade niveladora. A adubação com os demais micronutrientes àquele em estudo foi realizada seguindo a recomendação proposta por Embrapa (1998), ou seja, 6 kg/ha de Zn, 6 de Mn, 2,5 de Cu e 1,5 de B. Os experimentos foram cultivados com soja por cinco safras (1997/98 a 2001/02), sob efeito residual das doses dos micronutrientes aplicadas no primeiro ano.

As doses de calcários foram calculadas utilizando o método da saturação por bases, em que as respectivas doses aplicadas para se obter 30, 40, 50, 60, 70 e 80 % de saturação foram: (3,64; 4,94; 6,25; 7,54; 8,85 e 10,16 t/ha, na Faz. Parnaíba e, 2,70; 3,95; 5,21; 6,47; 7,72 e 8,98 t/ha, na Faz. Agroserra). Essa aplicação foi efetuada em ambos os locais em setembro de 1997, com calcário dolomítico (PRNT 60 %); o calcário foi incorporado à 25 cm de profundidade com grade aradora.

Antes da semeadura da safra 1998/99, as áreas experimentais receberam adubação de correção com 400 kg/ha de P_2O_5 e com 200 kg/ha de K_2O , realizadas a lanço, em que as fontes utilizadas foram superfosfato simples, superfosfato triplo e cloreto de potássio.

Em função dos níveis de saturação por bases não terem sido obtidos, efetuou-se em outubro de 2000 uma segunda aplicação de calcário dolomítico (PRNT 72 %), visando atingir os valores de saturação inicialmente estabelecidos. As doses de calcário aplicadas foram: 0, 2, 4, 6, 8 e 10 t/ha na Fazenda Parnaíba, e 0, 2, 4, 8, 10 e 12 t/ha na Fazenda Agroserra. Dessa forma, neste trabalho foram utilizados somente os dados obtidos nas duas safras após a reaplicação do calcário, ou seja, nas safras 2000/01 e 2001/02.

Nos dois locais e nas duas safras, a cultivar utilizada foi a Sambaíba, porém, na Faz. Agroserra a semeadura foi realizada, em ambas as safras, na segunda quinzena de dezembro, enquanto na Faz. Parnaíba, a semeadura foi realizada na segunda quinzena de novembro; o espaçamento das entre-linhas utilizado nos dois locais foi de 0,50 m. O sistema de cultivo adotado na Faz. Agroserra foi o convencional, ao passo que, na Faz. Parnaíba a semeadura da soja foi realizada sobre a palhada de milho. As doses de P e K aplicadas nos dois locais estão detalhadas no quadro 2.

Na Faz. Parnaíba, a precipitação pluvial observada, em ambas as safras, foi de aproximadamente 1500 mm, ao passo que, na Faz. Agroserra, a precipitação observada, nas safras 2000/01 e 2001/02, foi respectivamente de 1.142 e 1.498 mm. Em ambos os locais, a precipitação pluvial está concentrada no período de setembro a maio.

Quadro 2. Doses e formas de aplicação de fósforo e de potássio nas Fazendas Agroserra e Parnaíba, durante as safras 2000/01 e 2001/02

Local	Doses de P ¹		Doses de K ²		Formas de aplicação
	2000/01	2001/02	2000/01	2001/02	
	—— kg/ha de P ₂ O ₅ ——		—— kg/ha de K ₂ O ——		
Faz. Agroserra	47	75	47	75	Sulco de semeadura
Faz. Parnaíba	93	99	90	90	Lanço, 30 dias antes da semeadura

¹. Fonte utilizada: superfosfato simples, na Faz. Agroserra e MAP, na Faz. Parnaíba;

². Fonte utilizada: cloreto de potássio, em ambas as localidades;

No quadro 3, pode-se visualizar a caracterização química inicial dos solos utilizados e, no quadro 4 estão descritos os teores médios de pH, P, K, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al, CTC e V observados após safra 2000/01.

Na safra 2000/01, as variáveis avaliadas foram: produção de grãos (a 13 % de umidade) e os teores de nutrientes nas folhas de soja e no solo. Na safra 2001/02, além da produção de grãos e dos teores de micronutrientes nas folhas e no solo, avaliou-se, também, a produção de matéria vegetal seca das plantas de soja e das folhas coletadas para análise, obtendo-se, assim, o conteúdo de nutrientes nas plantas e nas folhas, respectivamente.

Os teores de micronutrientes nas amostras dos fertilizantes e do calcário utilizados foram analisados de acordo com Embrapa (1999).

Quadro 3. Teores médios¹ iniciais de pH_(CaCl₂), matéria orgânica, fósforo, potássio, acidez potencial, cálcio, magnésio, alumínio, zinco, manganês, cobre e boro das áreas onde os experimentos foram instalados

Local	Prof. cm	pH	MO dag/kg	P mg/dm ³	K ⁺ mg/dm ³	H+Al	Ca ²⁺ cmol _c /dm ³	Mg ²⁺ cmol _c /dm ³	Al ³⁺ cmol _c /dm ³	mg/dm ³			
										Zn ^{2,4}	Mn ^{2,4}	Cu ^{2,4}	B ^{3,4}
Faz. Agroserra	0 - 20	4,25	5,75	1,6	40,6	9,35	1,70	0,85	0,16	0,68	6,08	0,28	0,17
	20 - 40	4,09	4,29	0,2	21,5	9,13	0,54	0,24	0,02	0,20	1,79	0,13	0,12
Faz. Parnaíba	0 - 20	4,51	2,93	5,5	21,0	5,73	2,06	0,98	0,44	0,95	6,78	0,97	0,14
	20 - 40	4,04	1,64	1,3	23,5	8,78	0,66	0,35	0,13	0,08	1,45	0,08	0,12

¹. Média de oito amostras para cada local e para cada profundidade;

². Mehlich-1 (solo:solução 1:10; agitação: 5 min a 250 rpm);

³. Método da Água Quente (solução de BaCl₂ 5 mmol/L aquecida em forno de microondas; relação solo:solução 1:4)

⁴. Níveis críticos propostos por Embrapa (2001): Zn 1,6; Mn 5,0; Cu 0,8 e B 0,5 mg/dm³;

Quadro 4. Teores médios¹ e desvios padrão observados para o pH_(CaCl₂), fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio e matéria orgânica após a safra 2000/01 nos dois locais estudados

	pH	P mg/dm ³	K ⁺ mg/dm ³	H + Al	Ca ²⁺ cmol _c /dm ³	Mg ²⁺ cmol _c /dm ³	Al ³⁺ cmol _c /dm ³	CTC	V %
Faz. Agroserra									
Teor médio	4,72	12,0	38,7	7,53	2,41	1,25	0,41	11,29	33,6
Desvio padrão	0,39	2,2	8,1	2,1	0,95	0,73	0,45	1,75	14,2
Faz. Parnaíba									
Teor médio	5,11	35,8	24,7	3,28	2,57	1,23	0,10	7,14	53,9
Desvio padrão	0,59	8,5	7,6	1,23	0,73	0,54	0,18	1,38	13,8

¹. Média das 576 amostras em cada localidade; análises efetuadas de acordo com Embrapa (1999); profundidade de amostragem: 0 - 20 cm.

3.2 Avaliação da produção de matéria seca das plantas de soja

Visando diminuir a quantidade de amostras coletadas, uma vez que o Campo Experimental de Balsas, da Embrapa Soja, não possuía estrutura física que permitisse avaliar a produção de matéria seca (MS) em todos os tratamentos testados, optou-se pela coleta das plantas em quatro níveis de saturação, assim denominados: V1, V2, V4 e V6 e que correspondem, respectivamente, a 30, 40, 60 e 80 % de saturação por bases, avaliando-se a produção de MS em 2/3 de cada experimento.

Para obter a produção de MS das plantas, foram coletadas cinco plantas na área útil da subparcela (7 x 3 m, na Faz. Parnaíba e 7 x 2,5 m, na Faz. Agroserra), no estágio de florescimento pleno (R₂) e, dessa forma, tomando-se ao acaso plantas que representavam a população da subparcela. Essas plantas foram cortadas a aproximadamente 2 cm da superfície do solo e acondicionadas em sacos de pano. Concomitantemente, foram coletadas as amostras de folhas, retirando-se a terceira folha (sem pecíolo) a partir do ápice das plantas. Essas amostras foram acondicionadas em sacos de papel.

As amostras de plantas foram lavadas com água destilada e, em seguida, colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, a 70 - 72 °C. Nas amostras de folhas não foi necessário efetuar a limpeza com água destilada, porém, efetuou-se a contagem do número de folhas coletadas e, em seguida, essas amostras foram colocadas para secar, seguindo o mesmo procedimento das amostras de plantas.

Após a secagem das amostras, efetuaram-se a pesagem e a moagem do material. Tanto as amostras de plantas, quanto as de folhas, foram pesadas imediatamente antes de se proceder a moagem das mesmas, utilizando balança digital com precisão de 0,01 g. A moagem das amostras foi realizada em moíno tipo Wiley.

3.3 Determinação dos micronutrientes nas amostras de solo, folhas e plantas

As amostras de solo de 0 a 20 cm de profundidade foram coletadas em ambas as safras após a colheita. No primeiro ano (safra 2000/01), os teores de Zn, Mn, Cu foram determinados somente pelo método Mehlich-1, ao passo que, no segundo ano (safra 2001/02) os teores desses micronutrientes foram determinados por três métodos de extração:

Mehlich-1 (HCl 0,05 mol/L + H₂SO₄ 0,0125 mol/L; solo:solução 1:10);

Mehlich-3 (CH₃COOH 0,2 mol/L + NH₄NO₃ 0,25 mol/L + NH₄F 0,015 mol/L + HNO₃ 0,013 mol/L + EDTA 0,001 mol/L; solo:solução 1:10) ;

DTPA-TEA (Ácido dietilenotriaminopentaacético + Trietanolamina; solo:solução 1:2)

As análises de Zn, Mn e Cu pelos métodos Mehlich-3 e DTPA foram efetuadas somente nas amostras correspondentes aos tratamentos onde se avaliou a produção de matéria seca das plantas de soja, ou seja, nas saturações 30, 40, 60 e 80 %.

Os teores de B nas amostras de solo foram determinados, em ambas as safras, pelo método da água quente (solução BaCl₂ 5 mmol/L aquecida em forno de microondas, utilizando-se relação solo:solução de 1:4). A dosagem do B foi realizada pelo método da Azometina-H e, utilizando um espectrofotômetro UV-Vísível, ao passo que, a dosagem de Zn, Mn e Cu foi realizada em um espectrofotômetro de absorção atômica.

Além da análise dos micronutrientes, nas amostras da safra 2000/01 foram realizadas as seguintes determinações: P, K, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, CO, pH_{CaCl₂} e H+Al, de acordo com Embrapa (1999).

As taxas de recuperação de Zn, Mn e Cu por Mehlich-3 e DTPA foram determinadas apenas no segundo ano após a calagem, ao passo que, por Mehlich-1 foi possível calculá-las nos dois anos de estudo. Para o B, as taxas também foram determinadas nos dois anos de estudo.

Na determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Cu, Fe e B, nas amostras de folhas e de plantas, utilizou-se digestão úmida, em forno de

microondas (sistema fechado), com ácido nítrico (Embrapa, 1999). A concentração desses nutrientes nos extratos foi determinada por espectrofotometria de emissão por plasma induzido (ICP-AES). O teor de N das amostras foi determinado pelo método Kjeldahl, de acordo com Embrapa (1999).

3.4 Análises estatísticas

As análises de variância foram realizadas conforme experimentos fatoriais em delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas, com o desdobramento do efeito de dose e da interação entre saturação e dose para verificar o efeito da aplicação de Zn, Mn, Cu e B dentro de cada nível de saturação.

A resposta da soja à aplicação dos micronutrientes foi estudada por meio de modelos de regressão, que associaram a produtividade em função das doses de Zn, Mn, Cu e B aplicadas. Esses modelos foram ajustados com as médias das quatro repetições e, dentro de cada nível de saturação com o intuito de verificar o efeito das doses dos micronutrientes na produtividade da soja, sob diferentes condições de acidez do solo, uma vez que, a disponibilidade desses micronutrientes é influenciada pelo pH do solo.

Para as demais variáveis analisadas, tais como: teor dos micronutrientes no solo e seus conteúdos nas plantas foram utilizados modelos de regressão múltipla (superfície de resposta), permitindo, assim, melhor visualização do comportamento dessas variáveis em função das doses de Zn, Mn, Cu e B e das alterações de pH induzidas pelo calcário; esses modelos foram ajustados para todas as observações. Em todos os modelos de regressão ajustados, avaliou-se a significância dos estimadores dos parâmetros da equação, sendo o $a_{\text{crítico}}$ utilizado de 0,20. Dessa forma, para a significância dos estimadores consideraram-se 1, 5, 10 e não significativo nem a 20 % de probabilidade; para valores entre 10 e 20 %, o valor da significância foi colocado entre parênteses.

A avaliação dos métodos de extração foi realizada por meio de correlações, onde se procurou associar os teores obtidos pelos métodos testados com as características do solo e da planta, tais como: saturação por bases, conteúdo de

nutrientes nas folhas e nas plantas. Também foram avaliadas as correlações entre os resultados obtidos pelos três métodos para Zn, Mn e Cu.

3.5 Cálculo dos níveis críticos

O cálculo dos níveis críticos dos micronutrientes no solo foi realizado seguindo o método proposto por Alvarez V. (1995), em que se determina a DR do nutriente, ou seja, a dose do nutriente aplicado que proporciona a produção de máxima eficiência econômica.

Para obter o NC do micronutriente solo foi necessário, também, ajustar um modelo de regressão que estimasse a taxa de recuperação de um extrator, ou seja, o teor recuperado por um determinado método de extração em função das doses aplicadas do micronutriente. Dessa forma, obteve-se o nível crítico ao substituir o valor da DR na equação da taxa de recuperação de um nutriente no solo.

Nesse trabalho, optou-se por utilizar 95 % da produção máxima ($Y_{Máx}$), uma vez que, os incrementos de produção com a aplicação de micronutrientes são baixos, não havendo, assim, grande diferença entre as DRs para os valores de máxima eficiência física (MEF) e de máxima eficiência econômica (MEE), visto que os modelos ajustados não apresentaram componente assintótico.

Em virtude de ter sido observado efeito das doses dos micronutrientes na produção de grãos dentro de alguns níveis de saturação somente, calculou-se a DR a partir do modelo que melhor representasse às observações da resposta (o de maior R^2 ajustado dentre os modelos significativos). Assim, o fato das taxas de recuperação dos micronutrientes no solo terem sido ajustadas por meio de modelos de regressão múltipla, possibilitou calcular os níveis críticos dos micronutrientes para os seis níveis de saturação a partir de uma única dose recomendável.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resposta da soja à aplicação de Zn, Mn, Cu e B

De modo geral, não foi observada resposta da soja à aplicação dos micronutrientes e, mesmo quando observada, os incrementos de produção à aplicação foram pequenos, uma vez que produtividades superiores a 3.000 kg/ha foram verificadas com freqüência para a dose zero dos micronutrientes estudados.

As produtividades observadas na Faz. Parnaíba (solo textura média) foram, em média, superiores às observadas na Faz. Agroserra (solo argiloso), indicando o maior potencial de produção da cultura da soja, em solos com textura média a arenosa, onde o caráter “dreno” é menos expressivo (Novais & Smyth, 1999).

A contribuição dos micronutrientes dos fertilizantes e do calcário (Valadares et al., 1974; Malavolta, 1994; Gabe, 1998), os teores no solo em condições adequadas para a cultura (mesmo na dose zero) e a capacidade da soja em acidificar a rizosfera e, dessa forma, absorver formas menos lábeis dos micronutrientes (Borkert, 1991), caracterizaram-se como os principais fatores responsáveis para a baixa resposta da cultura à aplicação desses nutrientes.

4.1.1 Zinco

A aplicação de Zn apresentou pequena influência na produção de grãos, principalmente no solo textura média, onde foi observada resposta à sua aplicação apenas na primeira safra após a aplicação do calcário, dentro de dois

níveis de saturação (40 e 70 %). No entanto, no solo argiloso, foi observada resposta à aplicação de Zn em dois níveis de saturação (30 e 70 %) na safra 2000/01 e, em apenas um nível (60 %), na safra 2001/02 (Quadro 5).

Quadro 5. Modelos de regressão ajustados para a produção de grãos (kg/ha) em função das doses de zinco (kg/ha) aplicadas, dentro de cada nível de saturação por bases, em ambas as safras e localidades

Equação	R ²	Equação	R ²
Saфра 2000/01		Saфра 2001/02	
Faz. Parnaíba			
$y_{30} = \bar{y} = 3.607$	—	$y_{30} = \bar{y} = 3.482$	—
$y_{40} = 3.394,838 + 426,08 \sqrt{x} - 86,868 x$	0,67	$y_{40} = \bar{y} = 3.512$	—
$y_{50} = \bar{y} = 3.740$	—	$y_{50} = \bar{y} = 3.561$	—
$y_{60} = \bar{y} = 4.041$	—	$y_{60} = \bar{y} = 3.586$	—
$y_{70} = 3.637,62 + 97,578 x - 5,728 x^2$	0,45	$y_{70} = \bar{y} = 3.533$	—
$y_{80} = \bar{y} = 3.881$	—	$y_{80} = \bar{y} = 3.479$	—
Faz. Agroserra			
$y_{30} = 2.625,843 + 95,775 x - 4,472 x^2$	0,76	$y_{30} = \bar{y} = 2.471$	—
$y_{40} = \bar{y} = 3.163$	—	$y_{40} = \bar{y} = 2.904$	—
$y_{50} = \bar{y} = 3.280$	—	$y_{50} = \bar{y} = 3.056$	—
$y_{60} = \bar{y} = 3477$	—	$y_{60} = 3.120,207 + 61,484 x - 3.356 x^2$	0,45
$y_{70} = 3.071,800 + 144,451 x - 8,066 x^2$	0,77	$y_{70} = \bar{y} = 3.228$	—
$y_{80} = \bar{y} = 3.555$	—	$y_{80} = \bar{y} = 3.455$	—

ns e °, *, **, ° : não significativo a 20 % e significativo a 1, 5 e 10 %, respectivamente.

Os resultados observados no solo argiloso indicaram que a acidez do solo limitou muito mais a produção de grãos do que o Zn, uma vez que, a produtividade média aumentou significativamente com as doses de calcário aplicadas, indicando a importância da correção da acidez e, ou, suprimento de Ca e Mg neste solo (Quadro 5).

4.1.2 Manganês

O Mn foi o elemento em estudo com menor efeito sobre a produção de grãos, apesar da presença de sintomas de deficiência desse micronutriente nos níveis de saturação superiores a 60 %, indicando que a deficiência inicial deste

nutriente, freqüentemente verificada em condições de campo, não refletiu em decréscimos na produção da soja (Quadro 6).

Quadro 6. Modelos de regressão ajustados para a produção de grãos (kg/ha) em função das doses de manganês (kg/ha) aplicadas, dentro de cada nível de saturação por bases, em ambas as safras e localidades

Equação	R ²	Equação	R ²
Saфра 2000/01		Saфра 2001/02	
Faz. Parnaíba			
$y_{30} = \bar{y} = 3.756$	—	$y_{30} = \bar{y} = 3.522$	—
$y_{40} = 3.723,678 + 21,595^{\circ} x - 0,291^{\circ} x^2$	0,91	$y_{40} = \bar{y} = 3.624$	—
$y_{50} = \bar{y} = 3.839$	—	$y_{50} = \bar{y} = 3.541$	—
$y_{60} = \bar{y} = 3.906$	—	$y_{60} = \bar{y} = 3.626$	—
$y_{70} = \bar{y} = 3.941$	—	$y_{70} = \bar{y} = 3.572$	—
$y_{80} = \bar{y} = 3.917$	—	$y_{80} = \bar{y} = 3.543$	—
Faz. Agroserra			
$y_{30} = \bar{y} = 3.107$	—	$y_{30} = \bar{y} = 2.494$	—
$y_{40} = \bar{y} = 3.181$	—	$y_{40} = \bar{y} = 2.793$	—
$y_{50} = 3.125,499 + 148,447^* \sqrt{x} - 15,822^* x$	0,75	$y_{50} = \bar{y} = 2.981$	—
$y_{60} = \bar{y} = 3.431$	—	$y_{60} = \bar{y} = 3.162$	—
$y_{70} = 3.257,572 + 103,598^{(0,15)} \sqrt{x} - 7,308^{ns} x$	0,64	$y_{70} = \bar{y} = 3.055$	—
$y_{80} = \bar{y} = 3.476$	—	$y_{80} = \bar{y} = 3.215$	—

^{ns} e ^{*} [°] : não significativo a 20 % e significativo a 5 e 10 %, respectivamente.

No solo textura média, apesar dos sintomas de deficiência de Mn terem sido observados com maior intensidade, observou-se resposta à aplicação de Mn apenas na saturação de 40 %, na safra 2000/01, evidenciando assim, a ausência de resposta a esse nutriente mesmo em saturações mais elevadas. No solo argiloso, também foi observada resposta apenas na primeira safra após a reaplicação do calcário, nos níveis 50 e 70 % de saturação.

Os resultados demonstram que a resposta da soja à aplicação de Mn, freqüentemente verificada em experimentos conduzidos em condições controladas (Abreu et al., 1995; Abreu et al., 1996; Oliveira Jr et al., 2000), não aconteceu para as condições deste estudo. Além disso, a ausência de resposta nos níveis mais elevados de saturação pode ser explicada pela elevada concentração desse elemento no calcário utilizado (item 4.6) e, também, pela

capacidade da soja em acidificar a rizosfera e, dessa forma, disponibilizar e absorver o Mn de formas precipitadas (Godo & Reisenauer, 1980).

4.1.3 Cobre

Dentre os micronutrientes estudados, o Cu foi o que apresentou maior influência na produção de grãos, principalmente no solo de textura argilosa (Quadro 7).

No solo textura média, durante a safra 2000/01, foi observada resposta nos níveis 30, 70 e 80 % de saturação, ao passo que, na safra seguinte obteve-se resposta em quatro níveis de saturação. Apesar de ter ocorrido resposta significativa, o incremento⁽¹⁾ médio na produção de grãos com as doses aplicadas foi pequeno (122 e 193 kg/ha, respectivamente, para as safras 2000/01 e 2001/02), uma vez que, as produtividades verificadas na dose zero foram elevadas (acima de 3.000 kg/ha) para todas as saturações.

No solo argiloso, observou-se resposta à aplicação de Cu somente na safra 2001/02, nas saturações 40, 50, 70 e 80 %; as produtividades observadas nesse solo foram inferiores às obtidas no solo textura média, porém o incremento médio de produção com as doses de Cu foi maior (303 kg/ha). O fato de se ter observado resposta da soja nas parcelas que receberam calcário sugere que, possivelmente, ocorreu liberação de Cu ligado à matéria orgânica, por meio da mineralização provocada pela calagem, indicando a maior associação da disponibilidade de Cu à matéria orgânica (Nascimento, 2001) que ao pH do solo. Dessa forma, o Cu liberado foi complexado por exsudatos orgânicos e transportado até as raízes, processo esse, que é fortemente influenciado pelo pH do solo (Temminghoff et al., 1998).

Galvão (1991) verificou resposta da soja à aplicação de Cu nos três últimos cultivos de um experimento conduzido por quatro safras, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, evidenciando, assim, a importância deste micronutriente para a cultura em solos de cerrado e sua exaustão, devido a depleção no teor de matéria orgânica do solo, ao longo dos cultivos.

⁽¹⁾ Diferença entre a produção de máxima eficiência econômica e a produção média na dose zero.

Quadro 7. Modelos de regressão ajustados para a produção de grãos (kg/ha) em função das doses de cobre (kg/ha) aplicadas, dentro de cada nível de saturação por bases, em ambas as safras e localidades

Equação	R ²	Equação	R ²
Saфра 2000/01		Saфра 2001/02	
Faz. Parnaíba			
$y_{30} = 3.793,514 + 17,549^* x$	0,75	$y_{30} = 3.266,876 + 304,655^{**} \sqrt{x} - 57,945^{**} x$	0,90
$y_{40} = \bar{y} = 3.929$	—	$y_{40} = 3.409,773 + 21,455^{**} x$	0,77
$y_{50} = \bar{y} = 4.031$	—	$y_{50} = 3.400,317 + 234,253^* \sqrt{x} - 48,962^* x$	0,72
$y_{60} = \bar{y} = 4.017$	—	$y_{60} = 3.359,626 + 301,285^{**} \sqrt{x} - 55,376^{**} x$	0,74
$y_{70} = 3.834,503 + 182,101^{\circ} \sqrt{x} - 36,21^{(0,11)} x$	0,77	$y_{70} = \bar{y} = 3.593$	—
$y_{80} = 3.783,278 + 220,032^* \sqrt{x} - 29,81^{ns} x$	0,86	$y_{80} = \bar{y} = 3.504$	—
Faz. Agroserra			
$y_{30} = \bar{y} = 2.903$	—	$y_{30} = \bar{y} = 2.056$	—
$y_{40} = \bar{y} = 2.910$	—	$y_{40} = 2.410,992 + 54,258^{**} x - 2,435^{**} x^2$	0,63
$y_{50} = \bar{y} = 3.132$	—	$y_{50} = 2.323,231 + 122,217^{(0,15)} \sqrt{x} - 7,22^{ns} x$	0,85
$y_{60} = \bar{y} = 3.197$	—	$y_{60} = \bar{y} = 2.907$	—
$y_{70} = \bar{y} = 3.339$	—	$y_{70} = 2.594,401 + 90,374^{**} \sqrt{x} - 0,659^{ns} x$	0,68
$y_{80} = \bar{y} = 3.272$	—	$y_{80} = 2.658,085 + 90,839^{**} x - 3,661^{**} x^2$	0,65

^{ns} e ^{*, **, °}: não significativo a 20 % e significativo a 1, 5 e 10 %, respectivamente.

4.1.4 Boro

Assim como foi observado para o Mn, a aplicação de B apresentou pequena influência na produtividade da soja, em ambos os solos. Dessa forma, no solo textura média foi observada resposta apenas em um nível de saturação, na safra 2001/02, ao passo que, no solo argiloso, na safra 2000/01, obteve-se resposta à aplicação de B em dois níveis de saturação (40 e 60 %) e, na safra seguinte, apenas na saturação de 40 % (Quadro 8).

Os incrementos de produção observados nos dois solos com à aplicação de B também foram baixos, em que no solo argiloso os valores observados foram iguais a 70 e 222 kg/ha, respectivamente, para as safras 2000/01 e 2001/02 e, no solo textura média, o incremento foi de apenas 79 kg/ha. Além disso, os coeficientes de determinação dos modelos ajustados não foram elevados indicando que a resposta à aplicação de B não foi muito consistente.

Quadro 8. Modelos de regressão ajustados para a produção de grãos (kg/ha) em função das doses de boro (kg/ha) aplicadas, dentro de cada nível de saturação por bases, em ambas as safras e localidades

Equação	R ²	Equação	R ²
Saфра 2000/01		Saфра 2001/02	
Faz. Parnaíba			
$y_{30} = \bar{y} = 3.911$	—	$y_{30} = \bar{y} = 3.408$	—
$y_{40} = \bar{y} = 4.033$	—	$y_{40} = \bar{y} = 3.506$	—
$y_{50} = \bar{y} = 3.962$	—	$y_{50} = \bar{y} = 3.588$	—
$y_{60} = \bar{y} = 4.084$	—	$y_{60} = 3.557,879 + 396,966^* \sqrt{x} - 145,683^* x$	0,73
$y_{70} = \bar{y} = 4.175$	—	$y_{70} = \bar{y} = 3.610$	—
$y_{80} = \bar{y} = 4.159$	—	$y_{80} = \bar{y} = 3.598$	—
Faz. Agroserra			
$y_{30} = \bar{y} = 2.718$	—	$y_{30} = \bar{y} = 2.292$	—
$y_{40} = 2.840,670 + 42,383^{\circ} x$	0,66	$y_{40} = 2.524,409 + 199,599^* x - 27,160^* x^2$	0,48
$y_{50} = \bar{y} = 3.046$	—	$y_{50} = \bar{y} = 2.858$	—
$y_{60} = 2.999,837 + 33,559^{(0,12)} x$	0,60	$y_{60} = \bar{y} = 3.042$	—
$y_{70} = \bar{y} = 3.088$	—	$y_{70} = \bar{y} = 3.105$	—
$y_{80} = \bar{y} = 3.105$	—	$y_{80} = \bar{y} = 3.134$	—

* : significativo a 5 e 10 %, respectivamente.

O maior potencial produtivo da cultura da soja em solos com textura média, em comparação aos de textura argilosa, foi evidenciado tanto no experimento de B quanto nos demais. No entanto, o efeito da calagem sobre a produção de grãos foi mais evidente no solo argiloso, com maior tamponamento da acidez.

4.2 Taxa de recuperação de Zn, Mn, Cu e B do solo pelos extratores

A taxa de recuperação dos nutrientes pelos extratores, ou seja, a declividade que relaciona a quantidade recuperada por um extrator em função da aplicada caracteriza-se como uma informação essencial tanto para os cálculos dos níveis críticos de um nutriente no solo quanto para a determinação de suas doses a serem aplicadas (Santos, 2002; Possamai, 2003).

4.2.1 Zinco

4.2.1.1 Mehlich-1

Conforme se esperava, os teores de Zn observados no solo textura média (Figura 1) foram superiores aos obtidos no solo argiloso (Figura 2), visto que, este solo apresentou maior capacidade tampão e ocorreu maior desgaste da solução extratora (Novais & Smyth, 1999); conseqüentemente, as taxas de recuperação de Zn no solo argiloso foram menores.

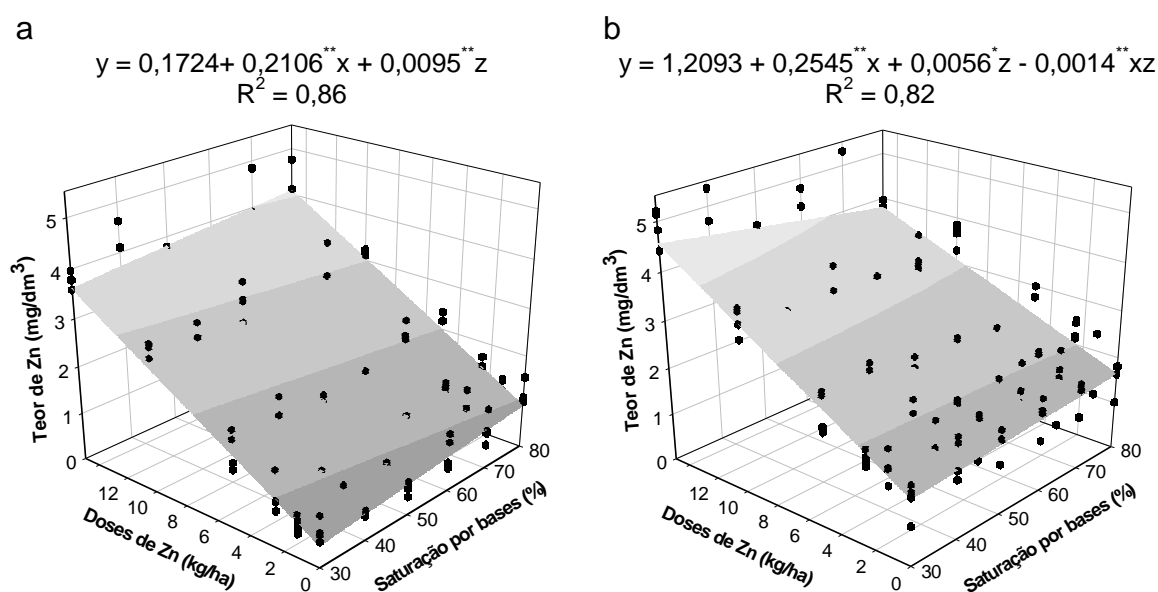


Figura 1. Teores de zinco no solo pelo Mehlich-1 em função das doses de zinco aplicadas (x) e da saturação por bases (z). Faz. Parnaíba: safra 2000/01 (a); safra 2001/02 (b).

Os modelos ajustados para o solo textura média demonstraram o aumento nos “teores_{iniciais}”⁽²⁾ de Zn, indicando que a quantidade de Zn presente no calcário aplicado foi avaliada pelo Mehlich-1. Na maioria das equações obtidas com os cortes (Quadro 9), verificou-se que os “teores_{iniciais}” de Zn foram superiores ao NC desse nutriente (0,8 mg/dm³) obtido por Galvão (1993) em um Latossolo

⁽²⁾ Denominação utilizada para o teor estimado para a dose zero do micronutriente, em cada saturação por bases, ou seja, é o intercepto das equações ($y = \beta_0 + \beta_1x$) obtidas com os cortes efetuados na superfície de resposta.

Vermelho-Amarelo, com textura argilosa, fato esse que contribuiu para o pequeno efeito das doses de Zn na produção de grãos.

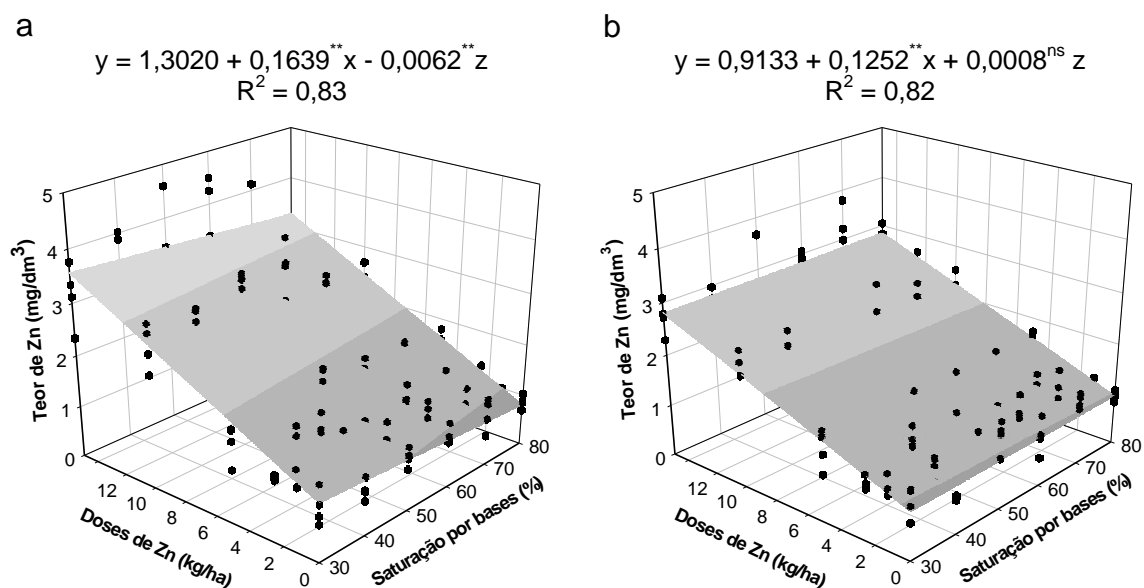


Figura 2. Teores de zinco no solo pelo Mehlich-1 em função das doses de zinco aplicadas (x) e da saturação por bases (z). Faz. Agroserra: safra 2000/01 (a); safra 2001/02 (b).

Quadro 9. Cortes efetuados nas superfícies (Figuras 1 e 2) para avaliar o teor¹ de zinco no solo, pelo Mehlich-1 em função das doses² de zinco, dentro de cada saturação por bases (y_{Vi}), nas Fazendas Parnaíba e Agroserra, nas duas safras

Faz. Parnaíba		Faz Agroserra	
Safra 2000/01	Safra 2001/02	Safra 2000/01	Safra 2001/02
$y_{30} = 0,4568 + 0,2106x$	$y_{30} = 1,3762 + 0,2119x$	$y_{30} = 1,1145 + 0,1639x$	$y_{30} = 0,9363 + 0,1252x$
$y_{40} = 0,5516 + 0,2106x$	$y_{40} = 1,4319 + 0,1977x$	$y_{40} = 1,0520 + 0,1639x$	$y_{40} = 0,9440 + 0,1252x$
$y_{50} = 0,6464 + 0,2106x$	$y_{50} = 1,4875 + 0,1835x$	$y_{50} = 0,9895 + 0,1639x$	$y_{50} = 0,9516 + 0,1252x$
$y_{60} = 0,7412 + 0,2106x$	$y_{60} = 1,5432 + 0,1693x$	$y_{60} = 0,9270 + 0,1639x$	$y_{60} = 0,9593 + 0,1252x$
$y_{70} = 0,8359 + 0,2106x$	$y_{70} = 1,5988 + 0,1551x$	$y_{70} = 0,8645 + 0,1639x$	$y_{70} = 0,9669 + 0,1252x$
$y_{80} = 0,9307 + 0,2106x$	$y_{80} = 1,6544 + 0,1409x$	$y_{80} = 0,8020 + 0,1639x$	$y_{80} = 0,9746 + 0,1252x$

¹. y, em mg/dm³ de Zn; ². x, em kg/ha de Zn

A interação negativa entre as doses de Zn e a saturação por bases, no teor de Zn no solo e por conseqüência na taxa de recuperação desse micronutriente foi significativa apenas na safra 2001/02, na Faz. Parnaíba (Figura 1). Dessa

forma, nesta safra as taxas de recuperação⁽³⁾ de Zn pelo Mehlich-1 variaram de 10,6 a 7,1 %, respectivamente para o menor e maior valor de saturação.

4.2.1.2 Mehlich-3 e DTPA

Os teores de Zn obtidos pelo Mehlich-3 e DTPA foram menores do que os obtidos pelo Mehlich-1, em ambos os solos (Figuras 3 e 4); porém, a diferença entre os teores pelo Mehlich-1 e Mehlich-3 foi mais acentuada no solo argiloso.

A interação entre as doses de Zn e a saturação por bases, no teor desse micronutriente, foi significativa somente no solo textura média, para os dois métodos avaliados (Figura 3). As taxas de recuperação obtidas nesse solo variaram de 9,4 a 6,4 % e de 4,8 a 2,1 %, respectivamente, para o Mehlich-3 e para o DTPA. No solo argiloso, essa interação não foi significativa e, dessa forma, as taxas mantiveram-se constantes (Quadro 10).

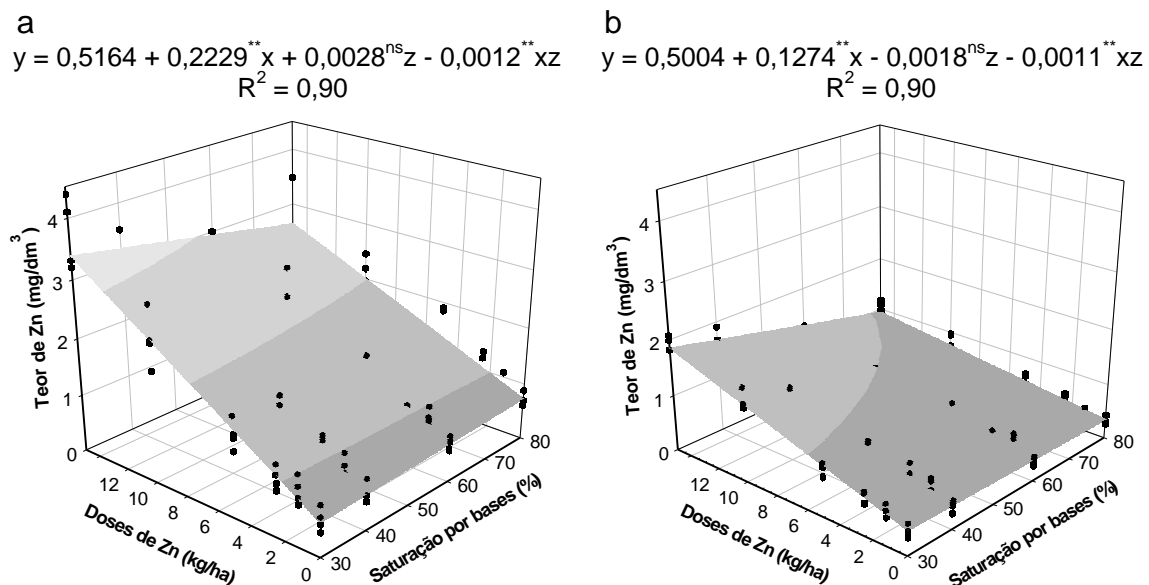


Figura 3. Teores de zinco no solo em função das doses de zinco aplicadas (x) e da saturação por bases (z). Faz. Parnaíba, safra 2001/02: Mehlich-3 (a); DTPA (b).

⁽³⁾ Os valores das taxas de recuperação em percentagem foram obtidos pela fórmula:

$$TR(\%) = \left(\frac{\text{Coeficiente angular}}{2} \right) \times 100$$

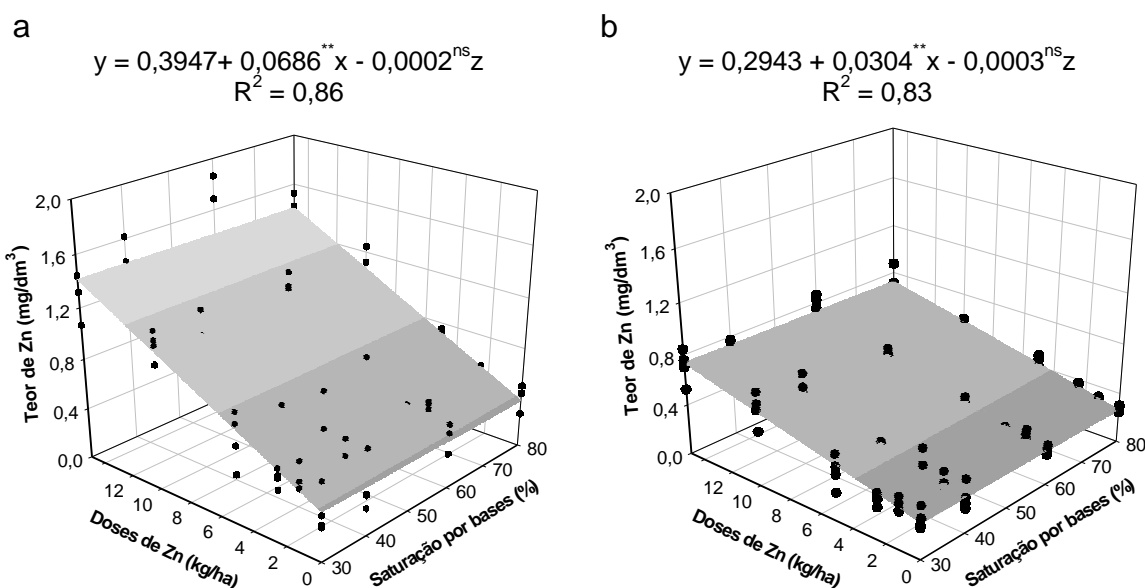


Figura 4. Teores de zinco no solo em função das doses de zinco aplicadas (x) e da saturação por bases (z). Faz. Agroserra, safra 2001/02: Mehlich-3 (a); DTPA (b).

Quadro 10. Cortes efetuados nas superfícies (Figuras 3 e 4) para avaliar o teor¹ de zinco no solo, pelo Mehlich-3 e DTPA em função das doses² de zinco, dentro de cada saturação por bases (y_{Vi}), nas Fazendas Parnaíba e Agroserra, na safra 2001/02

Faz. Parnaíba		Faz Agroserra	
Mehlich-3	DTPA	Mehlich-3	DTPA
$y_{30} = 0,5996 + 0,1869x$	$y_{30} = 0,4452 + 0,0950x$	$y_{30} = 0,3880 + 0,0686x$	$y_{30} = 0,2842 + 0,0304x$
$y_{40} = 0,6273 + 0,1750x$	$y_{40} = 0,4269 + 0,0842x$	$y_{40} = 0,3857 + 0,0686x$	$y_{40} = 0,2808 + 0,0304x$
$y_{50} = 0,6551 + 0,1630x$	$y_{50} = 0,4085 + 0,0733x$	$y_{50} = 0,3835 + 0,0686x$	$y_{50} = 0,2774 + 0,0304x$
$y_{60} = 0,6828 + 0,1510x$	$y_{60} = 0,3901 + 0,0625x$	$y_{60} = 0,3813 + 0,0686x$	$y_{60} = 0,2741 + 0,0304x$
$y_{70} = 0,7105 + 0,1390x$	$y_{70} = 0,3717 + 0,0517x$	$y_{70} = 0,3790 + 0,0686x$	$y_{70} = 0,2707 + 0,0304x$
$y_{80} = 0,7383 + 0,1270x$	$y_{80} = 0,3533 + 0,0409x$	$y_{80} = 0,3768 + 0,0686x$	$y_{80} = 0,2673 + 0,0304x$

¹. y, em mg/dm³ de Zn; ². x, em kg/ha de Zn

Em ambas as localidades, os modelos ajustados não apresentaram significância para o efeito de saturação; com isso, os “teores_{iniciais}” de Zn no solo oscilaram muito pouco para as diferentes saturações, principalmente no solo argiloso. Os cortes efetuados no modelo ajustado para os teores recuperados pelo Mehlich-3 demonstraram um ligeiro aumento nos “teores_{iniciais}” de Zn, resultante do efeito positivo observado para a saturação por bases (Quadro 10). No solo textura média, o DTPA foi o único método para o qual se observou

decréscimo tanto nos “teores_{iniciais}” de Zn (Figura 3), quanto na declividade da reta com o aumento da saturação.

Galvão (1993) obteve concentração crítica de Zn pelo DTPA de 0,6 mg/dm³, teor este superior aos “teores_{iniciais}” de Zn pelo DTPA verificados em ambos os solos e saturações e, como não foi observada resposta da soja à aplicação de Zn na safra 2001/02 (item 4.1.1), pode-se inferir que teores médios de Zn pelo DTPA de 0,45 e 0,28 mg/dm³, respectivamente para os solos textura média e argilosa foram suficientes para o crescimento ótimo da cultura.

4.2.2 Manganês

4.2.2.1 Mehlich-1

Os teores de Mn variaram, em média, de 3 a 30 mg/dm³ em ambos os solos, ao contrário do observado para o Zn, em que os teores no solo argiloso foram em média 50 % inferior aos do textura média. A semelhança entre os teores de Mn nos dois tipos de solo deve-se, provavelmente, a alta concentração de Mn no calcário aplicado, como será discutido posteriormente, visto que, o Mehlich-1 extraiu teores crescentes de Mn, mesmo com o aumento do pH do solo (Figuras 5 e 6).

As taxas de recuperação obtidas para o Mn, no solo textura média, foram constantes (12,1 e 10 %, para as safras 2000/01 e 2001/02), ao passo que, no solo de textura argilosa, observou-se o aumento na taxa de recuperação de Mn com a saturação (9,0 a 12,8 % em 2000/01 e, 7,8 a 10,1 % em 2001/02), decorrente da interação positiva entre as doses de Mn e a saturação por bases, no teor de Mn pelo Mehlich-1 (Quadro 11).

Essa relação positiva entre a taxa de recuperação de Mn pelo Mehlich-1 e a saturação observada no solo argiloso, provavelmente, esteja diretamente associada à maior quantidade de Mn adicionada com a calagem nesse solo, visto que, as doses aplicadas para se obter os três últimos níveis de saturação foram maiores do que as aplicadas no solo textura média, dado seu maior tamponamento. Dessa forma, mesmo com a redução do poder de extração do

Mehlich-1 com o pH e com o teor de argila do solo (Novais & Smyth, 1999), a grande quantidade de Mn aplicada nas doses de calcário mais elevadas aparentemente se sobrepõe ao desgaste do extrator, resultando, assim, em aumento dos “teores_{iniciais}” e, também, das declividades das retas de recuperação de Mn.

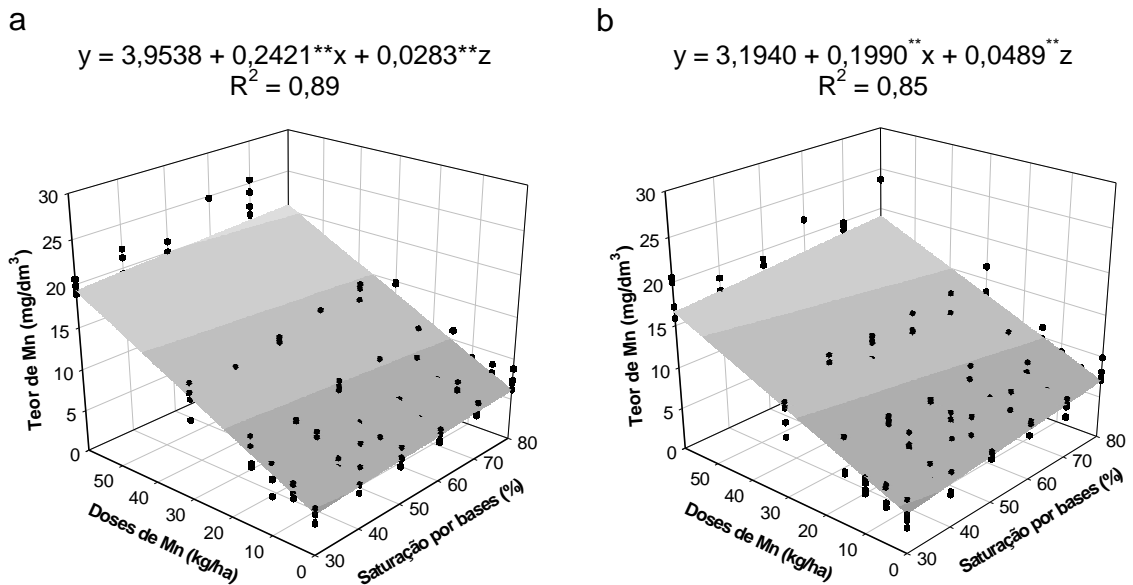


Figura 5. Teores de manganês no solo pelo Mehlich-1 em função das doses de manganês aplicadas (x) e da saturação por bases (z). Faz. Parnaíba: safra 2000/01 (a); safra 2001/02 (b).

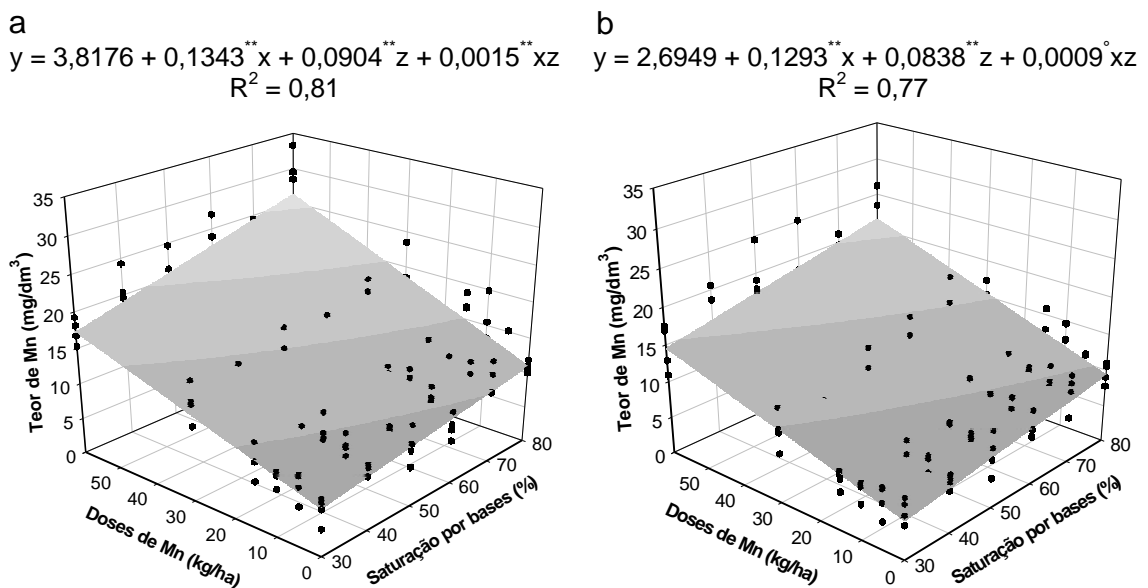


Figura 6. Teores de manganês no solo pelo Mehlich-1 em função das doses de manganês aplicadas (x) e da saturação por bases (z). Faz. Agroterra: safra 2000/01 (a); safra 2001/02 (b).

No entanto, as taxas de recuperação no solo argiloso foram, em geral, inferiores às observadas no textura média, exceto no último nível de saturação por bases (Quadro 11). Além disso, os teores de Mn e, conseqüentemente, as estimativas dos parâmetros das equações ajustadas diminuíram de uma safra para outra, em ambas as localidades, indicando uma exaustão do Mn do solo com os cultivos (Figuras 5 e 6).

Quadro 11. Cortes efetuados nas superfícies (Figuras 5 e 6) para avaliar o teor¹ de manganês no solo, pelo Mehlich-1 em função das doses² de manganês, dentro de cada saturação por bases (y_{Vi}), nas Fazendas Parnaíba e Agroserra, nas duas safras

Faz. Parnaíba		Faz Agroserra	
Safra 2000/01	Safra 2001/02	Safra 2000/01	Safra 2001/02
$y_{30} = 4,8043 + 0,2421x$	$y_{30} = 4,6624 + 0,1990x$	$y_{30} = 6,5310 + 0,1799x$	$y_{30} = 5,2077 + 0,1564x$
$y_{40} = 5,0878 + 0,2421x$	$y_{40} = 5,1518 + 0,1990x$	$y_{40} = 7,4354 + 0,1951x$	$y_{40} = 6,0453 + 0,1655x$
$y_{50} = 5,3713 + 0,2421x$	$y_{50} = 5,6413 + 0,1990x$	$y_{50} = 8,3399 + 0,2103x$	$y_{50} = 6,8829 + 0,1745x$
$y_{60} = 5,6547 + 0,2421x$	$y_{60} = 6,1308 + 0,1990x$	$y_{60} = 9,2443 + 0,2255x$	$y_{60} = 7,7205 + 0,1836x$
$y_{70} = 5,9382 + 0,2421x$	$y_{70} = 6,6202 + 0,1990x$	$y_{70} = 10,1488 + 0,2407x$	$y_{70} = 8,5581 + 0,1926x$
$y_{80} = 6,2217 + 0,2421x$	$y_{80} = 7,1097 + 0,1990x$	$y_{80} = 11,0532 + 0,2559x$	$y_{80} = 9,3957 + 0,2017x$

¹. y, em mg/dm³ de Mn; ² x, em kg/ha de Mn

4.2.2.2 Mehlich-3 e DTPA

Assim como foi observado para o Zn, os teores de Mn obtidos com o Mehlich-3 foram intermediários em relação aos obtidos com Mehlich-1 e DTPA (Figuras 7 e 8).

Em ambos os solos, as taxas de recuperação de Mn pelo Mehlich-3 foram constantes (9,3 e 5,1 %, respectivamente, para o solo textura média e argiloso), além disso, também foi observado efeito positivo da calagem nos “teores_{iniciais}” de Mn, evidenciando a capacidade do Mehlich-3 em extrair o Mn aplicado com o calcário. No entanto, para os teores de Mn pelo DTPA, foi observado interação negativa entre as doses de Mn aplicadas e a saturação por bases, conseqüentemente, a declividade da reta que relaciona o teor recuperado em função do aplicado diminuiu com o aumento da saturação por bases, demonstrando a sensibilidade que o DTPA apresenta em relação à alteração da

disponibilidade do Mn com o pH do solo (Figuras 7 e 8). Portanto, para o DTPA, as taxas de recuperação foram extremamente baixas, apresentando valores entre 2,0 e 0,3 % para o solo textura média e entre 0,8 e 0,4 % para o argiloso (Quadro 12).

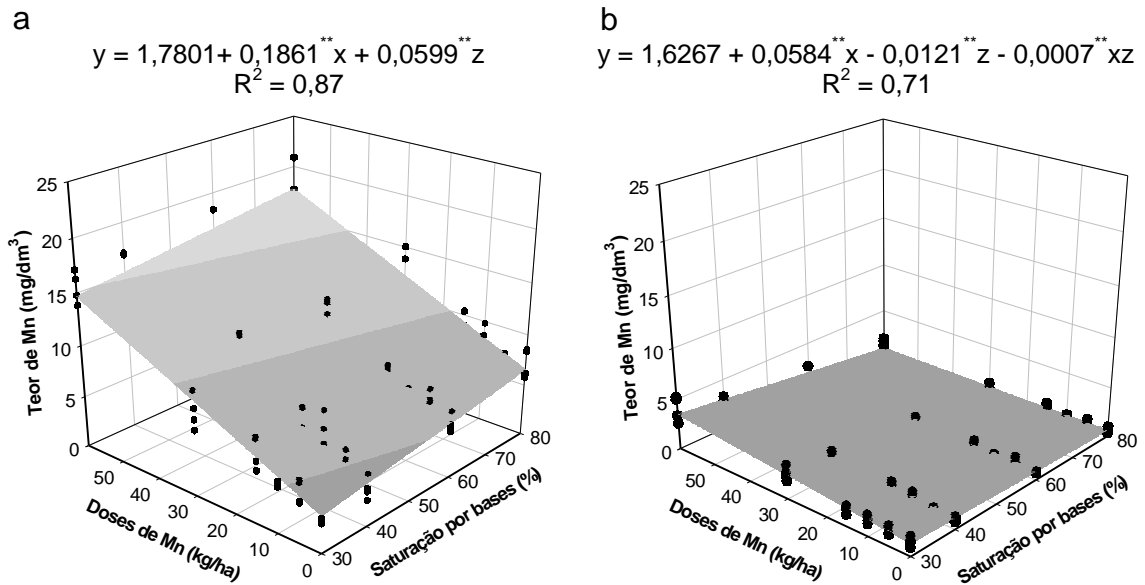


Figura 7. Teores de manganês no solo em função das doses de manganês aplicadas (x) e da saturação por bases (z). Faz. Parnaíba, safra 2001/02: Mehlich-3 (a); DTPA (b).

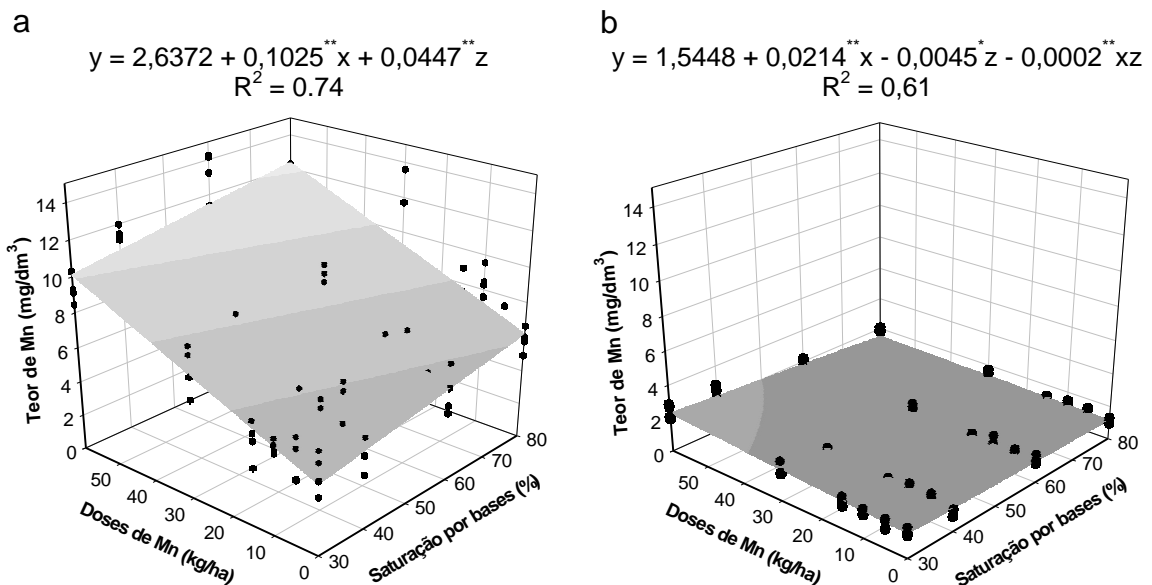


Figura 8. Teores de manganês no solo em função das doses de manganês aplicadas (x) e da saturação por bases (z). Faz. Agroserra, safra 2001/02: Mehlich-3 (a); DTPA (b).

Os resultados obtidos com os métodos de extração de Mn permitem fazer uma analogia com a avaliação da disponibilidade de P em áreas onde foram aplicados fosfatos naturais, visto que, nessas condições um extrator ideal seria aquele que não apenas meça o $P_{\text{disponível}}$, extraído de formas de P ligadas ao ferro e ao alumínio (ex. resina), mas também retrate o P que será disponibilizado com a dissolução do fosfato natural (ex. Mehlich-1), como fonte potencial de P para as plantas (Novais & Smyth, 1999). Dessa forma, a interpretação dos teores de Mn obtidos com os extratores DTPA e Mehlich-1 permite, respectivamente, avaliar a quantidade de Mn disponível para a soja (parte de Q + I) e também ter uma idéia da quantidade adicionada com a calagem e que poderá ser aproveitada pela cultura com o passar do tempo.

Quadro 12. Cortes efetuados nas superfícies (Figuras 7 e 8) para avaliar o teor¹ de manganês no solo, pelo Mehlich-3 e DTPA em função das doses² de manganês, dentro de cada saturação por bases (y_{Vi}), nas Fazendas Parnaíba e Agroserra, na safra 2001/02

Faz. Parnaíba		Faz Agroserra	
Mehlich-3	DTPA	Mehlich-3	DTPA
$y_{30} = 3,5756 + 0,1861x$	$y_{30} = 1,2636 + 0,0389x$	$y_{30} = 3,9779 + 0,1025x$	$y_{30} = 1,4111 + 0,0166x$
$y_{40} = 4,1741 + 0,1861x$	$y_{40} = 1,1426 + 0,0323x$	$y_{40} = 4,4249 + 0,1025x$	$y_{40} = 1,3666 + 0,0150x$
$y_{50} = 4,7726 + 0,1861x$	$y_{50} = 1,0216 + 0,0258x$	$y_{50} = 4,8718 + 0,1025x$	$y_{50} = 1,3220 + 0,0134x$
$y_{60} = 5,3712 + 0,1861x$	$y_{60} = 0,9006 + 0,0193x$	$y_{60} = 5,3187 + 0,1025x$	$y_{60} = 1,2775 + 0,0118x$
$y_{70} = 5,9697 + 0,1861x$	$y_{70} = 0,7796 + 0,0128x$	$y_{70} = 5,7656 + 0,1025x$	$y_{70} = 1,2329 + 0,0102x$
$y_{80} = 6,5682 + 0,1861x$	$y_{80} = 0,6586 + 0,0062x$	$y_{80} = 6,2125 + 0,1025x$	$y_{80} = 1,1883 + 0,0086x$

¹. y, em mg/dm³ de Mn; ². x, em kg/ha de Mn

4.2.3 Cobre

4.2.3.1 Mehlich-1

Assim como foi observado para Zn, os teores de Cu no solo argiloso foram menores do que no solo textura média; porém, em ambas as localidades, os teores de Cu foram inferiores a 5,5 mg/dm³ (Figuras 9 e 10). O efeito da saturação por bases nos “teores_{iniciais}” de Cu não foi significativo para o solo textura média, no entanto, no argiloso verificou-se efeito positivo na safra 2000/01 e negativo na

safrinha seguinte, embora as alterações no teor inicial de Cu tenham sido pouco expressivas (Quadro 13).

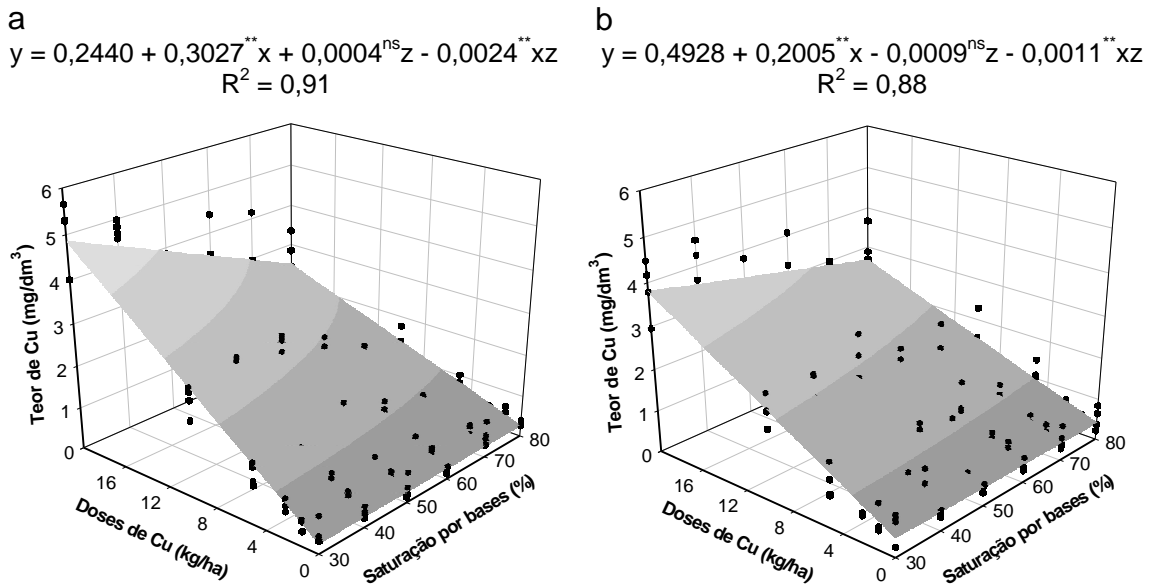


Figura 9. Teores de cobre no solo pelo Mehlich-1 em função das doses de cobre aplicadas (x) e da saturação por bases (z). Faz. Parnaíba: safra 2000/01 (a); safra 2001/02 (b).

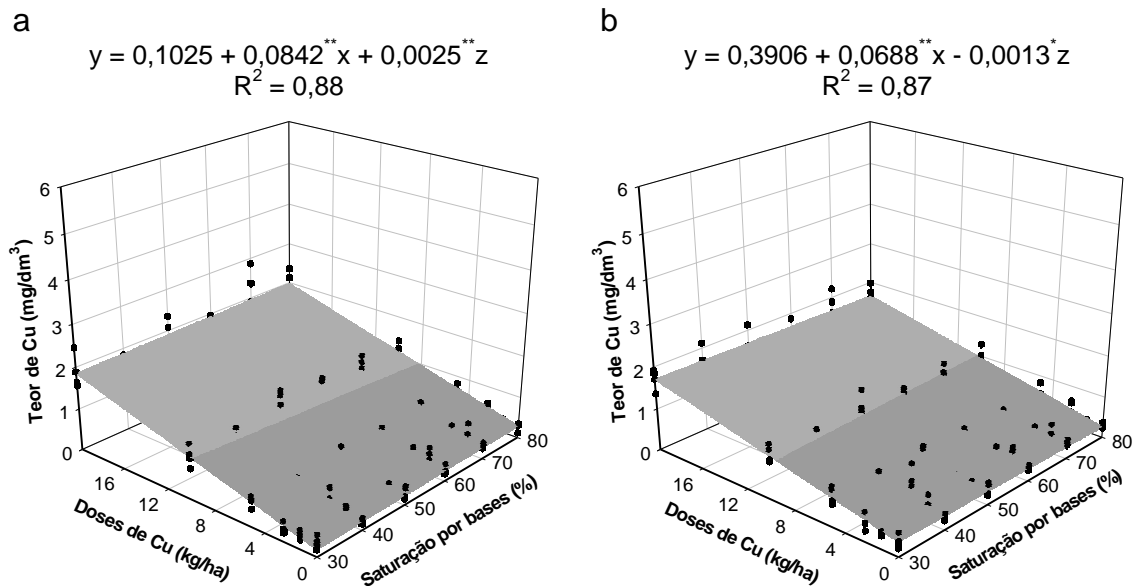


Figura 10. Teores de cobre no solo pelo Mehlich-1 em função das doses de cobre aplicadas (x) e da saturação por bases (z). Faz. Agroserra: safra 2000/01 (a); safra 2001/02 (b).

A interação entre as doses de Cu e a saturação por bases, na declividade da reta que relaciona o teor de Cu pelo Mehlich-1, foi significativa somente no

solo textura média; onde as taxas de recuperação observadas variaram de 11,5 a 5,4 % na safra 2000/01 e de 8,4 a 5,7 % na safra seguinte. No solo argiloso, as taxas de recuperação de Cu não variaram com o aumento da saturação por bases (Quadro 13).

De acordo com Embrapa (2001), o teor crítico de Cu para solos da região central do Brasil é de 0,8 mg/dm³; dessa forma, os “teores_{iniciais}” de Cu, em ambos os solos, foram inferiores a esse valor em todas as saturações, evidenciando, assim, a maior resposta da soja à aplicação de Cu.

Quadro 13. Cortes efetuados nas superfícies (Figuras 9 e 10) para avaliar o teor¹ de cobre no solo, pelo Mehlich-1 em função das doses² de cobre, dentro de cada saturação por bases (y_{Vi}), nas Fazendas Parnaíba e Agroserra, nas duas safras

Faz. Parnaíba		Faz Agroserra	
Safra 2000/01	Safra 2001/02	Safra 2000/01	Safra 2001/02
$y_{30} = 0,2565 + 0,2294x$	$y_{30} = 0,4644 + 0,1681x$	$y_{30} = 0,1768 + 0,0842x$	$y_{30} = 0,3519 + 0,0688x$
$y_{40} = 0,2607 + 0,2050x$	$y_{40} = 0,4549 + 0,1572x$	$y_{40} = 0,2016 + 0,0842x$	$y_{40} = 0,3390 + 0,0688x$
$y_{50} = 0,2649 + 0,1806x$	$y_{50} = 0,4454 + 0,1464x$	$y_{50} = 0,2264 + 0,0842x$	$y_{50} = 0,3261 + 0,0688x$
$y_{60} = 0,2690 + 0,1561x$	$y_{60} = 0,4360 + 0,1356x$	$y_{60} = 0,2512 + 0,0842x$	$y_{60} = 0,3132 + 0,0688x$
$y_{70} = 0,2732 + 0,1317x$	$y_{70} = 0,4265 + 0,1248x$	$y_{70} = 0,2760 + 0,0842x$	$y_{70} = 0,3003 + 0,0688x$
$y_{80} = 0,2773 + 0,1072x$	$y_{80} = 0,4170 + 0,1139x$	$y_{80} = 0,3008 + 0,0842x$	$y_{80} = 0,2874 + 0,0688x$

¹. y, em mg/dm³ de Cu; ². x, em kg/ha de Cu

4.2.3.2 Mehlich-3 e DTPA

Nos dois solos estudados, os teores de Cu pelo Mehlich-3 e DTPA (Figuras 11 e 12), foram semelhantes aos obtidos pelo Mehlich-1, principalmente no solo argiloso, onde o Mehlich-1 teve seu poder de extração desgastado. No solo textura média, os teores de Cu pelo DTPA foram inferiores aos obtidos pelos demais métodos, principalmente, nas saturações mais elevadas indicando, novamente, a maior sensibilidade desse método quanto às alterações na disponibilidade de Cu com o aumento do pH do solo.

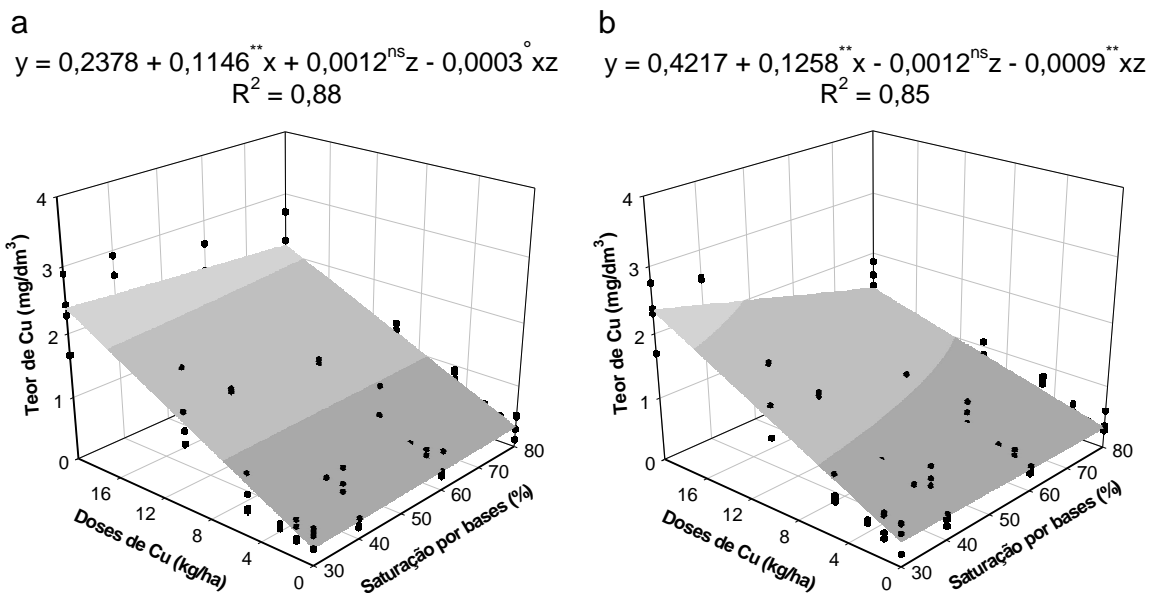


Figura 11. Teores de cobre no solo em função das doses de cobre aplicadas (x) e da saturação por bases (z). Faz. Parnaíba, safra 2001/02: Mehlich-3 (a); DTPA (b).

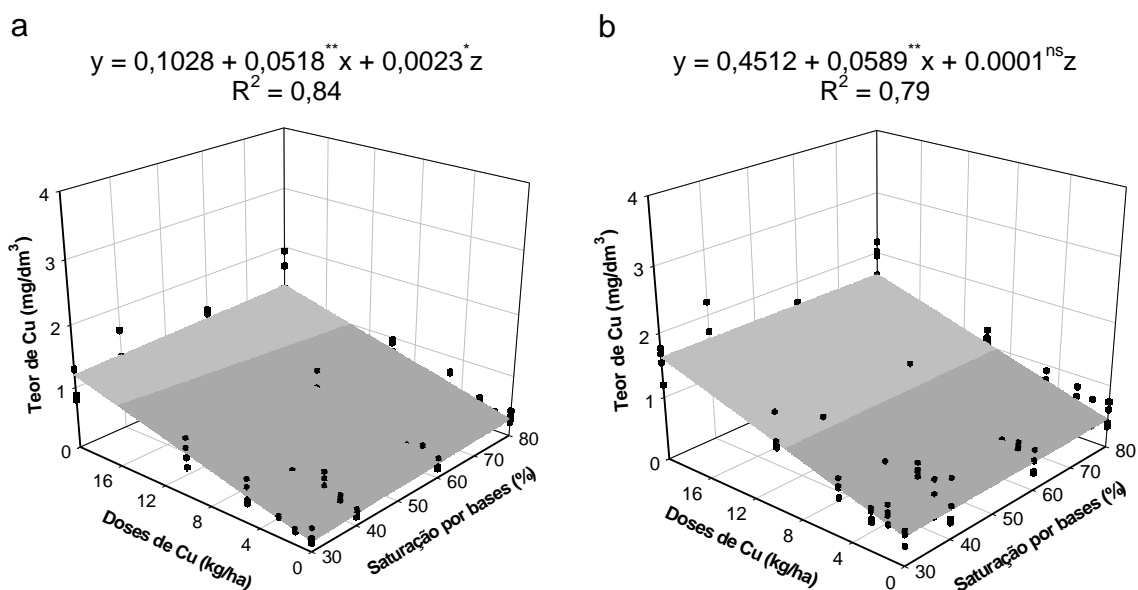


Figura 12. Teores de cobre no solo em função das doses de cobre aplicadas (x) e da saturação por bases (z). Faz. Agroserra, safra 2001/02: Mehlich-3 (a); DTPA (b).

O efeito da saturação por bases sobre os “teores_{iniciais}” de Cu, identificados nos cortes das superfícies não foi significativo no solo textura média, para os dois métodos avaliados, ao passo que, no argiloso, esse efeito foi significativo somente para o Mehlich-3. A interação entre as doses de Cu e a saturação por bases, na taxa de recuperação de Cu pelo Mehlich-3 e pelo DTPA, foi significativa

somente no solo textura média (Figura 11); no solo argiloso, novamente as taxas de recuperação de Cu não foram alteradas em relação às mudanças de pH do solo (Figura 12). Dessa forma, as taxas de recuperação de Cu, no solo textura média, oscilaram de 5,2 a 4,4 % e de 4,9 a 2,7 %, respectivamente para o Mehlich-3 e DTPA com as alterações na saturação por bases, ao passo que, no argiloso os dois métodos recuperaram, aproximadamente, 2,8 % do Cu aplicado (Quadro 14).

Quadro 14. Cortes efetuados nas superfícies (Figuras 11 e 12) para avaliar o teor¹ de cobre no solo, pelo Mehlich-3 e DTPA em função das doses² de cobre, dentro de cada saturação por bases (y_{Vi}), nas Fazendas Parnaíba e Agroserra, na safra 2001/02

Faz. Parnaíba		Faz Agroserra	
Mehlich-3	DTPA	Mehlich-3	DTPA
$y_{30} = 0,2727 + 0,1047x$	$y_{30} = 0,3849 + 0,0988x$	$y_{30} = 0,1709 + 0,0518x$	$y_{30} = 0,4543 + 0,0589x$
$y_{40} = 0,2843 + 0,1014x$	$y_{40} = 0,3726 + 0,0899x$	$y_{40} = 0,1936 + 0,0518x$	$y_{40} = 0,4554 + 0,0589x$
$y_{50} = 0,2959 + 0,0981x$	$y_{50} = 0,3603 + 0,0809x$	$y_{50} = 0,2163 + 0,0518x$	$y_{50} = 0,4564 + 0,0589x$
$y_{60} = 0,3076 + 0,0948x$	$y_{60} = 0,3480 + 0,0719x$	$y_{60} = 0,2390 + 0,0518x$	$y_{60} = 0,4575 + 0,0589x$
$y_{70} = 0,3192 + 0,0915x$	$y_{70} = 0,3357 + 0,0629x$	$y_{70} = 0,2618 + 0,0518x$	$y_{70} = 0,4586 + 0,0589x$
$y_{80} = 0,3308 + 0,0882x$	$y_{80} = 0,3234 + 0,0539x$	$y_{80} = 0,2845 + 0,0518x$	$y_{80} = 0,4596 + 0,0589x$

¹. y, em mg/dm³ de Cu; ². x, em kg/ha de Cu;

Os resultados obtidos para os três micronutrientes considerados até então mostraram que as interações são mais evidentes no solo textura média, ou seja, é mais fácil predizer ou mesmo modelar as alterações que ocorrem na disponibilidade de Zn, Mn e Cu com a aplicação de calcário nesse solo do que no argiloso, que apresenta maior tamponamento às alterações induzidas pela calagem.

Além disso, conhecendo-se a dinâmica das reações que ocorrem em um solo com menor teor de argila e sabendo manejá-lo de forma adequada, este solo apresenta potencial de produção superior a um com textura argilosa, onde existe maior competição entre a planta e o solo pelos nutrientes. Esse fato foi detalhado no item 4.1, em que as produtividades de soja obtidas no solo textura média, na maioria das vezes, foram iguais ou superiores às obtidas no solo argiloso.

4.2.4 Boro

Os resultados obtidos para o B demonstraram que o método utilizado (Água Quente), não distinguiu o efeito das doses de B, a partir do quarto cultivo (safra 2000/01), em ambas as localidades (Figuras 13 e 14). Isso se deve, provavelmente, a lixiviação do B aplicado para camadas mais profundas no perfil do solo (Tanaka et al., 1993).

Como as declividades dos modelos ajustados para a taxa de recuperação de B não foram significativas, as superfícies ajustadas formam um plano em relação aos eixos das doses de B aplicadas (x) e da saturação por bases (z), sendo o valor desse plano equivalente à média dos teores de B observados.

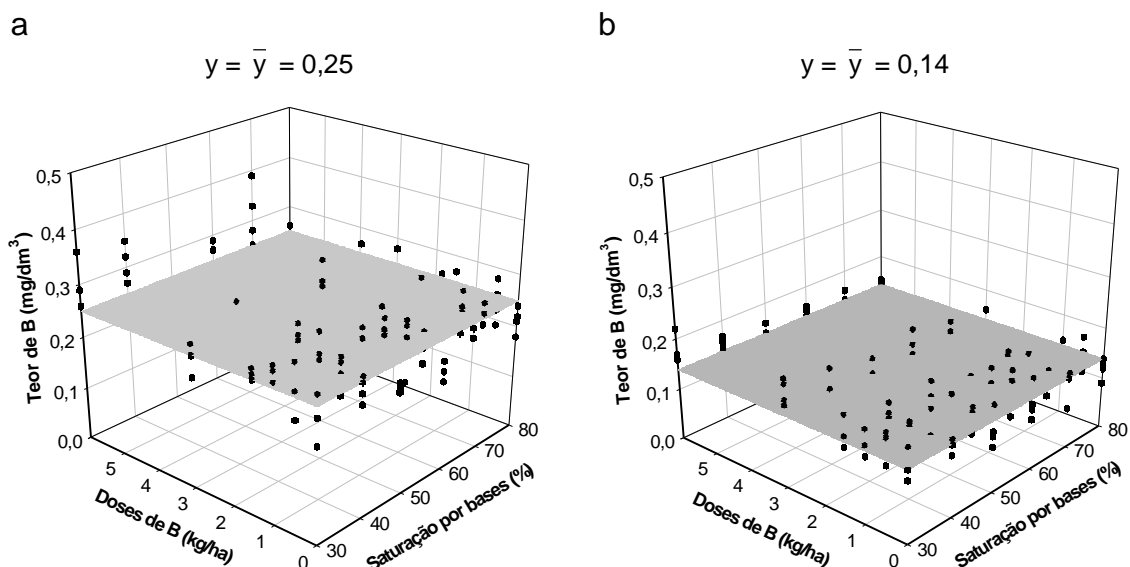


Figura 13. Teores de boro no solo pelo método da água quente em função das doses de boro aplicadas (x) e da saturação por bases (z). Faz. Parnaíba: safra 2000/01 (a); safra 2001/02 (b).

Analisando os teores médios de B, verifica-se que não existe diferença marcante entre os resultados obtidos no solo textura média e no argiloso; além disso, em ambos os solos, ocorreu decréscimo no teor médio de B de uma safra para a outra (44 % no textura média e 29 % no argiloso), porém essa redução no teor médio de B foi mais acentuada no solo textura média, confirmando a possibilidade do B ter lixiviado no perfil do solo.

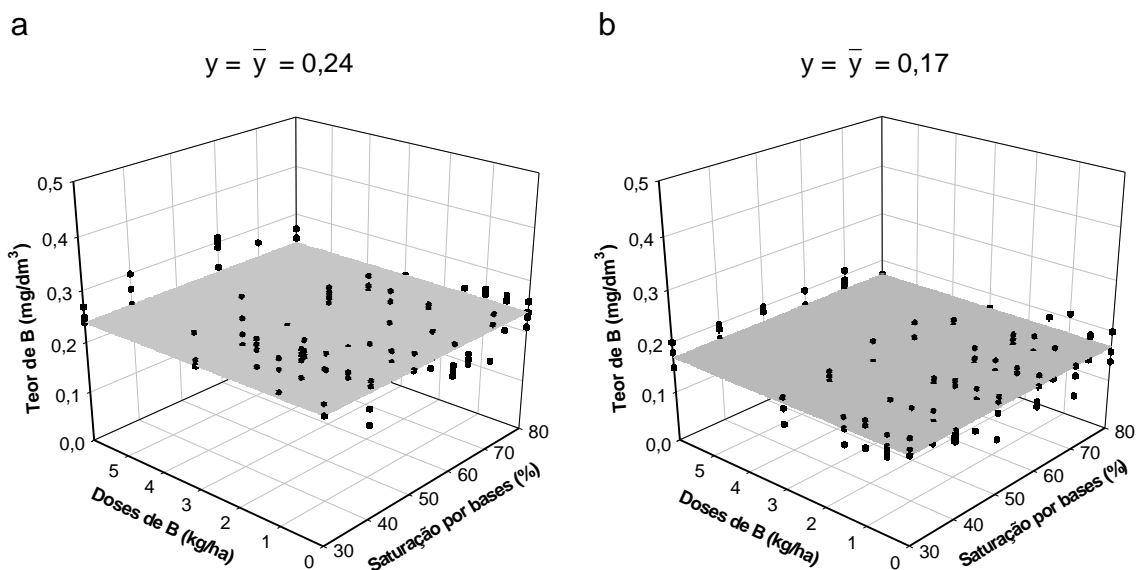


Figura 14. Teores de boro no solo pelo método da água quente em função das doses de boro aplicadas (x) e da saturação por bases (z). Faz. Agroserra: safra 2000/01 (a); safra 2001/02 (b).

Segundo Embrapa (2001), o NC de B para a soja cultivada em solos de cerrado é equivalente a 0,50 mg/dm³. Nos dois solos, os teores médios observados foram inferiores a esse NC, porém as respostas na produção de grãos com a aplicação de B foram muito pequenas indicando que, o método utilizado não avaliou eficientemente a disponibilidade do B para a soja. Esse fato será discutido detalhadamente no item 4.5.

4.3 Níveis críticos de Zn, Mn, Cu e B no solo

A partir dos modelos escolhidos e das respectivas doses recomendáveis (DRs) utilizadas nos cálculos dos níveis críticos (NCs), para ambas as localidades (Quadro 15), verificou-se que: 1. as DRs de Zn e Cu para o solo argiloso é maior do que para o solo textura média, ao passo que, para o Mn foi observado o inverso; 2. a DR para a segunda safra após a calagem (2001/02) foi menor que para a primeira safra (2000/01).

Como as taxas de recuperação de Zn, Mn e Cu por Mehlich-3 e DTPA, foram calculadas somente para a safra 2001/02, os NCs desses micronutrientes por estes extratores foram obtidos apenas para esta safra.

Quadro 15. Modelos de regressão para a produção de grãos (kg/ha) em função das doses dos micronutrientes (kg/ha) aplicadas e, doses recomendáveis de zinco, manganês, cobre e boro utilizadas para o cálculo dos níveis críticos desses micronutrientes, nas Fazendas Parnaíba e Agroserra, nas duas safras

Elemento	Safra	Saturação ¹ — % —	Modelo escolhido	DR ² — kg/ha —
Faz. Parnaíba				
Zn	2000/01	40	$y = 3.394,838 + 426,08^{**} \sqrt{x} - 86,868^{**} x$	0,90
	2001/02	—	—	—
Mn	2000/01	40	$y = 3.723,678 + 21,595^{\circ} x - 0,291^{\circ} x^2$	10,50
	2001/02	—	—	—
Cu	2000/01	80	$y = 3.783,278 + 220,032^{*} \sqrt{x} - 29,81^{ns} x$	1,08
	2001/02	30	$y = 3.266,876 + 304,655^{**} \sqrt{x} - 57,945^{**} x$	0,72
B	2000/01	—	—	—
	2001/02	—	—	—
Faz. Agroserra				
Zn	2000/01	70	$y = 3.071,800 + 144,451^{**} x - 8,066^{*} x^2$	4,15
	2001/02	60	$y = 3.120,207 + 61,484^{*} x - 3.356^{\circ} x^2$	2,04
Mn	2000/01	50	$y = 3.125,499 + 148,447^{*} \sqrt{x} - 15,822^{*} x$	1,90
	2001/02	—	—	—
Cu	2000/01	—	—	—
	2001/02	50	$y = 2.323,231 + 122,217^{(0,15)} \sqrt{x} - 7,22^{ns} x$	6,57
B	2000/01	40	$y = 2.840,670 + 42,383^{\circ} x$	2,35
	2001/02	40	$y = 2.524,409 + 199,599^{*} x - 27,160^{*} x^2$	1,37

¹. Saturação onde se obteve o modelo com maior coeficiente de determinação;

². Dose recomendada para obter 95 % da produção máxima;

4.3.1 Zinco

Para o solo textura média o valor da DR foi inferior a 1 kg/ha de Zn, ao passo que, no solo argiloso, as DRs foram iguais a 4,15 e 2,04 kg/ha, respectivamente, para as safras 2000/01 e 2001/02 (Quadro 15). Assim, no solo textura média, o NC obtido para o Mehlich-1 foi de 0,74 mg/dm³, valor semelhante ao obtido por Galvão (1993), em um Latossolo Vermelho-Amarelo, com 49 % de argila (0,80 mg/dm³). No solo argiloso, os NCs para o Mehlich-1 foram de 1,55 e 1,21 mg/dm³, respectivamente para as safras 2000/01 e 2001/02.

Do ponto de vista de dinâmica de extratores em solos com texturas distintas, os resultados obtidos para os NCs pelo Mehlich-1 são contrários aos observados comumente na literatura, ou seja, seriam esperados NCs maiores em solos de textura média a arenosa, dado o menor desgaste do extrator nesta condição. No entanto, ao avaliar os resultados para o Mehlich-1, em relação à probabilidade de se encontrar resposta da soja à aplicação de Zn em solos com diferentes texturas, observa-se maior possibilidade de resposta no solo de textura argilosa, ou seja, em um solo onde a competição entre o solo e a planta pelos nutrientes é mais acentuada. Dessa forma, tanto as DRs quanto os NCs tendem a serem mais elevados, se comparados aos obtidos em um solo onde o caráter “dreno” não é tão expressivo.

Na safra 2001/02, os NCs pelo Mehlich-3 e pelo DTPA, no solo argiloso, foram, respectivamente de 0,52 e 0,34 mg/dm³. Galvão (1993) obteve NC para o DTPA de 0,60 mg/dm³. Como os NCs calculados pelo método proposto por Alvarez V. (1995) estão diretamente associados à taxa de recuperação de um nutriente do solo por um método de extração, os NCs para o Mehlich-3 e DTPA foram baixos, visto que, as taxas de recuperação de Zn no solo argiloso por esses métodos foram muito baixas (3,4 e 1,5 %) (Quadro 10).

Como as taxas de recuperação foram calculadas em função também da saturação por bases, foi possível simular o comportamento dos NCs de Zn com as alterações na saturação (Figura 15).

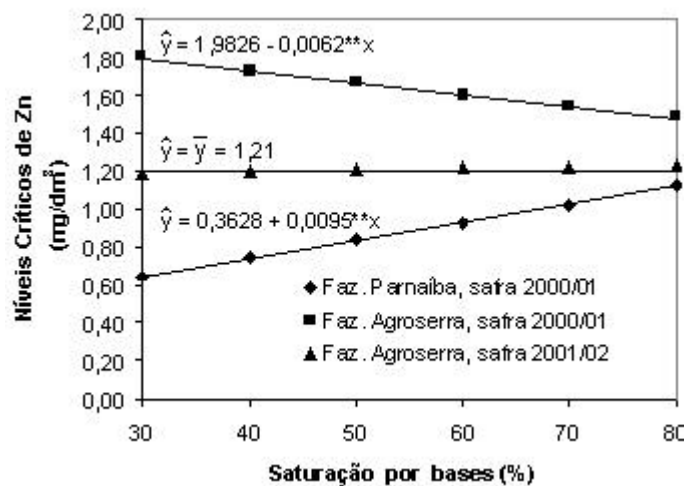


Figura 15. Níveis críticos de zinco pelo Mehlich-1 em função da saturação por bases. Faz. Parnaíba, safras 2000/01; Faz. Agroserra, safras 2000/01 e 2001/02.

No solo textura média, os NCs de Zn pelo Mehlich-1 aumentaram com a saturação, variando de 0,65 a 1,12 mg/dm³, no entanto, no argiloso os NCs diminuíram na safra 2000/01 (1,80 a 1,48 mg/dm³), e mantiveram-se constantes na safra seguinte (Figura 15). Os NCs pelo Mehlich-3 e DTPA no solo argiloso não foram influenciados, significativamente, pelas alterações na saturação por bases.

4.3.2 Manganês

Como já foi visto, o Mn foi o elemento que menos influenciou a produção de grãos de soja. Dessa forma, foi possível calcular os níveis críticos de Mn apenas pelo Mehlich-1, uma vez que, respostas a esse micronutriente só ocorreram na safra 2000/01 (Quadro 6). As DRs para os solos textura média e argiloso foram, respectivamente de 10,5 e 1,9 kg/ha de Mn (Quadro 15).

Os NCs de Mn obtidos para o Mehlich-1 foram 7,63 e 8,74 mg/dm³, respectivamente, para os solos de textura média e argilosa. Apesar da grande diferença entre as DRs para cada solo, os NCs foram muito semelhantes, e novamente o NC foi maior no solo argiloso, reforçando o observado e discutido para o Zn (Figura 15).

A simulação do comportamento dos NCs em função dos níveis de saturação por bases (Figura 16) demonstrou o aumento no NC de Mn com a saturação, principalmente, no solo de textura argilosa onde se observou, também, efeito positivo entre a saturação e os “teores_{iniciais}” de Mn (item 4.2.2). No solo textura média, os NCs também aumentaram, porém, em menor proporção.

Os NCs para o Mehlich-1 obtidos na saturação 30 %, ou seja, sem a influência do Mn do calcário, foram superiores em relação ao NC de 5,0 mg/dm³ proposto por Embrapa (2001). Assim, o problema em estimar o NC de um nutriente a partir de uma curva de resposta com pequeno incremento de produção é a possibilidade de obter valores pouco sensíveis, ou seja, os teores de Mn da dose zero foram suficientes para manter a produtividade da cultura.

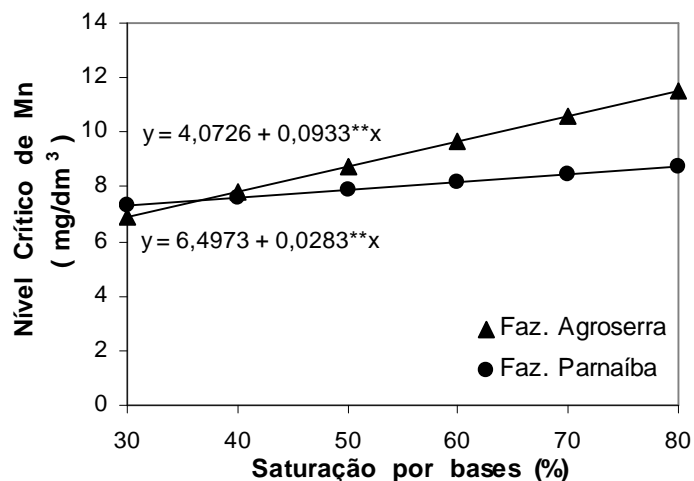


Figura 16. Níveis críticos de manganês pelo Mehlich-1 em função da saturação por bases. Fazendas Agroserra e Parnaíba, safra 2000/01.

4.3.3 Cobre

O Cu foi o micronutriente que apresentou maior efeito na produtividade da soja, tanto no solo argiloso quanto no textura média, evidenciando a importância desse micronutriente para a soja cultivada em solos do cerrado.

No solo textura média, foi possível calcular os NCs de Cu para o Mehlich-1 nas duas safras avaliadas e, também, para o Mehlich-3 e DTPA na última safra, sendo as doses recomendáveis de 1,08 e 0,72 kg/ha de Cu, respectivamente, para as safras 2000/01 e 2001/02 (Quadro 15); no entanto, no solo argiloso, só foi possível obter os NCs na última safra.

Dessa forma, os NCs de Cu para o Mehlich-1, no solo de textura média foram: 0,39 e 0,59 mg/dm³, respectivamente, para as safras 2000/01 e 2001/02. No solo argiloso, o NC foi de 0,78 mg/dm³, valor esse novamente superior aos obtidos para o solo de textura média, assim como foi observado para o Zn e para o Mn.

Os NCs para o Mehlich-3 e DTPA, no solo textura média, foram respectivamente de 0,35 e 0,46 mg/dm³, ao passo que, no argiloso os valores obtidos foram: 0,56 e 0,84 mg/dm³. Comparando os NCs pelos três métodos de extração, verificou-se que no solo textura média o valor obtido segue a seguinte ordem de extratores: Mehlich-1 > DTPA > Mehlich-3. Entretanto, no solo argiloso a ordem obtida foi DTPA > Mehlich-1 > Mehlich-3, evidenciando a maior

capacidade de extração de Cu pelo DTPA em solos com maior teor de argila e matéria orgânica (mais tamponados).

Os NCs de Cu foram os que menos oscilaram em relação às alterações na saturação por bases. Para o Mehlich-1, observou-se ligeiro decréscimo nos NCs com o aumento da saturação (Figura 17), ao passo que, para o Mehlich-3 (Figura 18) verificou-se um ligeiro acréscimo nos valores dos NCs. No caso do DTPA, no solo argiloso, os NCs mantiveram-se constantes e, no solo textura média, houve um decréscimo de seus valores com a saturação por bases (Figura 18).

Os NCs obtidos para Zn, Mn e Cu para as saturações entre 40 e 80 %, principalmente para o Mehlich-1, são aplicáveis às condições da região sul do Maranhão, uma vez que os cálculos consideraram a contribuição desses micronutrientes no calcário aplicado e, dessa forma, esses valores não devem ser generalizados, pois os resultados obtidos são, em parte, devidos às características do calcário utilizado. No entanto, os resultados obtidos na saturação equivalente a 30 % referem-se às condições originais do solo, sem interferência da calagem e, provavelmente, podem ser extrapolados para outras condições.

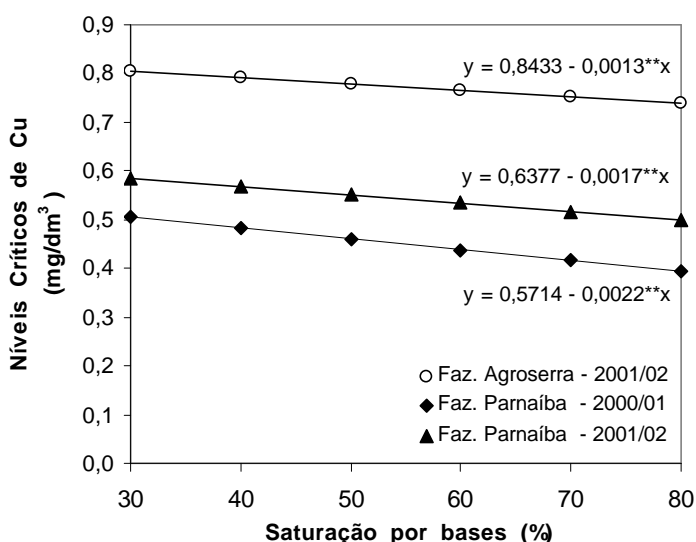


Figura 17. Níveis críticos de cobre pelo Mehlich-1 em função das saturações por bases. Faz. Parnaíba, safras 2000/01 e 2001/02; Faz. Agroserra, safra 2001/02.

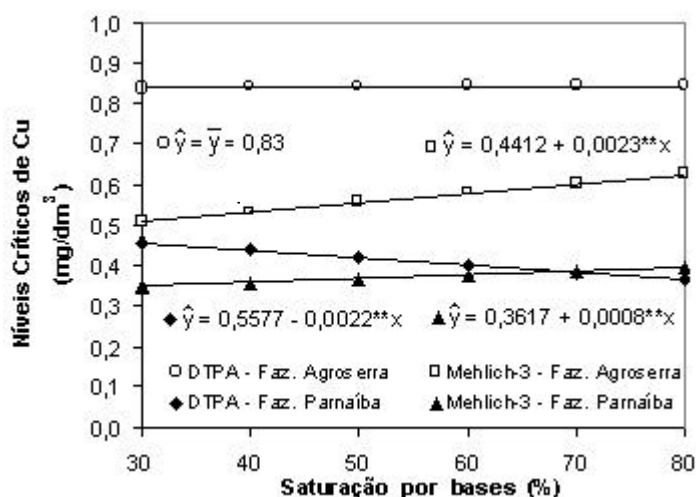


Figura 18. Níveis críticos de cobre para o Mehlich-3 e DTPA em função das saturações por bases, nas Fazendas Parnaíba e Agroserra, safra 2001/02.

4.3.4 Boro

Os NCs de B não foram calculados, uma vez que não se obtiveram modelos significativos que relacionassem o teor recuperado em função das doses aplicadas, o que impossibilita a determinação dos níveis críticos pelo método de cálculo adotado. Poder-se-ia utilizar as médias dos teores pelo método utilizado, ou mesmo, os teores de B referente à dose zero como níveis críticos, pois ambos se aproximam do nível crítico de $0,2 \text{ mg/dm}^3$ de B obtido por Buzetti et al. (1990), Galvão (1990) e Galvão (1991), porém a utilização desses valores seria uma medida especulativa sem caráter científico.

4.4 Conteúdo de Zn, Mn, Cu e de B na parte aérea de soja

A produção de matéria seca (MS) das plantas de soja foi avaliada na safra 2001/02 e foi observado efeito significativo das doses dos micronutrientes sobre esta variável somente no experimento com Cu, em ambas as localidades e no experimento com B, na Faz. Parnaíba. Entretanto, observou-se, em todos os experimentos, efeito significativo para as doses dos micronutrientes sobre seus teores na parte aérea da soja; dessa forma, o conteúdo de Zn, Mn, Cu e de B nas

plantas também foi significativamente influenciado pelas doses dos micronutrientes.

Foram ajustados modelos de regressão linear múltipla para avaliar o acúmulo dos micronutrientes estudados em função das doses dos micronutrientes e da saturação por bases, uma vez que essa informação será utilizada para avaliar a eficiência dos extratores testados.

4.4.1 Zinco

Foi possível verificar que no solo textura média houve maior acúmulo de Zn que no argiloso; além disso, observou-se com o aumento da saturação por bases, acentuado decréscimo no conteúdo Zn e na declividade da reta que relaciona o conteúdo de Zn em função das doses aplicadas, no entanto, mesmo na saturação mais elevada (80 %) essa declividade foi positiva (Figura 19a). No solo argiloso ocorreu o inverso, ou seja, verificou-se um pequeno aumento no conteúdo de Zn com a saturação e a declividade manteve-se constante em relação às alterações na saturação por bases (Figura 19b).

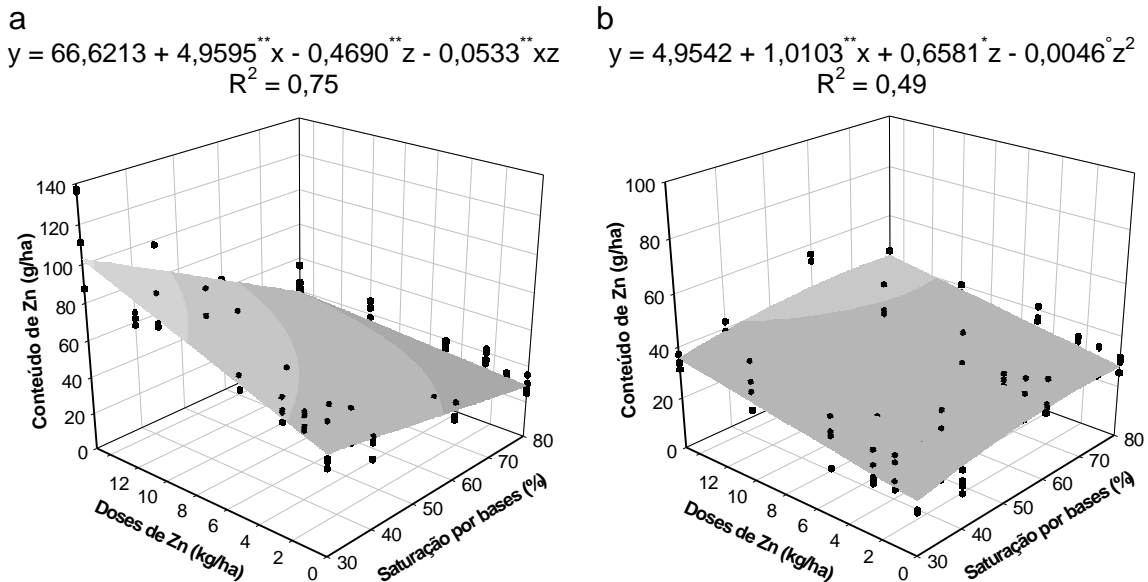


Figura 19. Conteúdo de zinco na planta em função das doses de zinco aplicadas (x) e da saturação por bases (z), na safra 2001/02. Faz. Parnaíba (a); Faz. Agroserra (b).

O aumento do conteúdo de Zn com a saturação, verificado no solo argiloso, foi proporcionado pelo aumento na produção de matéria seca das plantas com a

calagem, gerando assim maiores acúmulos de Zn em saturações superiores a 60 % (Figura 20a). A grande diferença para o conteúdo de Zn na planta entre os solos estudados deve-se, principalmente, a maior produção de matéria seca das plantas no solo textura média em relação ao argiloso; além disso, os teores de Zn nas plantas cultivadas no solo textura média foram mais elevados nas saturações 30 e 40 %, embora semelhantes nas saturações mais elevadas (Figura 20b).

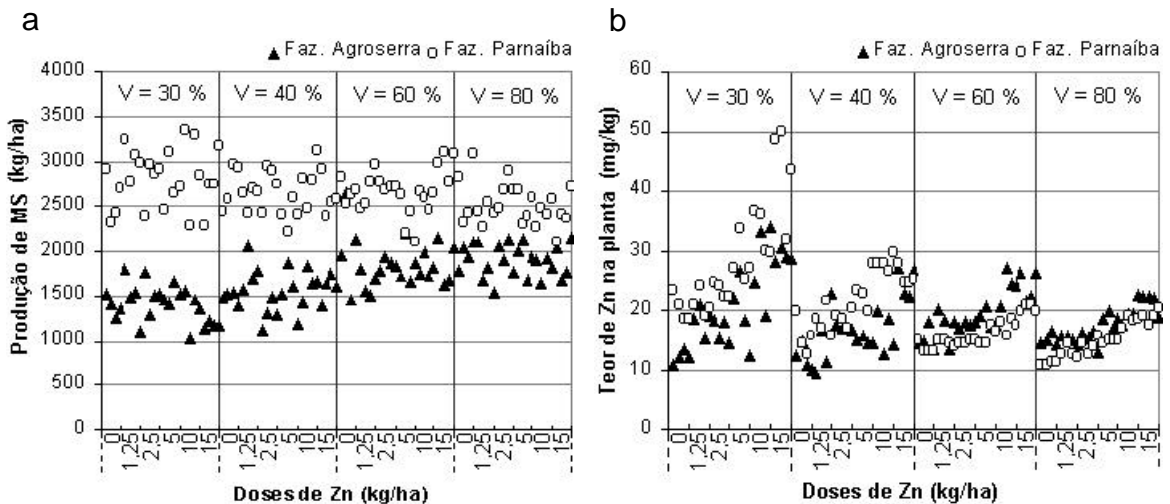


Figura 20. Produção de matéria seca (a) e teores de zinco na parte aérea da planta (b) em função das doses de zinco aplicadas e da saturação por bases. Safra 2001/02. Fazendas Agroserra e Parnaíba.

4.4.2 Manganês

O acúmulo de Mn na parte aérea da planta foi fortemente influenciado pelas alterações no pH do solo proporcionadas pela calagem, principalmente no solo textura média, com menor capacidade tampão (Figura 21). Assim, como foi observado para o Zn, verificou-se também para o Mn maior acúmulo nas plantas cultivadas no solo textura média, estando esse efeito diretamente associado à maior produção de matéria seca das plantas nesse solo (Figura 22a), uma vez que os teores de Mn na parte aérea, nos dois solos, foram semelhantes para todas as saturações (Figura 22b).

Abreu et al. (1996) sugeriram como concentração crítica de Mn na parte aérea das plantas de soja o valor de 20 mg/kg de Mn. No solo textura média, os teores de Mn observados foram inferiores a 20 mg/kg nos dois últimos níveis de

saturação e no argiloso, somente no último nível de saturação (Figura 22b). Além disso, sintomas claros de deficiência de Mn foram observados nessas parcelas, principalmente, no solo de textura média. Novais et al. (1989) também verificaram sintomas de deficiência de Mn quando o teor nas plantas de soja foi inferior a 20 mg/kg, porém, a acidificação do solo de pH 6,7 (valor original) para 5,9 com aplicação de ácido sulfúrico ($0,75 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) proporcionou o desaparecimento dos sintomas.

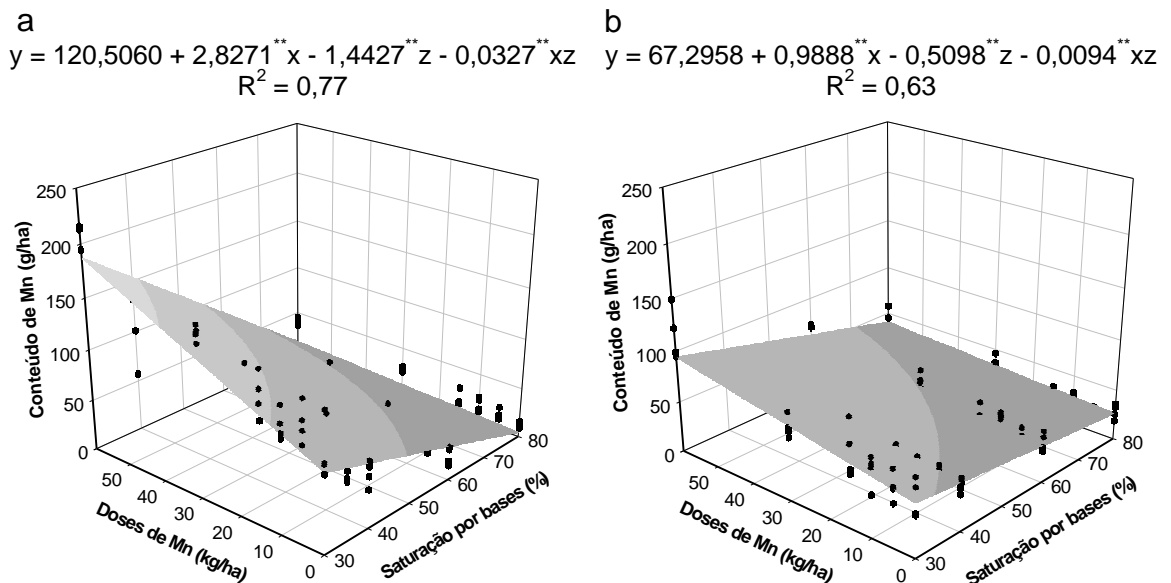


Figura 21. Conteúdo de manganês na planta em função das doses de manganês aplicadas (x) e da saturação por bases (z), na safra 2001/02. Faz. Parnaíba (a); Faz. Agroserra (b).

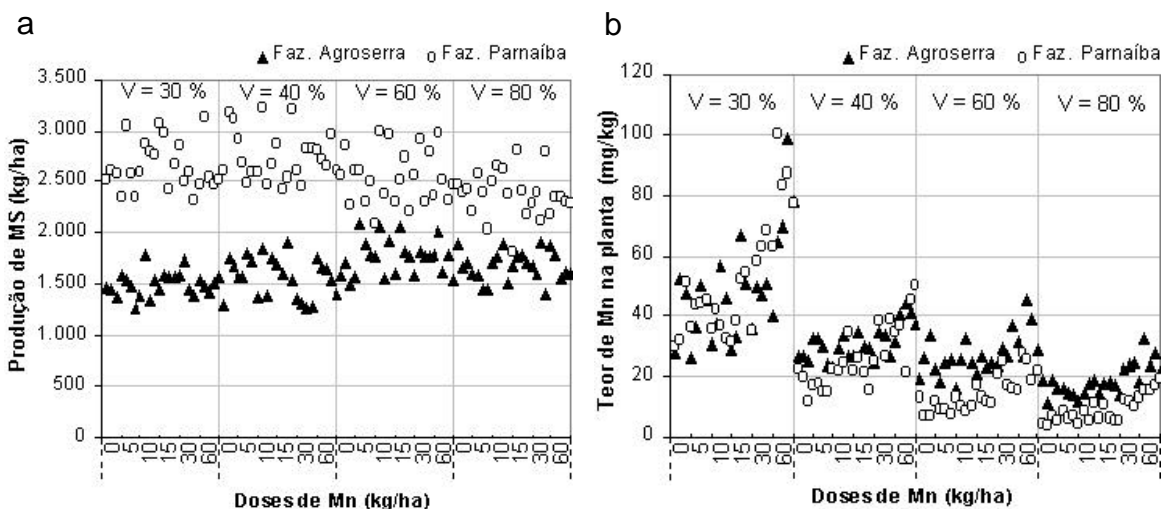


Figura 22. Produção de matéria seca (a) e teores de manganês na parte aérea da planta (b) em função das doses de manganês aplicadas e da saturação por bases. Safra 2001/02. Fazendas Agroserra e Parnaíba.

Apesar dos sintomas de deficiência de Mn e do baixo acúmulo de Mn na parte aérea das plantas nas saturações mais elevadas, não foi observado efeito das doses de Mn na produção de grãos (Quadro 6), ao contrário, no solo argiloso ocorreu incremento na produção de grãos com a aplicação de calcário.

4.4.3 Cobre

Também para este micronutriente, houve maior acúmulo nas plantas cultivadas no solo textura média em comparação ao argiloso (Figura 23). Essa diferença entre solos deve-se a maior produção de matéria seca da soja (Figura 24a) no solo textura média, uma vez que os teores de Cu na planta foram semelhantes em ambos os solos (Figura 24b).

Nos dois solos foi verificado decréscimo no conteúdo de Cu, referente a dose zero, com o aumento da saturação; porém, esse decréscimo foi menos acentuado em relação ao observado para o Mn e para o Zn. Além disso, a interação entre doses de Cu e saturação foi significativa apenas no solo de textura média, com menor tamponamento e menor teor de matéria orgânica (Quadro 3) em comparação ao argiloso.

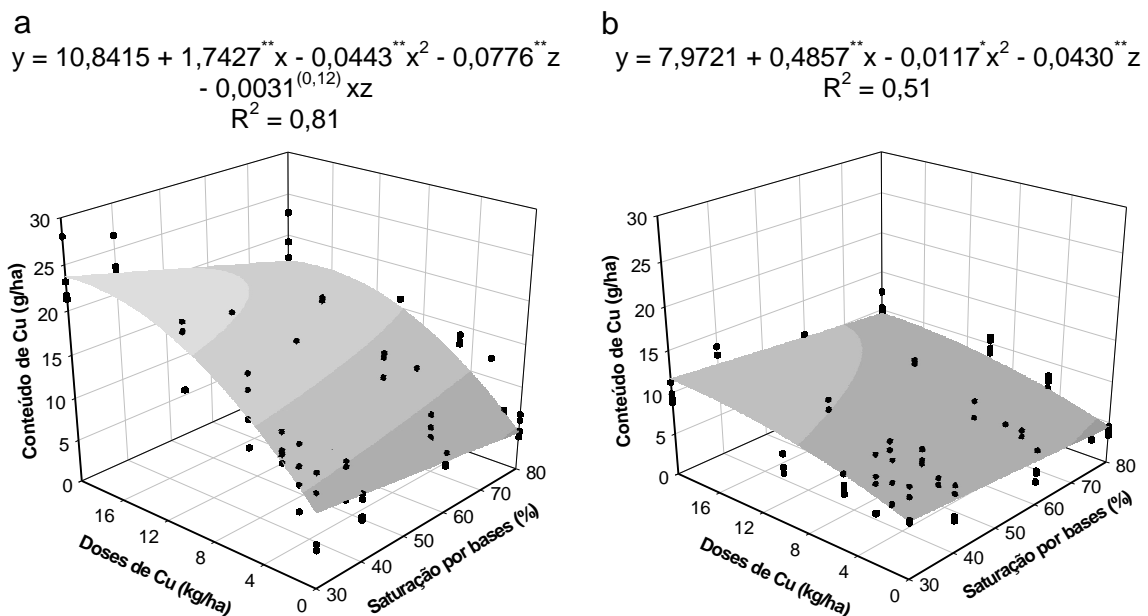


Figura 23. Conteúdo de cobre na planta em função das doses de cobre aplicadas (x) e da saturação por bases (z), na safra 2001/02. Faz. Parnaíba (a); Faz. Agroserra (b).

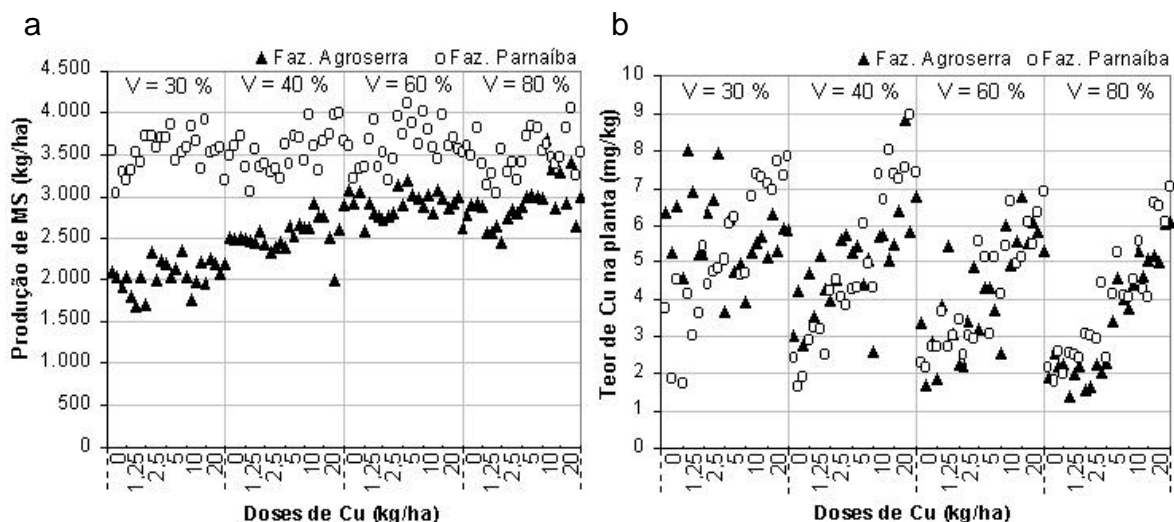


Figura 24. Produção de matéria seca (a) e teores de cobre na parte aérea da planta (b) em função das doses de cobre aplicadas e da saturação por bases. Safra 2001/02. Fazendas Agroserra e Parnaíba.

Makarim & Cox (1983) estudaram o efeito da aplicação de Cu nas culturas da soja, milho e arroz, em 15 solos da Carolina do Norte e obtiveram NCs de Cu na planta de 3,8; 1,8 e 3,8 mg/kg, respectivamente para soja, milho e arroz. Esses autores não verificaram sintomas de deficiência desse nutriente nas plantas de soja; no entanto, observaram para concentrações de Cu inferiores a 1,5 mg/kg, plantas com redução no crescimento. Em ambas as localidades, obteve-se teores de Cu na planta inferiores ao NC estabelecido por Makarim & Cox (1983), principalmente, nas saturações por bases de 60 e 80 % (Figura 24b); nesta condição, também não foram verificados sintomas de deficiência de Cu nas plantas.

Pode-se verificar que o Cu apresenta grande importância para a cultura da soja, na região em estudo, pois foi o único micronutriente para o qual verificou-se efeito das doses tanto para a produção de matéria seca (Figura 24a) quanto para a produção de grãos de soja (Quadro 7).

Dessa forma, ao comparar a nutrição de Mn com a de Cu para a soja, pode-se dizer que a deficiência de Mn observada com frequência nos dois solos não resultou em redução na produção de grãos, ao passo que, a “fome oculta” de Cu, uma vez que não foram observados sintomas de deficiência, é suficiente para causar redução na produção de grãos.

4.4.4 Boro

O efeito das doses de B sobre o seu acúmulo na planta não foi evidente como o observado para os demais micronutrientes (Figura 25). Apesar dos estimadores dos parâmetros dos modelos ajustados serem significativos, os coeficientes de determinação foram baixos, indicando que as doses aplicadas não apresentaram efeito residual prolongado no acúmulo de B na planta.

A produção de matéria seca foi mais elevada no solo textura média (Figura 26a), evidenciando o maior potencial de produção desse solo em comparação ao argiloso. No entanto, os teores na planta foram semelhantes nos dois solos estudados (Figura 26b).

Buzetti (1988), em experimento conduzido em casa de vegetação, encontrou níveis críticos de B nas plantas de soja de 56 e 42 mg/kg, respectivamente, para as doses zero e 2 t/ha de calcário, em um Latossolo Vermelho argiloso. No entanto, Mascarenhas et al. (1988) verificaram que as plantas de soja que apresentavam sintomas de deficiência de B tinham 10 mg/kg de B enquanto nas plantas sem sintomas, a concentração de B foi 19 mg/kg.

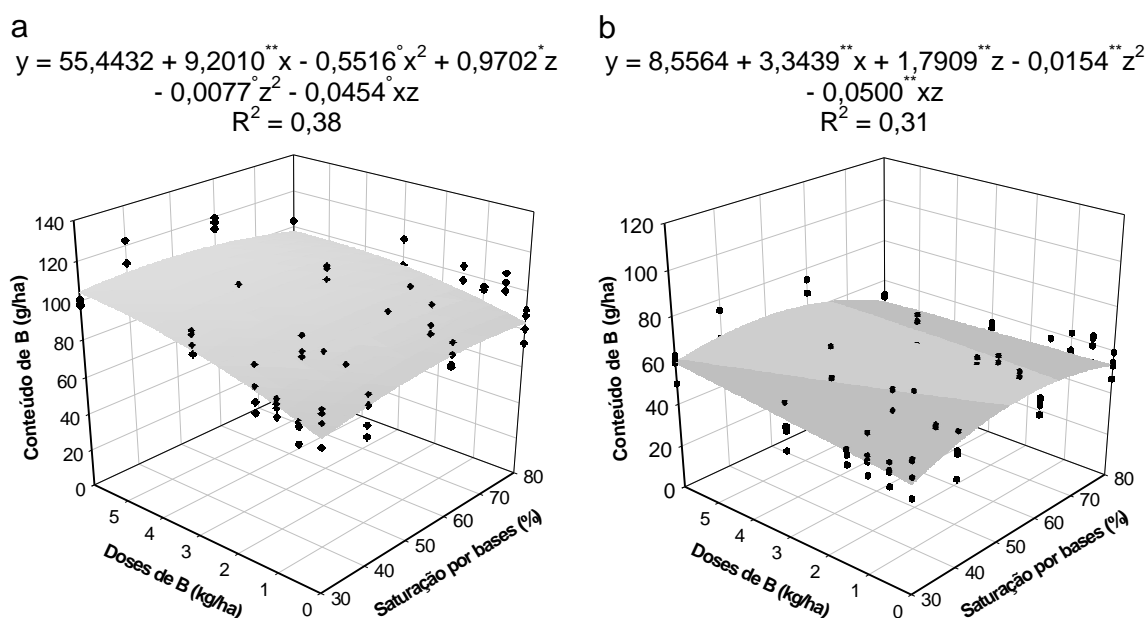


Figura 25. Conteúdo de boro na planta em função das doses de boro aplicadas (x) e da saturação por bases (z), na safra 2001/02. Faz. Parnaíba (a); Faz. Agroserra (b).

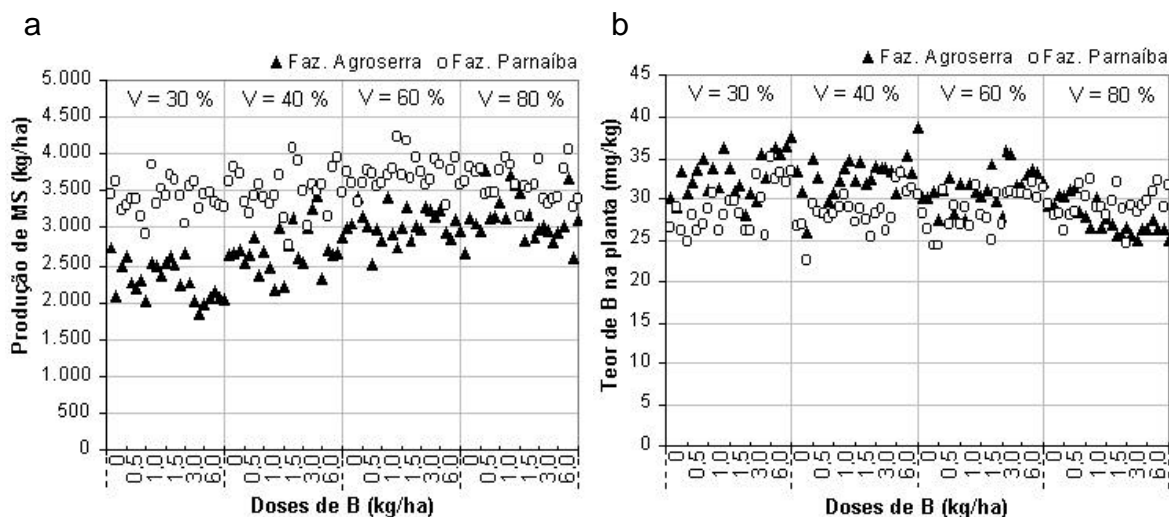


Figura 26. Produção de matéria seca (a) e teores de boro na parte aérea da planta (b) em função das doses de boro aplicadas e da saturação por bases. Safra 2001/02. Fazendas Agroserra e Parnaíba.

Os teores obtidos neste trabalho se enquadram melhor aos obtidos por Mascarenhas et al. (1988), uma vez que não foram verificados sintomas de deficiência e os teores foram superiores a 20 mg/kg de B, indicando que, o nível crítico de B na planta de soja cultivada em condições de campo é inferior ao obtido por Buzetti (1988).

4.5 Avaliação dos métodos de extração

Por definição, o melhor método de avaliação do teor de um nutriente disponível à planta é aquele em que o extraído melhor se correlaciona com o conteúdo deste nutriente na planta. Dessa forma, a avaliação dos métodos utilizados foi feita por meio de correlações entre o teor no solo pelos métodos e o conteúdo na planta.

4.5.1 Zinco

O DTPA foi o método de extração que apresentou melhor correlação com o conteúdo de Zn na planta, no solo textura média, indicando a capacidade desse método em avaliar as alterações da disponibilidade desse micronutriente com as

variações de pH (Quadro 16); o Mehlich-1 e Mehlich-3 apresentaram coeficientes de correlação menores. Bataglia & Raij (1994) observaram que especialmente no caso do Zn, o DTPA foi o único extrator que apresentou capacidade de discriminar o efeito da calagem na disponibilidade deste micronutriente.

No solo argiloso, os coeficientes de correlação foram, em geral, menores do que os observados no solo textura média, porém, neste solo, os coeficientes obtidos para os três métodos avaliados foram semelhantes. A proximidade dos coeficientes de correlação pode ser explicada pelo fato dos três métodos de extração terem apresentado comportamento semelhante em relação às alterações na saturação por bases (Figuras 2b e 4a,b), devido a menor magnitude de variação do pH nesse solo.

Apesar dos elevados coeficientes de correlação entre os métodos avaliados (Quadro 16), não se verificou equivalência entre os teores de Zn pelos métodos, utilizando o teste proposto Leite & Oliveira (2002). Dessa forma, foram ajustadas equações de regressão para o teor de Zn no solo entre os métodos avaliados (Quadro 17).

Quadro 16. Coeficientes de correlação¹ linear entre os teores de zinco no solo pelos métodos avaliados e o conteúdo nas folhas e nas plantas. Fazendas Agroserra e Parnaíba, safra 2001/02

	Mehlich-3	DTPA	Conteúdo de Zn nas folhas	Conteúdo de Zn nas plantas
Faz. Agroserra				
Mehlich-1	0,94 ^{**}	0,92 ^{**}	0,55 ^{**}	0,61 ^{**}
Mehlich-3	—	0,95 ^{**}	0,57 ^{**}	0,65 ^{**}
DTPA		—	0,59 ^{**}	0,64 ^{**}
Conteúdo de Zn nas folhas			—	0,52 ^{**}
Faz. Parnaíba				
Mehlich-1	0,91 ^{**}	0,87 ^{**}	0,53 ^{**}	0,54 ^{**}
Mehlich-3	—	0,92 ^{**}	0,58 ^{**}	0,58 ^{**}
DTPA		—	0,76 ^{**}	0,76 ^{**}
Conteúdo de Zn nas folhas			—	0,83 ^{**}

¹. Coeficientes de correlação obtidos a partir dos resultados observados para os níveis de saturação 30; 40; 60 e 80 %; ^{**} Significativo a 1 %;

Quadro 17. Equações¹ de regressão ajustadas entre os teores de zinco pelos métodos avaliados. Fazendas Agroserra e Parnaíba, safra 2001/02

Local	Equações	R ²
Faz. Agroserra	$\hat{Zn}_{Mehlich-3} = -0,0621 + 0,5090^{**} Zn_{Mehlich-1}$	0,88
	$\hat{Zn}_{DTPA} = 0,0795 + 0,2255^{**} Zn_{Mehlich-1}$	0,84
	$\hat{Zn}_{Mehlich-3} = -0,1709 + 2,0993^{**} Zn_{DTPA}$	0,90
Faz. Parnaíba	$\hat{Zn}_{Mehlich-3} = -0,4178 + 0,7828^{**} Zn_{Mehlich-1}$	0,83
	$\hat{Zn}_{DTPA} = -0,1242 + 0,3659^{**} Zn_{Mehlich-1}$	0,76
	$\hat{Zn}_{Mehlich-3} = 0,0531 + 1,8831^{**} Zn_{DTPA}$	0,84

¹. Modelos ajustados a partir dos resultados observados para os níveis de saturação 30; 40; 60 e 80 %;

** Significativo a 1 %

Outra informação verificada foi a correlação entre os conteúdos de Zn nas folhas e nas plantas ($r = 0,83$ e $r = 0,52$, respectivamente, para o solo textura média e argiloso), indicando que o conteúdo de Zn nas folhas pode ser utilizado em estudos de avaliação de extratores como uma medida indireta do conteúdo nas plantas, devido a maior facilidade em se determinar o conteúdo nas folhas. Além disso, os coeficientes de correlação entre os métodos estudados e o conteúdo de Zn nas folhas foram semelhantes aos obtidos com o conteúdo nas plantas (Quadro 16).

4.5.2 Manganês

As correlações obtidas indicaram melhor eficiência do DTPA em prever a disponibilidade do Mn para a cultura da soja, em solos com texturas distintas (Quadro 18), porém, os coeficientes de correlação foram menores no solo argiloso.

A grande diferença entre os coeficientes de correlação deve-se a capacidade do DTPA em avaliar o decréscimo da disponibilidade de Mn com o aumento do pH (Figuras 7b e 8b), assim como foi observado para o acúmulo na planta (Figura 21), fato esse, que não foi observado para os demais métodos, uma vez que os teores de Mn no solo aumentaram com a saturação por bases, devido à capacidade das soluções ácidas em avaliar o Mn aplicado como

“contaminante” no calcário, mesmo sofrendo desgaste por efeito do pH do solo (Figuras 5, 6, 7a e 8a).

Quadro 18. Coeficientes de correlação¹ linear entre os teores de manganês no solo pelos métodos avaliados e o conteúdo de manganês nas folhas e nas plantas. Fazendas Agroserra e Parnaíba, safra 2001/02

	Mehlich-3	DTPA	Conteúdo de Mn nas folhas	Conteúdo de Mn nas plantas
Faz. Agroserra				
Mehlich-1	0,84 ^{**}	0,48 ^{**}	0,08	0,03
Mehlich-3	—	0,49 ^{**}	0,16	0,15
DTPA		—	0,57 ^{**}	0,61 ^{**}
Conteúdo de Mn nas folhas			—	0,82 ^{**}
Faz. Parnaíba				
Mehlich-1	0,97 ^{**}	0,49 ^{**}	0,26 ^{**}	0,25 [*]
Mehlich-3	—	0,42 ^{**}	0,20 [*]	0,18 ^o
DTPA		—	0,81 ^{**}	0,83 ^{**}
Conteúdo de Mn nas folhas			—	0,93 ^{**}

¹. Coeficientes de correlação obtidos a partir dos resultados observados para os níveis de saturação 30; 40; 60 e 80 %; ^{**}; ^{*} e ^o Significativo a 1, 5 e 10 %, respectivamente;

Resultados semelhantes foram obtidos por Abreu et al. (1996), que verificaram a melhor eficiência do DTPA em relação ao Mehlich-1, em solos que receberam adubação com esse micronutriente, e por Rosolem et al. (1992), que também observaram ligeira superioridade do DTPA em relação ao Mehlich-1, quando os teores de Mn no solo foram alterados pela adição de sulfato de Mn.

Ao se comparar os coeficientes de correlação entre o conteúdo de Mn na planta e os teores pelo Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, somente na saturação 30 %, condição da não aplicação de calcário, os coeficientes obtidos foram, respectivamente, 0,89; 0,90 e 0,90 no solo textura média e 0,56; 0,60 e 0,64 no solo argiloso, resultados esses semelhantes aos observados na literatura (Rosolem et al., 1992; Abreu et al., 1994a; Abreu et al., 1996; Rodrigues et al., 2001).

Dessa forma, os coeficientes de correlação entre os métodos não foram elevados, exceto, para o Mehlich-1 e Mehlich-3, em que as equações ajustadas para os teores de Mn por esses métodos foram:

- Solo textura média: $\hat{Mn}_{\text{Mehlich-3}} = -0,2269 + 0,9098^{**} Mn_{\text{Mehlich-1}}$; $R^2 = 0,93$
- Solo argiloso: $\hat{Mn}_{\text{Mehlich-3}} = 1,8214 + 0,4880^{**} Mn_{\text{Mehlich-1}}$; $R^2 = 0,70$

Também foi observada estreita correlação entre o conteúdo de Mn nas plantas e nas folhas, a exemplo do verificado para o Zn; além disso, as correlações entre os teores de Mn no solo, pelos métodos testados, e o conteúdo de Mn nas folhas também foram semelhantes às obtidas com o conteúdo nas plantas, evidenciando, novamente, a possibilidade da utilização do conteúdo nas folhas como medida indireta da quantidade acumulada na planta. Assim, a utilização do conteúdo foliar poderá facilitar a condução de experimentos de correlação e calibração de métodos de extração, para os micronutrientes testados, em condições de campo, onde existe maior dificuldade para avaliar a produção de matéria seca das plantas.

Apesar da superioridade do DTPA para avaliar a disponibilidade do Mn no solo, principalmente onde foi aplicado calcário, os resultados obtidos com as soluções ácidas apresentam importante função neste caso, que é diagnosticar a quantidade de Mn que a soja poderá solubilizar do calcário aplicado, por meio da atividade de rizosfera (Godo & Reisenauer, 1980 e Jauregui & Reisenauer, 1982).

4.5.3 Cobre

No dois solos, os coeficientes de correlação entre os teores de Cu e o conteúdo desse micronutriente nas plantas foram semelhantes para os três métodos (Quadros 19). No entanto, novamente, os coeficientes foram mais elevados no solo textura média. Makarim & Cox (1983) também encontraram valores próximos para os coeficientes de correlação entre o conteúdo de Cu em plantas de soja e o teor de Cu no solo, sendo os valores obtidos iguais a 0,63^{*}; 0,60^{*} e 0,72^{**}, respectivamente, para os métodos Mehlich-1, Mehlich-3 e NH₄HCO₃-DTPA, em 15 solos da Carolina do Norte.

O efeito da calagem na redução do conteúdo de Cu na planta (Figura 23), não ocorreu na mesma intensidade do observado para o Mn e, esse fato, pode ser uma possível explicação para a semelhança dos resultados obtidos entre os métodos para o Cu.

Quadro 19. Coeficientes de correlação¹ linear entre os teores de cobre no solo pelos métodos avaliados e o conteúdo de cobre nas folhas e nas plantas. Fazendas Agroserra e Parnaíba, safra 2001/02

	Mehlich-3	DTPA	Conteúdo de Cu nas folhas	Conteúdo de Cu nas plantas
Faz. Agroserra				
Mehlich-1	0,94**	0,90**	0,78**	0,66**
Mehlich-3	—	0,91**	0,77**	0,60**
DTPA		—	0,74**	0,64**
Conteúdo de Cu nas folhas			—	0,76**
Faz. Parnaíba				
Mehlich-1	0,98**	0,95**	0,79**	0,80**
Mehlich-3	—	0,94**	0,75**	0,77**
DTPA		—	0,80**	0,81**
Conteúdo de Cu nas folhas			—	0,92**

¹. Coeficientes de correlação obtidos a partir dos resultados observados para os níveis de saturação 30; 40; 60 e 80 %; ** e * Significativo a 1e 5 %, respectivamente;

Em função dos métodos de extração terem apresentado coeficientes de correlação semelhantes em relação ao conteúdo de Cu na planta, a correlação entre os métodos foi elevada, embora tenham apresentado teores diferentes entre si. Assim, foram ajustadas equações relacionando os teores de Cu pelos métodos (Quadro 20).

Quadro 20. Equações¹ de regressão ajustadas entre os teores de cobre pelos métodos avaliados. Fazendas Agroserra e Parnaíba, safra 2001/02

Local	Equações	R ²
Faz. Agroserra	$\hat{Cu}_{Mehlich-3} = -0,0066 + 0,7384^{**} Cu_{Mehlich-1}$	0,89
	$\hat{Cu}_{DTPA} = 0,2088 + 0,8240^{**} Cu_{Mehlich-1}$	0,82
	$\hat{Cu}_{Mehlich-3} = -0,0999 + 0,7841^{**} Cu_{DTPA}$	0,84
Faz. Parnaíba	$\hat{Cu}_{Mehlich-3} = 0,0494 + 0,6321^{**} Cu_{Mehlich-1}$	0,95
	$\hat{Cu}_{DTPA} = 0,1238 + 0,5339^{**} Cu_{Mehlich-1}$	0,91
	$\hat{Cu}_{Mehlich-3} = -0,0173 + 1,0916^{**} Cu_{DTPA}$	0,89

¹. Modelos ajustados a partir dos resultados observados para os níveis de saturação 30; 40; 60 e 80 %; ** Significativo a 1 %

Em ambos os solos, os coeficientes de correlação entre o conteúdo de Cu na planta e na folha foram elevados (Quadro 19), confirmando o que foi discutido para o Zn e Mn. Além disso, verificou-se também que no solo argiloso os teores de Cu pelos três métodos se correlacionaram melhor com o conteúdo de Cu na folha do que na planta.

4.5.4 Boro

Como já foi visto (item 4.2.4), o método de extração de B utilizado não foi sensível às doses aplicadas, em ambos os solos; além disso, o acúmulo desse micronutriente na planta também não foi proporcional às doses de B aplicadas (Figura 25). Dessa forma, a correlação entre os teores no solo e na planta foi praticamente nula, em ambos os solos (Quadro 21).

Os resultados indicaram que após cinco cultivos consecutivos, os teores médios de B nos dois solos, se igualaram aos observados no início do experimento, ou seja, 0,14 e 0,17 mg/dm³ de B, respectivamente para o solo textura média e argiloso.

Quadro 21. Coeficientes de correlação linear¹ entre os teores de boro obtidos pelo método da água quente e o conteúdo de boro nas folhas e nas plantas. Fazendas Agroserra e Parnaíba, safra 2001/02

	Conteúdo de B nas folhas		Conteúdo de B nas plantas	
	Agroserra	Parnaíba	Agroserra	Parnaíba
B _(Água Quente)	0,07	0,06	0,06	0,01
Conteúdo de B nas folhas	—————		0,33**	0,28**

¹. Coeficientes de correlação obtidos a partir dos resultados observados para os níveis de saturação 30; 40; 60 e 80 %; ** e *; Significativo a 1 e 5 %;

O B na solução de solo ocorre predominantemente como H₃BO₃, um ácido muito fraco que, conseqüentemente, apresenta taxa de dissociação muito baixa o que faz do B um elemento altamente lixiviável no solo (Tanaka et al., 1993). Dessa forma, do total de B aplicado, parte pode ter lixiviado e acumulado em camadas subsuperficiais no perfil do solo. No entanto, não foi possível avaliar essa possibilidade no presente trabalho.

Mesmo com os teores de B no solo sendo considerados baixos por Embrapa (2001), não se verificaram respostas da soja à aplicação deste micronutriente (Quadro 8). Provavelmente, isso se deve a dois fatores: 1. lixiviação do B para camadas subsuperficiais do solo que não foram amostradas, todavia, o sistema radicular das plantas de soja exploram essas camadas; 2. as quantidades de B como “contaminante” nos fertilizantes e no calcário utilizados contribuiriam com a nutrição de B da cultura, embora o método utilizado (B_{Água Quente}) não avalie essas formas de B menos disponíveis.

4.6 Contribuição dos micronutrientes presentes no calcário e fertilizantes para a nutrição da soja

Como foi visto no decorrer da discussão deste trabalho, a resposta da soja à aplicação dos micronutrientes foi pouco expressiva, principalmente, no solo de textura média. Uma das principais razões para o inexpressivo efeito da aplicação de Zn, Mn, Cu e B na cultura da soja é a presença destes elementos nos fertilizantes e no calcário utilizados nos experimento (Quadro 22).

Os resultados indicaram que o calcário aplicado possui elevados teores de Mn, fato esse comprovado quando foram ajustados os modelos para a taxa de recuperação de Mn pelo Mehlich-1. Os demais micronutrientes foram verificados em menores concentrações, porém suficientes para contribuir parcialmente para a nutrição da cultura.

Quadro 22. Teores totais de zinco, manganês, cobre e boro no calcário e nos fertilizantes utilizados nos experimentos

Fonte	Zn	Mn	Cu	B
	mg/kg			
Calcário	30	450	10	32
Superfosfato triplo	75	65	42	305
Cloreto de potássio	30	50	6	97

Valadares et al. (1974) verificaram em 33 amostras de corretivos da acidez teores médios de Zn 15,2 mg/kg; Mn 810 mg/kg; e de Cu 11 mg/kg. Esses autores

concluíram que as quantidades de Mn e de Fe retiradas pela cultura da soja eram inferiores às adicionadas com a aplicação de 2 t/ha de calcário. Gabe (1998) verificou que o Mn no calcário tornou-se bastante solúvel, uma vez que o teor de Mn nas plantas que receberam apenas o calcário foi estatisticamente superior ao encontrado no tratamento “testemunha”.

Os teores desses micronutrientes nos fertilizantes aproximaram-se dos citados por Malavolta (1994), em extensa revisão sobre o assunto, em que os teores médios de Zn, Mn, Cu e de B verificados na literatura para o superfosfato triplo são de 40; 150; 120 e 110 mg/kg, respectivamente. No caso do KCl, os teores são 18,5; 27; 10 e 124 mg/kg. Embora os fertilizantes apresentem teores maiores de Zn, Cu e B em relação ao calcário, a contribuição destas fontes para a cultura da soja ocorre em menor proporção, pois as doses aplicadas são muito inferiores às de calcário.

5. CONCLUSÕES

- As produtividades obtidas no solo textura média são superiores às do solo argiloso, evidenciando o maior potencial produtivo de um solo onde o “caráter dreno” é menos expressivo.
- O Cu é o micronutriente com maior influência na produtividade da soja em ambos os solos estudados. Para o Zn, Mn e B, quando há resposta, os incrementos na produção são muito pequenos.
- Os níveis críticos obtidos no solo argiloso são superiores em relação aos obtidos no solo textura média.
- O DTPA é o método de extração com melhor correlação com os conteúdos de Zn e de Mn na planta, principalmente no solo textura média, evidenciando a capacidade desse método em predizer o teor disponível desses micronutrientes em condições distintas de pH. No caso do Cu, os três métodos são semelhantes em predizer o teor disponível. Para o B, não há correlação entre os teores de B no solo e na planta.
- O conteúdo dos micronutrientes na planta apresenta alta correlação com o conteúdo na folha, indicando a possibilidade da utilização dessa variável em estudos de correlação e calibração de métodos de extração.
- Os conteúdos de Zn, Mn, Cu e B no calcário e nos fertilizantes podem contribuir para a nutrição da soja, anulando, em parte, os efeitos das doses desses micronutrientes aplicadas.

6. LITERATURA CITADA

- ABREU, C.A.; NOVAIS, R.F.; RAIJ, B. van & RIBEIRO, A.C. Comparação de métodos para avaliar a disponibilidade do manganês em solos. R. Bras. Ci. Solo, 18:81-90, 1994a.
- ABREU, C.A.; NOVAIS, R.F.; RAIJ, B. van & RIBEIRO, A.C. Influência da reação do solo na extração de manganês por diferentes extratores químicos. R. Bras. Ci. Solo, 18:91-99, 1994b.
- ABREU, C.A.; RAIJ, B. van & TANAKA, R.T. Comportamento de cultivares de soja em solo deficiente em manganês. R. Bras. Ci. Solo, 19:149-152, 1995.
- ABREU, C.A.; RAIJ, B. van & TANAKA, R.T. Fontes de manganês para a soja e seus efeitos na análise do solo. R. Bras. Ci. Solo, 20:91-97, 1996.
- ABREU, C.A., FERREIRA, M.E & BORKERT, C.M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da & RAIJ, B. van, eds. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal, CNPQ, FAPESP, POTAFOS, 2001. p.125-150.
- ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: ALVAREZ V., V.H. & FONTES, L.E.F., eds. O Solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, SBCS, UFV, 1995. p.615-646.
- BAR-YOSEF, B.; FISHMAN, S. & TALPAZ, H. A model of zinc movement to single roots in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:1272-1279, 1980.
- BATAGLIA, O.C. Micronutrientes: disponibilidade e interações. In: BORKERT, C.M. & LANTMANN, A.F., eds. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina, EMBRAPA-CNPSO, IAPAR, SBCS, 1988. p.121-132.
- BATAGLIA, O.C. & RAIJ, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. R. Bras. Ci. Solo, 13:205-212, 1989.

- BATAGLIA, O.C. & RAIJ, B. van. Eficiência de extratores na determinação de boro em solos. R. Bras. Ci. Solo, 14:25-31, 1990.
- BATAGLIA, O.C. & RAIJ, B. van. Soluções extratoras na avaliação da fitodisponibilidade do zinco em solos. R. Bras. Ci. Solo, 18:457-461, 1994.
- BERGER, K.C. & TRUOG, E. Boron determination in soils and plants. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 11:540-545, 1939.
- BORKERT, C.M. Manganês. In: FERREIRA, M.E & CRUZ, M.C.P., eds. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba, POTAFOS, CNPQ, 1991. p.172-191.
- BORKERT, C.M.; PAVAN, M.A. & BATAGLIA, O.C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da & RAIJ, B. van, eds. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal, CNPQ, FAPESP, POTAFOS, 2001. p.151-186.
- BRAY, R.H. Requirements for successful soil tests. Soil Sci., 66:83-89, 1948.
- BUZETTI, S. Efeito de doses de boro e de zinco, em diferentes condições de acidez de um solo de cerrado, na cultura da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1988. 112p. (Tese de Doutorado)
- BUZETTI, S.; NAKAGAWA, J. & MURAOKA, T. Avaliação das necessidades de enxofre e de micronutrientes na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merril), em solo de vegetação de cerrado. Científica, 17:15-24, 1989.
- BUZETTI, S.; MURAOKA, T. & SÁ, M.E. Doses de boro na soja, em diferentes condições de acidez do solo: I. Produção de matéria seca e de grãos e nível crítico no solo. R. Bras. Ci. Solo, 14:157-161, 1990.
- BUZETTI, S. Estudo da eficiência de extratores químicos de zinco, no solo, para o milho. R. Bras. Ci. Solo, 16:367-372, 1992.
- CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A. & MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 23:315-327, 1999.
- CAIRES, E.F. & FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. Bragantia, 59:213-220, 2000.
- 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.

- 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, 1972. p.289-317.
- CRUZ, M.C.P. & FERREIRA, M.E. Seleção de métodos para avaliação do boro disponível em solos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 19:1457-1464, 1984.
- DANTAS, J.P. Boro. In: FERREIRA, M.E & CRUZ, M.C.P., eds. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba, POTAFOS, CNPQ, 1991. p.113-130.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Recomendações técnicas para a cultura da soja na Região Central do Brasil 1998/99. Londrina, 1998. 182p. (Embrapa Soja. Documentos, 120).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 1º ed. Brasília, 1999. 370p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Tecnologias de produção de soja - Região Central do Brasil - 2001/2002. Londrina, 2001. 267p. (Embrapa Soja. Documentos, 167)
- FAGERIA, N.K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36:1419-1424, 2001.
- FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. Cobre. In: FERREIRA, M.E & CRUZ, M.C.P., eds. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba, POTAFOS, CNPQ, 1991. p.131-157.
- FONTES, R.L.F., ABREU, C.A. & ABREU, M.F. Disponibilidade e avaliação de elementos aniônicos. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da & RAIJ, B. van, eds. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal, CNPQ, FAPESP, POTAFOS, 2001. p.187-212.
- GABE, U. Teor e disponibilidade para a soja de micronutrientes e elementos potencialmente tóxicos em fertilizantes minerais e calcários. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1998. 84p. (Tese de Doutorado)
- GALRÃO, E.Z. Efeito de micronutrientes e de cobalto na produção e na composição química de arroz, milho e soja em solo de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:111-116, 1984.
- GALRÃO, E.Z. Efeito de micronutrientes e do cobalto na produção da soja em solo de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:41-44, 1989.

- GALRÃO, E.Z. Aplicação de micronutrientes e calcário no rendimento da soja em solo de várzea. R. Bras. Ci. Solo, 14:381-384, 1990.
- GALRÃO, E.Z. Micronutrientes e cobalto no rendimento da soja em solo de cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 15:117-120, 1991.
- GALRÃO, E.Z. Níveis críticos de zinco em Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso sob cerrado para a soja. R. Bras. Ci. Solo, 17:83-87, 1993.
- GODO, G.H. & REISENAUER, H.M. Plant effects on soil manganese availability. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:993-995, 1980.
- HARMSSEN, K. & VLEK, P.L.G. The chemistry of micronutrients in soil. Fertilizer Research, Dordrecht, 7:1-42, 1985.
- HOROWITZ, A. & DANTAS, H.S. Boro disponível nos solos da zona litoral-mata de Pernambuco. Pesq. Agropec. Bras., 8:163-168, 1973.
- JAUREGUI, M.A. & REISENAUER, H.M. Dissolution of oxides of manganese and iron by root exudate components. Soil Sci. Soc. Am. J., 46:314-317, 1982.
- LANTMANN, A.F. & MEURER, E.J. Estudo da eficiência de extratores para avaliação do zinco disponível do solo para o milho. R. Bras. Ci. Solo, 6:131-135, 1982.
- LEITE, H.G. & OLIVEIRA, F.H.T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 33:1105-1118, 2002.
- LINDSAY, W. L. Chemical equilibria in soils. New York, John Wiley & Sons, Inc. 449 p. 1979.
- 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, 1985. (Developments in plant and soil sciences, 14)
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J., 42:421-428, 1978.
- MACHADO, P.L.O.A. & PAVAN, M.A. Avaliação de métodos químicos para extração de zinco disponível para mudas de café. Pesq. Agropec. Bras., 22:213-217, 1987a.
- MACHADO, P.L.O.A. & PAVAN, M.A. Adsorção de zinco por alguns solos do Paraná. R. Bras. Ci. Solo, 11:253-256, 1987b.
- MAKARIM, A.K. & COX, F.R. Evaluation of the need for copper with several soil extractants. Agron. J., 75:493-496, 1983.
- MALAVOLTA, E. Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificações e fatos. São Paulo, Produquímica, 1994. 153p.

- MARTENS, D.C. Plant availability of extractable boron, copper, and zinc as related to selected soil properties. *Soil Sci.*, 106:23-28, 1968.
- MASCARENHAS, H.A.A.; MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S. & IGUE, T. Adubação da soja. VI - Efeitos do enxofre e de vários micronutrientes (Zn, Cu, Mn, Fe e Mo) em solo Latossolo Roxo com vegetação de cerrado. *Bragantia*, 26:371-379, 1967.
- MASCARENHAS, H.A.A.; MIYASAKA, S.; IGUE, T.; FREIRE, E.S. & SORDI, G. Resposta da soja à calagem e à adubação mineral com fósforo e potássio em um Latossolo Roxo. *Bragantia*, 28:17-21, 1969. (Nota N.º 4)
- MASCARENHAS, H.A.A.; KIIHL, R.A.S.; NAGAI, V. & BATAGLIA, O.C. Aplicação de micronutrientes em soja cultivada em solos de cerrado. *O Agrônomo*, 25:71-77, 1973.
- MASCARENHAS, H.A.A.; MIRANDA, M.A.C.; BATAGLIA, O.C.; PEREIRA, J.C.V.N.A. & TANAKA, R.T. Deficiência de boro em soja. *Bragantia*, 47:325-331, 1988.
- McBRIDE, M.B. & BLASIAK, J.J. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:866-870, 1979.
- McLAREN, R.G. & CRAWFORD, D.V. Studies on soil copper. II. The specific adsorption of copper by soils. *J. Soil Sci.*, 24:443-52, 1973.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 15:1409-1416, 1984.
- MURAOKA, T.; NEPTUNE, A.M.L. & NASCIMENTO FILHO, V.F. Avaliação da disponibilidade de zinco e de manganês do solo para o feijoeiro. I. Zinco. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:167-175, 1983.
- NASCIMENTO, C.W.A. Dessorção, extração e fracionamento de zinco, cobre e manganês em solos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 60p. (Tese de Doutorado)
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. & SEDIYAMA, T. Deficiência de manganês em plantas de soja cultivadas em solos de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:199-204, 1989.
- NOVAIS, R.F. & SMIYH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J.A.; MALAVOLTA, E. & CABRAL, C.P. Efeitos do manganês sobre a soja cultivada em solo de cerrado do Triângulo Mineiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:1629-1636, 2000.

- PAVAN, M.A. & MIYAZAWA, M. Disponibilidade do manganês no solo; dificuldades e problemas na interpretação da análise para fins de fertilidade. R. Bras. Ci. Solo, 8:285-289, 1984.
- PAVAN, M.A. & CORREA, E.A. Reações de equilíbrio solo-boro. Pesq. Agropec. Bras., 23:261-269, 1988.
- POSSAMAI, J.M. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o cultivo de algodoeiro. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 91p. (Tese de Mestrado)
- 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.; RAIJ, B. van; GALLO, P.B. & MASCARENHAS, H.A.A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. Pesq. Agropec. Bras., 28:375-383, 1993.
- RAIJ, B. van; CAMARGO, A.P.; MASCARENHAS, H.A.A.; HIROCE, R.; FEITOSA, C.T.; NERY, C. & LAUN, C.R.P. Efeito de níveis de calagem na produção de soja em solo de cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 1:28-31, 1977.
- RAIJ, B. van & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo. In: FERREIRA, M.E & CRUZ, M.C.P., eds. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba, POTAFOS, CNPQ, 1991. p.333-355.
- RIBEIRO, A.C. & TUCUNANGO SARABIA, W.A. Avaliação de extratores para zinco e boro disponíveis em Latossolos do Triângulo Mineiro. R. Bras. Ci. Solo, 8:85-89, 1984.
- RITCHEY, K.D.; COX, F.R.; GALRÃO, E.Z. & YOST, R.S. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. Pesq. Agropec. Bras., 21:215-225, 1986.
- RODRIGUES, M.R.L.; MALAVOLTA, E. & MOREIRA, A. Comparação de soluções extratoras de ferro e manganês em solos da Amazônia. Pesq. Agropec. Bras., 36:143-149, 2001.
- ROSOLEM, C.A.; BESSA, M.A.; AMARAL, P.G. do & PEREIRA, H.F.M. Manganês do solo, sua avaliação e toxidez de manganês em soja. Pesq. Agropec. Bras., 27:277-285, 1992.
- ROSOLEM, C.A.; QUAGGIO, J.A. & SILVA, N.M. Algodão, Amendoim e Soja In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da & RAIJ, B. van, eds. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal, CNPQ, FAPESP, POTAFOS, 2001. p.319-354.

- SANTOS, F.C. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 64p. (Tese de Mestrado)
- SANTOS, O. S. Micronutrientes na cultura da soja. *Informações Agronômicas. POTAFOS*. 85:1-8, 1999.
- SFREDO, G.J.; PALUDZYSZYN FILHO, E.; GOMES, E.R. & OLIVEIRA, M.C.N. Resposta da soja a fósforo e a calcário em Podzólico Vermelho-Amarelo de Balsas, MA. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:429-432, 1996.
- SILLANPÄÄ, M. Problems involved in estimating the micronutrient status of soils. In: FAO. *Soil and plant testing and analysis*. Roma, 1980. p.140-151. (FAO Soils Bulletin, 38/1)
- SIMS, J.T. & JOHNSON, G.V. Micronutrient soil tests. In: MORTVEDT, J.J. ed. *Micronutrients in agriculture*. 2 ed. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1991. p.427-476.
- SOUSA, D.,M.G. de; MIRANDA, L.N. de; LOBATO, E. & CASTRO, L.H.R. de. Métodos para determinar as necessidade de calagem em solos de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:193-198, 1989.
- TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A. & BORKERT, C.M. Nutrição mineral da soja. In: ARANTES, N.E. & SOUZA, P.I.M., eds. *Cultura da soja nos cerrados*. Piracicaba. POTAFOS, 1993. p.105-135.
- TEMMINGHOFF, E.J.M.; VAN DER ZEE, S.E.A.T.M. & DE HAAN, F.A.M. Effects of dissolved organic matter on the mobility of copper in a contaminated sandy soil. *European J. Soil Sci.* 49:617-628, 1998.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. & BEATON, J.D. *Soil fertility and fertilizers*. Macmillan Publishing Company, New York, Fourth edition, 1985. 754p.
- VALADARES, J.M.A.S.; BATAGLIA, O.C. & FURLANI, P.R. Estudo de materiais calcários usados como corretivo do solo no estado de São Paulo. III - Determinação de Mo, Co, Cu, Zn, Mn e Fe. *Bragantia*, 33:147-152, 1974.

APÊNDICE

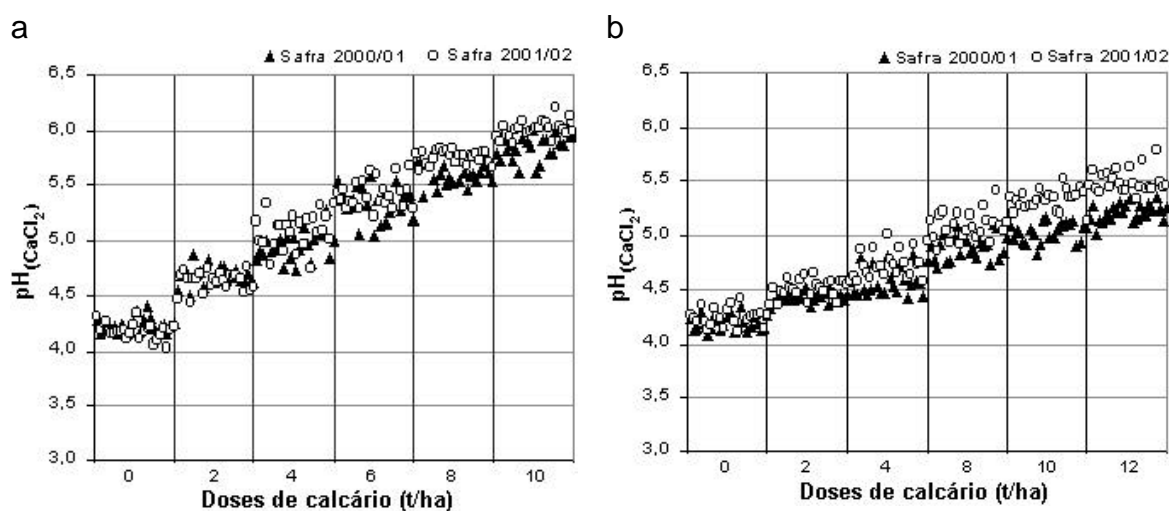


Figura 1a. Variação do $\text{pH}_{(\text{CaCl}_2)}$, nas safras 2000/01 e 2001/02, com as doses de calcário aplicadas. Média dos resultados obtidos nos quatro experimentos. Faz. Parnaíba (a); Faz. Agroserra (b).

Quadro 1a. Precipitação pluvial mensal observada nas Fazendas Agroserra e Parnaíba, nas duas safras estudadas

Safr	Meses												Total
	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	
mm													
Faz. Agroserra													
2000/01	0	24	31	142	369	136	81	178	112	70	0	0	1.142
2001/02	0	126	47	115	190	523	71	274	88	66	0	0	1.498
Faz. Parnaíba													
2000/01	0	24	121	254	351	95	213	258	140	138	0	0	1.593
2001/02	0	22	115	209	222	572	140	127	79	28	0	0	1.514

Quadro 2a. Datas de semeadura e de colheita e população de plantas de soja nas safras 2000/01 e 2001/02. Fazendas Agroserra e Parnaíba

Safr	Semeadura	Colheita	População	Semeadura	Colheita	População
	Faz. Agroserra			Faz. Parnaíba		
			plantas/ha			plantas/ha
2000/01	28/12/2000	07/05/2001	256.000	17/11/2000	10/04/2001	197.000
2001/02	29/12/2001	07/10/2002	239.000	28/11/2001	01/04/2002	208.000

Quadro 3a. Análise de variância para produção de grãos no experimento de zinco durante as safras 2000/01 e 2001/02, em ambas as localidades

FV	GL	Quadrados Médios			
		Faz. Parnaíba		Faz. Agroserra	
		Safr 2000/01	Safr 2001/02	Safr 2000/01	Safr 2001/02
Bloco	3	500409,100 **	178545,637 **	950476,991 **	70459,583
Sat	5	519733,840 **	43977,107	1380611,717 **	2866983,328 **
Resíduo a	15	104679,466	48449,670	114635,569	200628,505
Dose d/ Sat 30 %	5	48935,342	30098,342	203696,642	20080,042
Dose d/ Sat 40 %	5	212859,167 **	23191,142	66710,500	151235,475 **
Dose d/ Sat 50 %	5	26687,767	26193,275	92529,742	75171,642
Dose d/ Sat 60 %	5	72727,967	81768,475	58490,067	91151,667
Dose d/ Sat 70 %	5	194104,667 **	69144,942	276355,042 *	77174,242
Dose d/ Sat 80 %	5	144895,700 *	43824,300	284491,942 *	64019,867
Resíduo b	90	55852,227	35381,575	115393,100 **	41340,041
CV _a (%)		18,11	5,95	35,65	55,28
CV _b (%)		6,20	5,33	10,31	6,64

** , * Significativo respectivamente a 1 e 5 %

Quadro 4a. Análise de variância para produção de matéria seca das plantas de soja, no experimento de zinco durante a safra 2001/02, nos dois locais avaliados

FV	GL	Quadrados Médios	
		Faz. Parnaíba	Faz. Agroserra
Bloco	3	170112,038 *	28468,227
Saturação	3	326372,122 **	1325503,413 **
Resíduo a	9	20761,557	93293,116
Dose	5	113995,460	17747,275
Dose*Saturação	15	102907,672 *	82885,509 **
Resíduo b	60	55781,802	34373,914
CV _a (%)		21,48	68,78
CV _b (%)		8,88	11,08

*, ** Significativo respectivamente a 1 e 5 %

Quadro 5a. Análise de variância para o conteúdo de zinco nas plantas de soja. Safra 2001/02, Fazendas Parnaíba e Agroserra

FV	GL	Quadrados Médios	
		Faz. Parnaíba	Faz. Agroserra
Bloco	3	100,053	47,615
Saturação	3	8186,493 **	496,480 **
Resíduo a	9	105,213	26,558
Dose	5	2560,523 **	563,409 **
Dose*Saturação	15	349,519 **	47,586
Resíduo b	60	75,446	34,067
CV _a (%)		167,02	72,42
CV _b (%)		16,03	18,97

** Significativo a 1 %

Quadro 6a. Análise de variância para produção de grãos no experimento de manganês durante as safras 2000/01 e 2001/02, em ambas as localidades

FV	GL	Quadrados Médios			
		Faz. Parnaíba		Faz. Agroserra	
		Safra 2000/01	Safra 2001/02	Safra 2000/01	Safra 2001/02
Bloco	3	1147187,618 **	100680,796	110883,009	39645,528
Sat	5	117499,196	47808,083	633557,411 **	1725493,711 **
Resíduo a	15	225494,140	91373,435	102691,281	28475,478
Dose d/ Sat 30 %	5	125027,567	60146,875	35958,042	60321,575
Dose d/ Sat 40 %	5	80050,567	90701,575 *	174096,667 *	104667,667 **
Dose d/ Sat 50 %	5	74795,100	30337,867	89779,142	8031,067
Dose d/ Sat 60 %	5	81297,167	32668,367	31974,100	100064,967 **
Dose d/ Sat 70 %	5	66140,967	107138,567 *	111514,267	109459,067 **
Dose d/ Sat 80 %	5	86686,875	49592,167	70400,067	81038,442 *
Resíduo b	90	80626,359	38783,951	72900,836	30931,853
CV _a (%)		8,84	6,12	23,81	44,53
CV _b (%)		7,32	5,51	8,08	5,96

**, * Significativo respectivamente a 1 e 5 %

Quadro 7a. Análise de variância para produção de matéria seca das plantas de soja, no experimento de manganês durante a safra 2001/02, nos dois locais avaliados

FV	GL	Quadrados Médios	
		Faz. Parnaíba	Faz. Agroserra
Bloco	3	195870,761 *	71072,056 *
Saturação	3	623902,169 **	328242,064 **
Resíduo a	9	74030,451	33633,214
Dose	5	58407,064	23439,211
Dose*Saturação	15	43724,070	27018,537
Resíduo b	60	53540,294	22629,163
CV _a (%)		30,57	35,18
CV _b (%)		8,95	9,24

**, * Significativo respectivamente a 1 e 5 %

Quadro 8a. Análise de variância para o conteúdo de manganês nas plantas de soja. Safra 2001/02, Fazendas Parnaíba e Agroserra

FV	GL	Quadrados Médios	
		Faz. Parnaíba	Faz. Agroserra
Bloco	3	686,725	632,829 **
Saturação	3	62601,950 **	7032,206 **
Resíduo a	9	396,306	168,642
Dose	5	9793,147 **	1967,237 **
Dose*Saturação	15	1636,262 **	275,585 **
Resíduo b	60	282,957	101,007
CV _a (%)		373,35	166,39
CV _b (%)		25,10	19,94

** Significativo a 1 %

Quadro 9a. Análise de variância para produção de grãos no experimento de cobre durante as safras 2000/01 e 2001/02, em ambas as localidades

FV	GL	Quadrados Médios			
		Faz. Parnaíba		Faz. Agroserra	
		Safra 2000/01	Safra 2001/02	Safra 2000/01	Safra 2001/02
Bloco	3	1014876,063 **	3455,935	84345,463	20806,823
Sat	5	80622,312	51332,433	807694,228 **	2536698,224 **
Resíduo a	15	165721,535	45929,941	56099,691	35717,239
Dose d/ Sat 30 %	5	92899,542	97081,667	62557,867	86744,800 **
Dose d/ Sat 40 %	5	63950,875	135203,775 *	126137,667 ⁰	71488,367 *
Dose d/ Sat 50 %	5	60073,400	72205,967	20679,667	94453,275 **
Dose d/ Sat 60 %	5	68477,767	119845,467 *	32555,200	23658,467
Dose d/ Sat 70 %	5	39886,300	31564,942	56534,142	111877,875 **
Dose d/ Sat 80 %	5	104442,942	138841,300 *	17859,875	236066,375 **
Resíduo b	90	54559,578	46118,168	55172,914	22283,397
CV _a (%)		7,12	6,36	28,75	60,71
CV _b (%)		5,86	6,03	7,51	5,69

** , * , ⁰ Significativo respectivamente a 1, 5 e 10 %

Quadro 10a. Análise de variância para produção de matéria seca das plantas de soja, no experimento de cobre durante a safra 2001/02, nos dois locais avaliados

FV	GL	Quadrados Médios	
		Faz. Parnaíba	Faz. Agroserra
Bloco	3	172068,130	151456,579 *
Saturação	3	374510,149	641970,295 **
Resíduo a	9	109395,256	38192,539
Dose	5	447675,982 **	107305,934 *
Dose*Saturação	15	92783,757	47714,155
Resíduo b	60	80930,862	38370,750
CV _a (%)		22,07	46,34
CV _b (%)		10,26	11,33

**, * Significativo respectivamente a 1 e 5 %

Quadro 11a. Análise de variância para o conteúdo de cobre nas plantas de soja. Safra 2001/02, Fazendas Parnaíba e Agroserra

FV	GL	Quadrados Médios	
		Faz. Parnaíba	Faz. Agroserra
Bloco	3	3,365	2,118
Saturação	3	118,114 **	22,389 *
Resíduo a	9	5,110	3,913
Dose	5	477,666 **	60,684 **
Dose*Saturação	15	6,614	11,857 **
Resíduo b	60	7,594	2,145
CV _a (%)		83,44	60,56
CV _b (%)		21,16	18,74

**, * Significativo respectivamente a 1 e 5 %

Quadro 12a. Análise de variância para produção de grãos no experimento de boro durante as safras 2000/01 e 2001/02, em ambas as localidades

FV	GL	Quadrados Médios			
		Faz. Parnaíba		Faz. Agroserra	
		Safra 2000/01	Safra 2001/02	Safra 2000/01	Safra 2001/02
Bloco	3	570318,377 **	117280,574 *	425458,081 **	21548,103
Saturação	5	268459,624 *	291797,867	526844,946 *	2470727,166 **
Resíduo a	15	83903,550	103283,730	141102,264	58422,307
Dose d/ Sat 30 %	5	16855,842	54732,942	25827,475	197447,675 **
Dose d/ Sat 40 %	5	87370,342	44187,642	53243,367	125688,567 *
Dose d/ Sat 50 %	5	70401,267	108355,542 *	94581,467	95777,442
Dose d/ Sat 60 %	5	66245,067	63138,967	36768,000	74868,967
Dose d/ Sat 70 %	5	13110,675	103457,575 *	42035,542	84591,967
Dose d/ Sat 80 %	5	57812,067	67694,067	81855,142	207572,067 **
Resíduo b	90	57210,843	40072,504	45372,562	49627,906
CV _a (%)		12,78	15,11	24,26	55,04
CV _b (%)		5,90	5,60	7,12	7,80

** , * Significativo respectivamente a 1 e 5 %

Quadro 13a. Análise de variância para produção de matéria seca das plantas de soja, no experimento de boro durante a safra 2001/02, nos dois locais avaliados

FV	GL	Quadrados Médios	
		Faz. Parnaíba	Faz. Agroserra
Bloco	3	438365,384 **	18207,239
Saturação	3	246472,507	616085,130 *
Resíduo a	9	73612,449	92524,622
Dose	5	290601,446 *	29300,074
Dose*Saturação	15	166884,019	40227,195
Resíduo b	60	98475,241	39443,621
CV _a (%)		15,67	43,58
CV _b (%)		9,91	11,03

** , * Significativo respectivamente a 1 e 5 %

Quadro 14a. Análise de variância para o conteúdo de boro nas plantas de soja.
Safra 2001/02, Fazendas Parnaíba e Agroserra

FV	GL	Quadrados Médios	
		Faz. Parnaíba	Faz. Agroserra
Bloco	3	124,969	3,530
Saturação	3	139,872	513,112 *
Resíduo a	9	42,698	94,991
Dose	5	1022,335 **	82,566
Dose*Saturação	15	164,516	97,943 **
Resíduo b	60	102,273	40,690
CV _a (%)		12,92	40,53
CV _b (%)		11,04	11,41

** , * Significativo respectivamente a 1 e 5 %