

JOSÉ EDUARDO CORÁ

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE BORO, COBRE E  
ZINCO EM SOLOS DE VÁRZEA DO ESTADO  
DE MINAS GERAIS

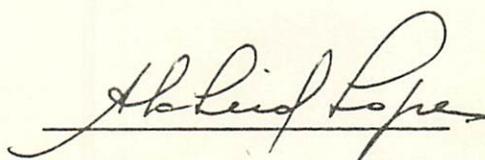
Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do grau de MESTRE.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS  
LAVRAS - MINAS GERAIS

1991

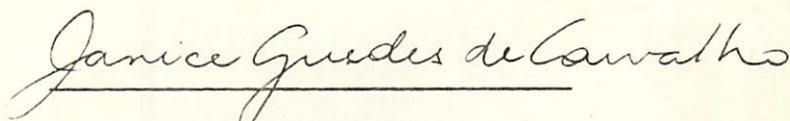
AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE BORO, COBRE E ZINCO  
EM SOLOS DE VÁRZEA DO ESTADO DE MINAS GERAIS

APROVADA

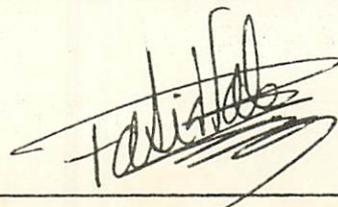


ALFREDO SCHEID LOPES

Orientador



JANICE GUEDES DE CARVALHO



FABIANO RIBEIRO DO VALE

Às pessoas que acreditam na VIDA  
e vêm nela a razão de VIVER

Aos meus pais, Nelson e Doracy  
que me deram a vida e apesar das dificuldades  
nunca mediram esforços dedicados à minha formação

Ao Tuto, Cecília e Lucinha  
meus amados irmãos  
À Maria Amélia, Camila, Mariana,  
Fernando, Rodolfo e Ricardo  
meus amados sobrinhos  
À Rosilene pelo Carinho

OFEREÇO

## AGRADECIMENTOS

A Escola Superior de Agricultura de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de aprendizado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão de bolsas de estudos e auxílio financeiro para condução do projeto de pesquisa.

Ao professor Alfredo Scheid Lopes, pela orientação, amizade, confiança e exemplo de amor à profissão.

A todos os professores do Departamento de Ciência do Solo, em especial à Janice Guedes de Carvalho e Fabiano Ribeiro do Vale pelas contribuições e incentivo.

A todos os funcionários do Departamento de Ciência do Solo que desprendidamente e sempre dispostos me auxiliaram no que foi preciso.

A todos os meus colegas do curso de Pós-Graduação, em especial meu amigo e "irmão" Luís Roberto Guimarães Guilherme pela convivência que deixou muitas saudades.

Aos meus colegas do Departamento de Solos e Adubos - UNESP - Jaboticabal, especialmente aos amigos José Marques Junior e Marcílio Vieira Martins Filho pelo convívio e amizade.

Meu mais sincero e terno agradecimento para o Sr. Luiz Carlos Portella e D. Eduarda, filhos e netos a quem me acolheram como filho dessa abençoada família.

A todos aqueles que de uma forma ou outra converteram a elaboração desta tese em um trabalho gratificante.

## SUMÁRIO

|   | Página |
|---|--------|
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 01     |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA .....  | 05     |
| 2.1. Caracterização dos Solos de Várzea .....                           | 05     |
| 2.2. Respostas a micronutrientes com ênfase em Solos<br>de Várzea ..... | 09     |
| 2.3. Princípios de extração para micronutrientes ...                    | 13     |
| 2.3.1. Água .....   | 14     |
| 2.3.2. Soluções Salinas .....   | 15     |
| 2.3.3. Soluções ácidas ou básicas .....                                 | 15     |
| 2.3.4. Soluções complexantes e agentes quelan-<br>tes .....             | 16     |
| 2.4. Métodos de análises para micronutrientes .....                     | 17     |
| 2.4.1. Boro .....   | 18     |
| 2.4.2. Cobre .....  | 21     |
| 2.4.3. Zinco .....  | 24     |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS .....   | 27     |
| 3.1. Unidades de solo .....   | 27     |
| 3.2. Coleta e preparo dos materiais do solo .....                       | 27     |
| 3.3. Análises de caracterização dos solos .....                         | 29     |
| 3.3.1. Análises físicas .....   | 30     |

|  |     |
|--|-----|
| 3.3.2. Análises químicas .....   | 30  |
| 3.3.3. Extratores e técnicas de extração para<br>micronutrientes B, Cu e Zn disponíveis<br>do solo ..... | 31  |
| 3.3.3.1. Determinação do boro disponível<br>do solo .....  | 31  |
| 3.3.3.2. Determinação de cobre e zinco<br>disponível do solo .....                                       | 32  |
| 3.4. Instalação e condução do experimento .....  | 33  |
| 3.4.1. Primeiro cultivo .....  | 33  |
| 3.4.2. Segundo cultivo .....   | 35  |
| 3.5. Análises químicas da matéria seca .....   | 37  |
| 3.6. Análise estatística dos dados .....   | 37  |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 39  |
| 4.1. Produção de matéria seca e composição mineral<br>das plantas .....                                  | 39  |
| 4.2. Teor de micronutrientes no solo .....   | 44  |
| 4.3. Correlações dos teores no solo e parâmetros de<br>planta .....                                      | 49  |
| 4.3.1. Boro .....  | 49  |
| 4.3.2. Cobre .....   | 66  |
| 4.3.3. Zinco .....   | 91  |
| 5. CONCLUSÕES .....  | 113 |
| 6. RESUMO .....  | 115 |
| 7. SUMMARY .....   | 118 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 121 |

## LISTA DE QUADROS

| QUADRO |   | Página |
|--------|---|--------|
| 1      | Características dos solos usados no experimento e municípios de coleta (solos originais) .....  | 28     |
| 2      | Resultados analíticos das amostras dos 21 solos estudados (solo original) .....   | 29     |
| 3      | Doses, fontes e épocas de aplicação dos macronutrientes fornecidos no primeiro cultivo .....  | 34     |
| 4      | Doses, fontes e épocas de aplicação dos macronutrientes fornecidos no segundo cultivo .....   | 36     |
| 5      | Quantidades de matéria seca produzida pelas plantas de arroz nos 21 solos utilizados no experimento (1 <sup>o</sup> e 2 <sup>o</sup> cultivos) .....  | 40     |
| 6      | Teores de boro, cobre e zinco nas plantas de arroz cultivadas nos 21 solos usados no experimento (1 <sup>o</sup> e 2 <sup>o</sup> cultivos) .....   | 41     |
| 7      | Quantidades acumuladas na parte aérea em mg/vaso de boro, cobre e zinco pelas plantas de arroz cultivadas nos 21 solos usados no experimento (1 <sup>o</sup> e 2 <sup>o</sup> cultivos) ..... | 42     |
| 8      | Resultados analíticos das amostras dos 21 solos estudados (após o primeiro e segundo cultivos)  | 43     |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 9  | Concentração de micronutrientes nos solos determinados por diferentes soluções extratoras. Média e amplitude de variação dos 21 solos, antes de cada cultivo.....   | 45 |
| 10 | Coeficientes de correlação entre os teores de boro do solo determinados por meio de diferentes extratores antes do 1 <sup>o</sup> e 2 <sup>o</sup> cultivos .....   | 45 |
| 11 | Coeficientes de correlação entre as concentrações de boro no solo, determinadas por diferentes extratores e concentração e quantidade de boro acumulada na parte aérea e peso seco das plantas de arroz cultivadas nos mesmos vasos em dois cultivos consecutivos ..... | 49 |
| 12 | Boro extraído por meio de diferentes soluções extratoras nos 21 solos utilizados no experimento, antes dos dois cultivos consecutivos ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ) .....   | 51 |
| 13 | Equações de regressão entre as concentrações de boro no solo, determinadas por diferentes extratores e concentração, e quantidade de boro acumulada na parte aérea e peso seco das plantas de arroz cultivadas nos mesmos vasos em dois cultivos consecutivos .....     | 57 |
| 14 | Coeficientes de correlação entre as concentrações de boro no solo, determinadas por diferentes extratores e pH, matéria orgânica, CTC, % argila, % silte e % areia em dois cultivos   |    |

|    |  |    |
|----|--|----|
|    | sucessivos .....   | 60 |
| 15 | Relações entre a quantidade de boro acumulada na parte aérea das plantas de arroz (BA) e as concentrações de boro nos solos determinadas por diferentes extratores (BQ = água quente; BC = $\text{CaCl}_2$ 0,01M quente; BM = Mehlich) e outras características do solo (pH; Ag = argila (%; M.O. = matéria orgânica (%; T = capacidade de troca de cátions). 1 <sup>o</sup> e 2 <sup>o</sup> cultivos ..... | 65 |
| 16 | Coeficientes de correlação entre os teores de cobre do solo determinados por meio de diferentes extratores antes do 1 <sup>o</sup> e 2 <sup>o</sup> cultivos .....   | 67 |
| 17 | Coeficientes de correlação entre as concentrações de cobre nos solos, determinados por diferentes extratores e concentração e quantidade de cobre acumulada na parte aérea e peso seco das plantas de arroz cultivadas nos mesmos vasos em dois cultivos consecutivos .....  | 69 |
| 18 | Equações de regressão entre as concentrações de cobre no solo, determinadas por diferentes extratores e concentração, e quantidade de cobre acumulada na parte aérea e peso seco das plantas de arroz cultivados nos mesmos vasos em dois cultivos consecutivos .....  | 73 |
| 19 | Coeficientes de correlação entre as concentrações de cobre nos solos, determinados por diferentes extratores e pH, matéria orgânica, CTC,  |    |

|    |   |    |
|----|---|----|
|    | % argila, % silte e % areia em dois cultivos sucessivos .....   | 81 |
| 20 | Cobre extraído por meio de diferentes soluções extratoras nos 21 solos utilizados por experimento antes dos dois cultivos consecutivos ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) .....  | 84 |
| 21 | Relações entre a quantidade de cobre acumulada na parte aérea das plantas de arroz (CuA) e as concentrações de cobre nos solos determinados por diferentes extratores (CuM = Mehlich; CuO = Olsen+EDTA; CuD = DTPA) e outras características de solo (pH; Ag = argila (%); M.O. = matéria orgânica (%); T = capacidade de troca de cátions). 1 <sup>o</sup> e 2 <sup>o</sup> cultivos ..... | 89 |
| 22 | Coeficientes de correlação entre os teores de zinco do solo determinados por meio de diferentes extratores, antes do 1 <sup>o</sup> e 2 <sup>o</sup> cultivos .....   | 91 |
| 23 | Coeficientes de correlação entre as concentrações de zinco nos solos, determinados por diferentes extratores e pH, matéria orgânica, CTC, % argila, % silte e % areia em dois cultivos sucessivos .....   | 92 |
| 24 | Coeficientes de correlação entre as concentrações de zinco nos solos, determinados por diferentes extratores e concentração e quantidade de zinco acumulada na parte aérea e peso seco das plantas de arroz cultivadas nos mesmos va-   |    |

|    |   |     |
|----|---|-----|
|    | sos em dois cultivos consecutivos .....   | 97  |
| 25 | Equações de regressão entre as concentrações de zinco no solo, determinadas por diferentes extratores e concentração, e quantidade de zinco acumulada na parte aérea e peso seco das plantas de arroz cultivados nos mesmos vasos em dois cultivos consecutivos .....   | 99  |
| 26 | Zinco extraído por meio de diferentes soluções extratoras nos 21 solos utilizados no experimento, antes dos dois cultivos consecutivos ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ) .....  | 102 |
| 27 | Relações entre a quantidade de zinco acumulada na parte aérea das plantas de arroz (ZnA) e as concentrações de zinco nos solos determinados por diferentes extratores (ZnM = Mehlich; ZnO = Olsen+EDTA; ZnD = DTPA) e outras características de solo (pH; Ag = argila (%); M.O. = Matéria Orgânica (%); T = capacidade de troca de cátions). 1 <sup>o</sup> e 2 <sup>o</sup> cultivos ..... | 110 |

## LISTA DE FIGURAS

| FIGURAS |  | Página |
|---------|--|--------|
| 1       | Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a relação entre o boro acumulado na parte aérea das plantas de arroz e o extraído dos solos com Mehlich (1 <sup>o</sup> e 2 <sup>o</sup> cultivos) e água quente (2 <sup>o</sup> cultivo) ..... | 58     |
| 2       | Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a relação entre a quantidade de matéria seca produzidas pelas plantas de arroz e o extraído dos solos com Mehlich e DTPA (1 <sup>o</sup> cultivo) .....   | 70     |
| 3       | Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a relação entre a concentração de cobre nas plantas de arroz e o extraído dos solos com Mehlich, Olsen + EDTA e DTPA (1 <sup>o</sup> cultivo) .....   | 74     |
| 4       | Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a quantidade de cobre nas plantas de arroz e o extraído dos solos com Mehlich, Olsen + EDTA e DTPA (2 <sup>o</sup> cultivo) .....   | 75     |

5 Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a relação entre a quantidade de cobre acumulada na parte aérea das plantas de arroz e o extraído dos solos com Mehlich (1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> cultivos) Olsen + EDTA e DTPA (1<sup>o</sup> cultivo) ..... 79

6 Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a relação entre a concentração de zinco nas plantas de arroz e extraído dos solos com Mehlich, Olsen + EDTA e DTPA (1<sup>o</sup> cultivo) ..... 101

7 Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a relação entre a concentração de zinco nas plantas de arroz e extraído dos solos com Mehlich, Olsen + EDTA e DTPA (2<sup>o</sup> cultivo) ..... 103

8 Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a relação entre a quantidade de zinco acumulada na parte aérea das plantas de arroz e o extraído dos solos com Mehlich Olsen + EDTA e DTPA (1<sup>o</sup> cultivo) ..... 106

9 Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a relação entre a quantidade de zinco acumulada na parte aérea das plantas de arroz e o extraído dos solos com Mehlich Olsen + EDTA e DTPA (2<sup>o</sup> cultivo) ..... 107

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos, principalmente nos países do terceiro mundo, não vem acompanhando o crescimento populacional nas últimas décadas. Como consequência, o déficit de produtos alimentares caminha para uma fase crítica. Torna-se necessário portanto, expandir-se a oferta mundial de alimentos.

Este aumento pode-se dar através da exploração de novas áreas e/ou do aumento da produtividade nas atuais regiões agrícolas

A exploração de novas áreas tem se mostrado a cada dia mais limitante, uma vez que tais áreas encontram-se em fronteiras agrícolas distantes dos grandes centros consumidores e, na maioria das vezes, revelam baixo potencial de produção, fatores que acarretam uma significativa elevação nos custos do produto final

Tanto o aumento da produtividade quanto o uso de áreas inseridas nas regiões agrícolas, porém ainda não exploradas, são condições essenciais para um aumento considerável na oferta de alimentos, bem como, o melhor uso dos

recursos naturais, o melhor aproveitamento dos fatores de produção e a melhor distribuição das produções, de forma a minimizar os custos e reduzir os gastos com transferência de insumos e produtos

Nesse contexto, a exploração das áreas de várzeas se apresenta como uma alternativa para expansão das fronteiras agrícolas, aproveitando áreas até hoje quase inaproveitáveis

Levantamentos de solos indicam a existência de 30 milhões de hectares de várzeas no Brasil sem aproveitamento definido, constituindo um gigantesco potencial para exploração agrícola e produção de alimentos (LAMSTER sd). Somente no Estado de Minas Gerais existe cerca de 1,5 milhão de hectares de várzeas, nessas condições.

É necessário entretanto, não apenas incorporar esses solos no processo produtivo através da sistematização de novas áreas, como também conhecer as variáveis envolvidas na produção desses solos, para tornar possível o seu controle efetivo. Só assim poderão ser atingidos níveis satisfatórios de produtividade

A avaliação da fertilidade atual e/ou potencial dos solos é uma variável imprescindível de ser conhecida neste processo. Com ela é possível identificar-se áreas deficientes e aprimorar-se as recomendações de adubação, evitando-se possíveis prejuízos nas produções agrícolas

A determinação da disponibilidade de nutrientes é feita com razoável índice de sucesso, porém, com maior intensidade para os macronutrientes, pelo fato de existirem métodos de análises de solos com maior grau de precisão para esses elementos

No Brasil, os métodos de análise de solos para micronutrientes ainda não apresentam confiabilidade desejada e os estudos neste campo são de número reduzido. É necessário, portanto, que se definam métodos de análise de solo confiáveis para micronutrientes, sendo este instrumento uma possibilidade promissora na diagnose de deficiência desses nutrientes em nossos solos

Os valores obtidos na análise de solos por um determinado método, somente se tornam utilizáveis quando os mesmos têm correlação com as respostas de produção das culturas. Tais correlações são obtidas em duas etapas: uma primeira, considerada exploratória, e desenvolvida em casa de vegetação com um grande número de solos, que apresentam amplas variações em suas propriedades e características e uma segunda, considerada definitiva, conduzida em experimentos de campo, envolvendo um menor número de solos cuidadosamente selecionados

Na tentativa de contribuir para o conhecimento das variáveis envolvidas na produção agrícola em solos de várzea de Minas Gerais e cumprindo a primeira etapa de um

Para a avaliação da fertilidade desses solos, o presente trabalho tem por objetivos selecionar métodos de análise de solos para avaliação da disponibilidade de B, Cu e Zn, usando arroz como planta indicadora.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Caracterização dos solos de várzea

Com a deposição de materiais transportados pelos cursos d'água ou mesmo trazidos das encostas pelo efeito erosivo das chuvas, são originados os solos de várzea, podendo estes sofrerem inundações periódicas ou encharcamentos devidos à elevação do lençol freático. Essas situações ocorrem porque esses solos se encontram nas planícies dos rios e lagos (FREIRE & NOVAIS, sd.)

Geralmente possuem uma boa topografia, conseqüente facilidade de mecanização e certa facilidade de irrigação, por estarem em áreas baixas. Esse aspecto é de fundamental importância, por ser a água o componente mais relevante no processo de produção agrícola, determinando os níveis de rendimento das culturas, quando corrigidas as deficiências nutricionais

Quanto à fertilidade, o que há é uma idéia generalizada de que os solos de várzea são férteis, entretanto muitos trabalhos em regiões tropicais têm mostrado grande complexidade nas suas propriedades físicas e químicas, apresentando fertilidade diversificada, como se verá a seguir.

na descrição dos principais solos de várzea.

Segundo CURI & ANDRADE (1983) os solos predominantes em ambientes de várzeas são:

SOLOS HIDROMÓRFICOS: (Classes: Gleia Húmica, Gleia Pouca Húmica Orgânica, Laterita Hidromórfica, Planossolo Hidromórfico Cinzento, Podzol Hidromórfico, Plintossolo, Areias Quartzosas Hidromórficas, Vertissolos, Brunizém Hidromórfico). Estão agrupados sob esta denominação solos pertencentes a diferentes unidades, com diversas características comuns, resultantes principalmente da influência do excesso de umidade, permanente ou temporária, durante períodos variáveis do ano.

O estudo das características morfológicas destes solos indica que são desenvolvidos sob grande influência do lençol freático próximo à superfície ou mesmo na superfície, pelo menos durante certas épocas do ano, evidenciada seja através da acumulação de matéria orgânica na parte superficial, seja pela presença de cores cinzentas, indicando redução, características de gleização.

As análises mineralógicas dos solos que integram tal classe, mostram pela natureza de seus componentes a diversidade dos materiais que lhes deram origem, pois são formados a partir de sedimentos carreados de diversas fontes, que podem ou não ter o mesmo caráter litológico.

SOLOS HALOMÓRFICOS: (Classes: Salinos, Solonetz, Solod, Solonetz-Solodizado). Solos que estão em depressões onde pode ocorrer excesso de sais. Estes são trazidos das elevações circunvizinhas pela enxurrada ou pelo lençol freático. Muitas vezes o local é rico em sais por causa de

depósitos marinhos

**SOLOS ALUVIAIS:** são solos predominantemente minerais relativamente recentes, pouco desenvolvidos. Provenientes de formações fluviais e depósitos de baixada, apresentam diferenciação no horizonte A, seguido por camadas sucessivamente estratificadas, encontrados em áreas de relevo praticamente plano e ocorrem normalmente associados aos solos hidromórficos

As análises mineralógicas dos solos que integram esta unidade, apresentam grande diversidade de componentes, o que mostra terem os mesmos se desenvolvido a partir de materiais oriundos de diversas fontes, pertencentes a várias unidades geológicas. Tais análises mostram ainda que não há uma distribuição bem uniforme de seus componentes, isto devido a natureza dos sedimentos que formam suas diferentes camadas.

Na maioria dos casos, as condições de fertilidade natural aliadas ao relevo plano ou praticamente plano em que se encontram os solos dessa unidade, conferem a estas condições adequadas para uma utilização agrícola intensiva. Podem no entanto, apresentar limitação quanto a fertilidade e excesso de água, sendo que esta última limitação varia durante as diversas estações do ano.

**CAMBISSOLOS:** apenas parte dos Cambissolos ocorrem nas várzeas (solos aluviais antigos). Apresentam pouca diferenciação textural no horizonte A, presença de muito mineral primário ainda por intemperizar ou argila com maior retenção de cátions ou teores elevados de silte em relação à argila no E. São solos hidromórficos, mas podem apresentar horizonte

gleizado a profundidades maiores que 80 cm. Devido ao relevo plano e boa drenagem, são aptos para culturas anuais.

Conforme levantamento realizado pela EMBRAPA (1982) e FREIRE & NOVAIS (sd), no Estado de Minas Gerais, as classes mais freqüentemente encontradas nessa região são: Gleí Húmico; Gleí Pouco Húmico; Orgânico e Aluvial.

Algumas características desses solos segundo CARDOSO (1984), CURI & ANDRADE (1986), EMBRAPA (1982), RESENDE (1983); serão descritas a seguir:

**GLEI HÚMICO:** solos minerais hidromórficos, de mal a muito mal drenados, cujas características refletem as condições de redução sob os quais foram formados. Ocorrem nas várzeas, nos campos de surgência e nas veredas, onde o lençol freático se apresenta elevado ou mesmo à superfície do solo durante todo o ano ou em grande parte dele. Ocupam, normalmente superfícies planas e suave onduladas.

As principais limitações dessa classe de solo para o uso agrícola dizem respeito ao excesso de água e/ou à baixa fertilidade. Contudo, desde que sejam adotadas práticas como drenagem, adubação e calagem, os resultados podem ser melhorados.

**GLEI POUCO HÚMICO:** apresentam semelhanças aos da classe Gleí Húmico, diferindo desta principalmente por apresentar melhor drenagem e menor acumulação de matéria orgânica na superfície. Devem ser consideradas as mesmas recomendações feitas à classe Gleí Húmico em termos de uso agrícola.

**SOLOS ORGÂNICOS:** solos escuros que apresentam

apreciáveis teores de compostos orgânicos total ou parcialmente decompostos. São considerados orgânicos aqueles que, saturados com água ou artificialmente drenados, apresentam teor de carbono orgânico maior ou igual a  $9 + 0,15 \times \text{argila } \%$  numa espessura mínima de 50% dos primeiros 80 cm. Esta é a turfa, que pega fogo com facilidade e cuja drenagem deve ser feita com muito cuidado, para evitar a queima e a subsidência (rebaixamento da superfície). Ocorrem nas partes mais úmidas das várzeas, veredas e áreas de surgência, em relevo plano e suave ondulado. Esta classe abrange solos geralmente álicos e distróficos, forte a moderadamente ácidos e com elevada relação C/N.

Tornam-se necessárias, nestes solos, as práticas de: drenagem artificial, incorporações de adubos e calcário, devido principalmente, às limitações oriundas do excesso de água e baixa fertilidade natural que eles geralmente apresentam.

## 2.2. Respostas a micronutrientes com ênfase em solos de várzea

Os estudos envolvendo a avaliação das deficiências e respostas aos nutrientes são realizados em sua grande maioria, em solos de terras altas. Além disso as pesquisas têm se restringido a trabalhos sobre macronutrientes, sendo reduzidos os trabalhos relativos a micronutrientes ABREU 1985; RAIJ & BATAGLIA (1988). A causa provável dessa discrepância é que as deficiências de micronutrientes não são

generalizadas.

Entretanto, com a incorporação de áreas menos férteis ao sistema produtivo, uso de cultivares de grande potencial de rendimento (mais exigentes); o uso de elementos simples nas formulações de adubos e a possibilidade de sucessivos cultivos no mesmo ano agrícola, -referindo-se às várzeas-, vêm favorecendo o aparecimento de deficiências de micronutrientes (LOPES, 1984).

Diversas pesquisas têm demonstrado o efeito depressivo da deficiência de micronutrientes no solo na quantidade de matéria seca, nos teores de micronutrientes das plantas, na produção e qualidade de produtos em diferentes culturas. (GALRÃO, 1988b; MARINHO, 1988).

Especificamente para solos de várzeas, as respostas das culturas à adubação com micronutrientes são muito variáveis, provavelmente devido à heterogeneidade do material que lhes dão origem. Segundo CURI & ANDRADE (1986) estes solos são formados a partir de sedimentos carregados de diversas fontes.

Através da técnica de diagnose por subtração, ABREU & LOPES (1985) avaliaram o efeito de cada micronutriente na produção de matéria seca de milho em cinco solos de várzeas de Miras Gerais: Glei Húmico, Glei Pouco Húmico e Orgânico (Uberaba); Aluvial e Glei Húmico (Careaçu). Os autores verificaram redução de matéria seca apenas no Glei Húmico de Careaçu, causada pela deficiência de zinco. Já GALRÃO et alii (1984) testaram dez solos de várzeas. Cinco deles responderam à adubação de boro, fazendo aumentar significativamente a

matéria seca da soja. O zinco, neste último trabalho, só proporcionou efeito indireto no aumento do número de nódulos de um solo orgânico.

Em outro trabalho realizado em um Gleí Hidromórfico, o boro não teve efeito direto na nodulação mas aumentou significativamente a produção de grãos de feijão (RUSCHEL et alii 1970).

É comum a queda de produção do trigo causada pela esterilidade masculina. Alguns trabalhos em que foram utilizados solos de várzeas mostram redução no chochamento do trigo com aplicação de micronutrientes. Há aqueles que obtiveram sucesso com aplicação conjunta de boro, cobre e zinco (COQUEIRO & ANDRADE, 1974). Em outros, os benefícios vieram com o simples fornecimento de boro (SILVA & ANDRADE, 1982) ou apenas com adição de cobre (GALRÃO & SOUZA, 1985). Outros ainda como o trabalho realizado por FELÍCIO & LEITE (1982), concluíram que para obter efeitos benéficos no controle do chochamento do trigo é necessário utilizar uma mistura de micronutrientes.

Em solos de várzeas do Vale do Paraíba (SP) a produção de tubérculos de batata apresentou acréscimos significativos quando foram fornecidas doses de 10 a 20kg de borax/ha no sulco de plantio (LEITE, 1970, GARGANTINI et alii 1970, HIROCE et alii 1971). Entretanto, MESQUITA FILHO & OLIVEIRA (1984) obtiveram aumento na produção até a dose de 40 kg de borax/ha num solo Gleí Húmico do Distrito Federal. Tanto no trabalho de GARGANTINI et alii (1970) como no de HIROCE et alii (1971) não foram observados efeitos na aplicação de Fe.

Cu, Mn, Zn e Mo, na produção de tubérculos.

Trabalhos realizados com forrageiras em solos hidromórficos de Pindamonhangaba e Nova Odessa (SP) mostraram que a omissão conjunta de boro, cobre e zinco não influenciou significativamente a produção de matéria seca nos cortes realizados (CARRIEL et alii 1984, PAULINO et alii 1986). Entretanto, os autores dos dois trabalhos relatam a ocorrência de concentrações mais baixas desses micronutrientes na parte aérea das plantas coletadas nos cortes efetuados após o corte inicial.

Solos de várzeas são muito utilizados para horticultura, devido, principalmente à topografia e facilidade de água, porém são poucas as citações de deficiências de cobre em hortaliças em nosso meio. FILGUEIRA (1981) indica que o uso de fungicidas a base de cobre, largamente utilizados em pulverizações, contribuem para a absorção foliar desse micronutriente, eliminando as deficiências que poderiam ocorrer.

Entretanto, ROSTON & KIMOTO (1987) verificaram incrementos na produção de alface cultivada em solo orgânico quando a cultura recebeu adubação com cobre. Da mesma maneira MALAVOLTA et alii (1974) citam problemas de nutrição com cobre nesta cultura, em solos turfosos do cinturão verde de São Paulo.

Contudo, o uso indiscriminado de misturas de micronutrientes deve ser evitado, pois aplicações contínuas e em quantidades arbitrárias, além de onerar o custo de produção podem causar toxicidade, pelo fato de ser o limite de

deficiência e toxicidade para micronutrientes, muito estreito com conseqüências muitas vezes mais graves do que as devidas às deficiências.

### 2.3. Princípios de extração para micronutrientes

O propósito da análise de solos é medir as quantidades dos elementos disponíveis para as plantas contidos nos solos, com o objetivo de fornecer parâmetros para o cálculo de recomendação de adubação.

Os teores dos micronutrientes na solução do solo, representando o chamado fator intensidade, devem estar em equilíbrio com a fração de micronutrientes na fase sólida, representando o fator quantidade. Como os teores dos elementos na solução do solo são muito baixos e de difícil quantificação, a análise de solo procura, então, determinar aquela porção de cada micronutriente no solo que, sendo mais ou menos lábil, venha ser considerada disponível para as plantas (RAIJ & BATAGLIA, 1988).

Com o objetivo de simular a absorção de micronutrientes pelas plantas, a maioria das análises de solo consiste em agitar-se uma amostra de solos com uma solução extratora por um determinado período de tempo. A suspensão é então filtrada e a quantidade de nutriente contida na solução é medida (LOPES & CARVALHO, 1988).

Os teores totais, em geral, não dão uma boa idéia da disponibilidade de micronutrientes para as plantas. São reconhecidas várias formas, que podem ser ou tornar-se

disponíveis para as plantas, como formas solúveis em água, trocáveis, complexadas ou adsorvidas. Nos teores totais são incluídas formas como as contidas nas estruturas dos minerais primários ou secundários que não estariam em condições de serem liberadas para as plantas (RAIJ & BATAGLIA, 1988).

Como, na prática, é impossível determinar-se exatamente a forma específica de um nutriente, os estudos são baseados em extratores que melhor se correlacionam com as quantidades absorvidas pelas plantas (RAIJ & BATAGLIA, 1988). A seguir, serão descritos os principais grupos de soluções extraoras e seus princípios.

### 2.3.1 Água

BERGER & TRUOG (1939) propuseram um método de extração com água quente, que tem sido usado principalmente para boro. Segundo RAIJ & BATAGLIA (1988) é o método mais usado até os dias de hoje e sempre um ponto-de-referência obrigatório para comparação com outros processos de extração.

O procedimento consiste na extração de micronutrientes do solo com água, na relação 1:2 e filtragem imediata após fervura por 5 minutos, sob refluxo, para evitar perda de água.

Segundo os mesmos autores, a extração com água tem sido testada para outros micronutrientes em trabalhos de pesquisa, principalmente para molibdênio e manganês. A determinação por esse processo é mais eficiente para teores tóxicos de micronutrientes, os quais, sendo mais elevados, permitem resultados mais confiáveis.

### 2.3.2. Soluções salinas

Com as soluções salinas procura-se extrair os teores de nutrientes denominados trocáveis. Essas determinações são feitas utilizando-se sais neutros ou soluções tamponadas a pH pré-fixado. O princípio, segundo LINDSAY & COX (1985) é de que os extratores salinos deslocam íons trocáveis levando-os à solução do solo durante o processo de extração, e provavelmente diminuindo a possibilidade de reabsorção por formarem complexos na solução, como acontece com a solução extratora de acetato de amônio 1 N a pH 7,0, que se adapta bem para a extração de micronutrientes de caráter catiónico. É provável que o íon amônio favoreça a extração por formar complexos com esses metais (RAIJ & BATAGLIA, 1988).

Segundo os mesmos autores, outras soluções salinas preparadas com nitrato de magnésio, cloreto de cálcio, nitrato de cálcio, cloreto de potássio, etc, podem ser usadas sem nenhuma justificativa especial para escolha de uma ou outra.

### 2.3.3. Soluções ácidas ou básicas

Os níveis de micronutrientes na solução do solo e nos pontos de troca são muito baixos. Por este motivo são usadas soluções extratoras contendo ácidos ou bases fortes, que liberam formas lábeis, avaliando, com melhor eficiência do que as soluções que apenas tratam da troca de íons, a disponibilidade de micronutrientes do solo para as plantas (LINDSAY & COX, 1985).

O íon  $H^+$  proveniente do ácido atua deslocando os

elementos para a solução do solo, por ser preferencialmente adsorvido pelo sistema solo. O ânion acompanhante, dependendo de sua natureza e afinidade, se junta com os micronutrientes deslocados, impedindo que estes sejam readsorvidos durante o processo de extração.

De acordo com LINDSAY & COX (1985), ácidos diluídos têm sido usados em solos ácidos, enquanto bases como carbonatos e bicarbonatos são mais usadas em solos alcalinos.

A maior probabilidade de sucesso com os extratores ácidos é obtida quando esses são usados em solos com caulinita na fração argila do que em solos jovens com abundância de bases ainda presente.

Pelo efeito solubilizante que esses ácidos apresentam, provavelmente serão extraídos teores solúveis em água, trocáveis e parte dos elementos complexados ou adsorvidos na superfície de óxidos de ferro e alumínio, que são característicos da maioria dos solos do Brasil.

#### 2.3.4. Soluções complexantes e agentes quelantes

Segundo VIETS & LINDSAY (1973) as soluções complexantes ou agentes quelantes têm se constituído num dos métodos de análise mais promissores para micronutrientes de caráter catiónico. Esses agentes, ao serem adicionados às soluções extratoras, reagem com o íon metal livre na solução, formando complexos.

A atividade do íon livre na solução diminui, rompendo o equilíbrio e, conseqüentemente, a fase sólida libera nutrientes na forma lábil para a solução do solo, encaminhando

para a formação de complexos. A quantidade de íons complexados que se acumulam na solução durante a extração, é função da atividade inicial do íon metal (fator intensidade) e da habilidade do solo em suprir esses íons (fator capacidade). Os agentes quelantes simulam a remoção de nutrientes pelas raízes e o reabastecimento pelo solo.

Outra grande vantagem dos agentes quelantes sobre os extratores ácidos e sais neutros é que o pH, durante a extração, pode ser mantido perto do pH natural do solo.

Uma observação interessante feita por RAIJ & BATAGLIA (1988) e que ajuda na compreensão do método é que o complexante na solução extratora torna-se um repositório do micronutriente que está sendo extraído.

#### 2.4. Métodos de análises para micronutrientes

As técnicas mais comuns na seleção de métodos de análise consistem nas seguintes alternativas: cultivo de uma planta em vasos contendo diferentes solos, com teores variados do nutriente testado; variação artificial dos teores do nutriente através da aplicação de diferentes doses; relacionamento dos teores de solos com os de folhas de amostras obtidas em condições de campo (RAIJ & BATAGLIA, 1988).

Para a escolha do melhor método é feito o cálculo de correlações simples ( $r$ ) entre matéria seca produzida, o teor do elemento na planta, e a quantidade absorvida pela planta com os teores do solo extraídos por diferentes métodos, admitindo-se esse último parâmetro como o

mais adequado, uma vez que a extração feita pela planta é o melhor índice de disponibilidade do nutriente no solo (HAUSER, 1973). A preferência é dada àquele método que apresentar maiores valores de coeficientes de correlação.

Entretanto, soluções extratoras no laboratório têm que se mostrar eficientes na identificação de possíveis respostas ao nutriente em campo, exigindo trabalhos de correlação e calibração em experimentos de campo numa segunda etapa (LOPES & CARVALHO, 1988).

Segundo os mesmos autores um dos maiores problemas para avaliação da disponibilidade de micronutrientes na produção de culturas tropicais e subtropicais tem sido o grande número de métodos de extração atualmente em uso (LOPES & CARVALHO, 1988).

#### 2.4.1. Boro

O extrator mais freqüentemente aceito e utilizado com eficiência comprovada na avaliação da disponibilidade de boro é a água quente. REISENAUER et alii. (1973) citam vários autores que, usando esse método, obtiveram correlações significativas para as culturas de alfafa, trigo, girassol, milho, algodão e nabo.

Resultados semelhantes foram obtidos por COX & KAMPRATH (1972), ressaltando os autores que os extratores ácidos são piores ou não superiores do que a extração com água quente.

Em revisão sobre técnicas de avaliação da disponibilidade de boro para as plantas, FARRAR (1975)

referiu-se a ácidos, bases e sais diluídos e a refinamentos no método da água quente, concluindo que até àquela data não haviam evidências do surgimento de uma técnica que destituísse o extrator água quente da posição de índice padrão de disponibilidade de boro.

Outros trabalhos reforçam a tendência de ser o método de extração com água quente o mais eficaz para avaliar-se a disponibilidade de boro nos solos (BERGER & TRUOG, 1940; ROBERTSON et alii 1975; GESTRING & SOLTANPOUR, 1984; VANDERLEI, 1984; BATAGLIA & RAIJ, 1989).

Entretanto não são raras as ocorrências de baixas ou nenhuma correlação (MARTENS, 1968; PARKER & GARDNER, 1982). As altas correlações estão frequentemente associadas à presença de doses de adubação boratada (BARTZ, 1974; GESTRING & SOLTANPOUR, 1984; RIBEIRO & TUCUNANGO SARABIA, 1984).

Tal como foi proposto por BERGER & TRUOG (1939) o método é trabalhoso, demorado, de alto custo e apresenta sérias limitações nas análises de rotina. Incentivados pelas boas correlações muitas vezes obtidas, pesquisadores vêm tentando aprimorá-lo na busca de simplificações e refinamentos que permitam adequá-lo ao trabalho de rotina em laboratórios de modo a ampliar sua aplicabilidade (DIBLE et alii 1954; GUPTA, 1967; JOHN, 1973; FERREIRA & CRUZ, (1984).

Soluções diluídas de ácidos e sais são frequentemente propostas e comparadas com água quente como índices de disponibilidade de boro, com as vantagens de possibilitar o processamento simples e barato, além de servir para extração conjunta de outros nutrientes do solo.

CATANI et alii (1970) obtiveram resultados promissores com ácido acético 0,05 N quando comparado ao  $H_2SO_4$  0,05 N, com a vantagem de apresentar extratos claros. PONNANPERUMA et alii (1981), em solos cultivados com arroz em regime de inundação e CORREA et alii (1985) em solos que receberam aplicação de boro em cultura de café, obtiveram melhores correlações com HCl 0,05N que com água quente. Em trabalhos realizados por BARTZ & MAGALHÃES (1975) e CRUZ & FERREIRA (1984) os extratores ácidos HCl 0,05N,  $H_2SO_4$  0,05N e ácido acético apresentaram eficiência semelhante à do extrator água quente.

Uma mistura de  $CaCl_2$  0,01M - Manitol foi proposta por CARTWRIGHT et alii (1983) como extrator de boro, dada a sua simplicidade e eficiência, equivalentes à da água quente. Também utilizando Manitol e cultivando milho em vasos, JIN et alii (1988) obtiveram correlações significativas entre o teor de boro na matéria seca e o extraído com Manitol equivalente ao extraído com água quente.

TEDESCO et alii (1985) propuseram a extração de boro com uma solução de  $CaCl_2$  0,01M mediante aquecimento em blocos digestores. Os autores afirmam ter conseguido boa correlação com o método de extração com água quente, além de um bom rendimento analítico. Testado por BATAGLIA & RAIJ (1990) em solos do Estado de São Paulo, o  $CaCl_2$  0,01M a quente mostrou-se um método promissor, embora, como salientam os autores, apresente algumas desvantagens como a necessidade de centrifugação e filtração para a obtenção de extratos claros.

#### 2.4.2. Cobre

Estudos de seleção de métodos para extração de cobre dos solos são, de certa forma, abundantes na literatura mundial. Para solos brasileiros, contudo, as pesquisas são de número muito reduzido.

Trabalhos recentes mostram perspectivas de um método adequado para análise do cobre nos solos brasileiros. Mas há necessidade de mais estudos, para que se alcance a definição do método ideal (CRUZ 1988, BATAGLIA & RAIJ, 1988).

Dentre as soluções extratoras freqüentemente propostas e usadas como índices de disponibilidade de cobre em solos, encontram-se as soluções diluídas de ácidos e sais e as soluções com agentes complexantes.

Pelos dados disponíveis na literatura, há evidências de que as soluções ácidas se comportaram com eficiência em vários estudos, porém não são raras as ocorrências de melhores respostas obtidas com soluções salinas e complexantes.

PONNAMPERUMA et alii (1981), testando soluções ácidas, salinas e complexantes, observaram que o cobre extraído com a solução de HCl 0,05N apresentou correlação mais alta com a concentração do nutriente nas plantas. Foram utilizadas 33 amostras de solos submersos cultivados com arroz. Também utilizando solos em regime de inundação cultivados com arroz, com reação desde ácida até alcalina, SELVARAJAH et alii (1982) observaram que nenhum dos métodos utilizados, dentre eles HCl 0,05N, apresentou correlação significativa entre o cobre extraído e o absorvido pelo arroz.

Em outro trabalho que utilizou amostras de solos com pH variando de 3,3 a 8,5, o HCl, numa concentração mais elevada (0,1 N), mostrou-se o mais eficiente para prever a disponibilidade de cobre (TIWARI & KUMAR, 1982).

Entretanto, em outros estudos de comparação de métodos tanto o HCl 0,05 N (LOMBIM, 1983) como o HCl 0,1N (BATAGLIA & RAIJ, 1988) se mostraram eficientes e equivalentes aos outros métodos

Soluções de agentes complexantes têm sido usadas em vários trabalhos e têm se mostrado eficientes extratores de cobre disponível no solo para as plantas. Em trabalho de seleção de métodos para avaliação do cobre disponível, CRUZ (1988) obteve melhores resultados com a solução extratora Na<sub>2</sub>-EDTA 1,0%, utilizando o milho como planta teste, cultivado em solos da região de Jaboticabal, SP. Salienta a autora que extratores como HCl 0,1N, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 N e DTPA não devem ser rejeitados, em vista dos bons resultados obtidos.

EDLIN et alii (1983) compararam a eficiência dos extratores DTPA, EDTA + (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> CO<sub>3</sub>, HCl 0,1 N e CH<sub>3</sub> COONH<sub>4</sub> 1,0 N pH 7,0 para cobre disponível em solos canadenses, com pH variando de 6,9 a 7,9. Os melhores resultados foram conseguidos com DTPA, e EDTA + (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> CO<sub>3</sub>, respectivamente. Respostas semelhantes foram obtidas por KAMASHO & SINGH (1982) quando, trabalhando com solos da Tanzânia, avaliaram o grau de eficiência dos extratores HCl 0,1 N, EDTA 0,05 M e DTPA.

McLAREM et alii (1984) analisaram amostras de solos e plantas de 182 locais, abrangendo 8 séries de solos da Nova Zelândia. O método usado para extração de cobre dos solos

foi o Na<sub>2</sub> EDTA 0,04 M pH 6,0. Eles encontraram coeficientes de correlação entre a concentração de cobre nas plantas e o cobre extraído pelo método igual a 0,53<sup>\*\*</sup> (significativo a 1%, tanto nas camadas superficiais quanto nas do subsolo. Quando a correlação foi calculada com as médias de cada série de solos, o valor do r obtido aumentou para 0,87<sup>\*\*</sup>, evidenciando a eficiência do método neste estudo.

Em estudo mais abrangente, coordenado por SILLAMPAA (1982) e desenvolvido na Finlândia, foram avaliados os teores de cobre de 3.537 amostras de solos de 30 países, utilizando o método do acetato ácido de amônio - EDTA (AAAc - EDTA). Considerando todas as amostras, o valor do coeficiente de correlação obtido entre o cobre extraído pelo trigo e o extraído pelo método foi de  $r = 0,664^{**}$ . Analisando somente os dados obtidos em solos brasileiros (58 amostras da região sul e Estado de São Paulo), o valor do coeficiente de correlação foi de  $r = 0,649^{**}$ . Segundo o autor, a maioria das amostras analisadas do Brasil apresentaram elevados teores de cobre nos solos, sugerindo até um excesso do elemento em nossas condições. Contudo, respostas à adubação com cobre foram observadas em outros estudos (FERNANDES, 1971; HOROWITZ & DANTAS, 1973; MALAVOLTA, 1973; MARINHO & ALBUQUERQUE, 1981; GALRÃO, 1988a).

Para o cobre, no presente, a definição do melhor método ainda necessita de mais estudos. Entretanto, soluções de agentes quelantes ou de ácidos diluídos cuidadosamente selecionadas podem ser utilizadas até que se disponha de maior número de informações a respeito.

### 2.4.3. Zinco

Os métodos de análise de solos usados nos laboratórios na região tropical para o zinco incluem vários extratores ácidos em diferentes concentrações, extratores salinos e agentes quelantes, variando, para todos os casos, a relação solo/solução de 1:1 a 1:20 (LINDSAY & COX 1985).

Experimentos de campo e de casa de vegetação têm mostrado respostas variadas para os diversos métodos. As diferenças na eficiência dos métodos podem estar relacionadas com as características físicas e químicas dos solos e/ou características intrínsecas da própria cultura a ser testada.

MURAOKA et alii (1983), utilizando vários solos com diferentes características físicas e químicas e diferentes métodos de análise, concluiu que os extratores que se destacaram para avaliar o zinco absorvido pela planta e o extraído do solo foram o DTPA e o EDTA +  $\text{CaCl}_2$  modificados (pH semelhante ao do solo). Esses resultados foram confirmados com os trabalhos de IYEWGAR & DEB (1978), RIBEIRO & TUCUNANGO SARABIA (1984).

Em outro estudo em casa de vegetação, LANTMANN & MEURER (1982) trabalhando com dez solos representativos do Rio Grande do Sul, com e sem calagem, testaram a eficiência de três métodos químicos (HCl 0,1N, MEHLICH I e Na<sub>2</sub> EDTA 0,1M). Sugeriram que o extrator mais viável para avaliar a relação do Zn absorvido pelo milho com o Zn extraído dos solos foi o Na<sub>2</sub> EDTA 0,1M a pH 6,0, para todas as situações.

Por outro lado, em estudo recente, BATAGLIA &

RAIU (1989) utilizando 26 solos do Estado de São Paulo apresentando variabilidade muito grande em características químicas e físicas e cultivando sorgo e girassol, concluíram que os extratores ácidos Mehlich e HCl 0,1N e os complexantes EDTA e DTPA foram igualmente eficientes na determinação de zinco nos solos estudados. Trabalhando com os mesmos extratores (Mehlich I, HCl 0,1N, NaEDTA e DTPA) porém, utilizando amostras de solos pertencentes às classes dos hidromórficos (Glei Pouco Húmico, Glei Húmico e Orgânico) e Aluvial, Paula et alii (1991), concluíram que o extrator Mehlich e o HCl 0,1N foram os mais eficientes na avaliação do zinco disponível em solos de várzea para a cultura do arroz, quando determinado em casa de vegetação.

É consenso geral dos pesquisadores a influência do pH do solo na disponibilidade dos micronutrientes para as plantas. Dessa forma, parece conveniente que o extrator tenha capacidade de discriminar o efeito do pH sobre essa disponibilidade.

Especificamente trabalhando com zinco, MACHADO & PAVAN (1987) observaram em solos com vários níveis de pH que os extratores ácidos foram os mais eficientes para a extração do zinco em solos com pH menor que 5,5 e os quelatizantes EDTA e DTPA, para condições de pH maior que 6,2. Entretanto, COFFMAN & MILLER (1973), constataram que em solos com pH na faixa de 5,0 a 7,1, os melhores resultados foram obtidos com extrator HCl 0,1N

CAMARGO et alii (1982) verificaram que o DTPA foi o único extrator que permitiu discriminação nos teores de

zincos dos solos que tiveram seu pH elevado devido à calagem. Possivelmente por serem os extratores ácidos suficientemente energéticos para superar os efeitos da calagem, acidificando o solo durante o período de agitação, eles acabam solubilizando os micronutrientes. HAQ & MILLER (1972) também observaram a superioridade do DTPA em discriminar o efeito do pH na disponibilidade do zinco em solos de Ontário (Canadá).

Em outra situação, WEAR & EVANS (1968), trabalhando com doze solos de textura arenosa e EVANS et alii (1974) com onze solos de textura argilosa, observaram superioridade do extrator de Mehlich ( $\text{HCl } 0,05\text{N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025\text{N}$ ) para prever a disponibilidade de zinco.

Atualmente, a tendência que pode ser observada é a utilização de soluções ácidas (Mehlich,  $\text{HCl } 0,1\text{N}$ ,  $\text{HCl } 0,05\text{N}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,05\text{M}$ ) e soluções de agentes complexantes (DTPA e EDTA), por apresentarem eficiência na extração do zinco disponível do solo. Soluções salinas, de modo geral, revelam baixa capacidade de extração (FERREIRA & CRUZ, 1988; BATAGLIA & RAIJ, 1988).

Apesar do consenso existente entre pesquisadores a respeito de métodos eficientes para prever a disponibilidade de um ou de outro micronutriente, é necessário e muito importante a padronização desses métodos entre os laboratórios de análises de solo, principalmente em nível regional, possibilitando, dessa maneira, comparações dos resultados obtidos.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Unidades de solo

Para a realização dos estudos foram utilizados materiais de 21 solos de várzea coletados no Estado de Minas Gerais, devidamente escolhidos, visando abranger diferentes classes de solos, obtendo-se também, uma gama de diferentes propriedades físicas e químicas dos mesmos. Nos quadros 1 e 2 estão apresentados os resultados de análises de caracterização, assim como os municípios onde foram coletadas as amostras.

Com o objetivo de diminuir interferências nos resultados do presente estudo, foi dada preferência a solos que não haviam sido cultivados, sob vegetação natural, ou aqueles que haviam sido cultivados, porém, sem resíduos do último cultivo.

#### 3.2. Coleta e preparo dos materiais do solo

O material do solo foi coletado na camada de C - 20 cm nos diferentes solos, tomando-se o cuidado de retirar-se a vegetação presente na superfície. Após a coleta, as amostras foram levadas ao laboratório destorroadas, secas à sombra e passadas em peneiras com malha de 5 mm de abertura. Ao mesmo

tempo, foram coletadas sub-amostras dos diferentes materiais de solo e passadas em peneira de 2mm de abertura, para serem caracterizadas física e quimicamente.

QUADRO 1 - Características dos solos usados no experimento e municípios de coleta (solos originais).

| Solo | pH  | CTC<br>meq/100 cm <sup>3</sup> | Mat.     |        |       | Municípios |                 |
|------|-----|--------------------------------|----------|--------|-------|------------|-----------------|
|      |     |                                | Orgânica | Argila | Silte |            |                 |
|      |     |                                | %        |        |       |            |                 |
| 1    | 4,7 | 14,8                           | 3,9      | 82     | 15    | 3          | Careáçu         |
| 2    | 5,0 | 13,9                           | 5,3      | 78     | 18    | 4          | Careáçu         |
| 3    | 4,4 | 12,6                           | 2,3      | 58     | 30    | 12         | Arcos           |
| 4    | 5,0 | 26,3                           | 17,4     | 54     | 35    | 11         | Careáçu         |
| 5    | 4,3 | 17,8                           | 8,5      | 58     | 30    | 12         | Careáçu         |
| 6    | 5,3 | 8,0                            | 2,2      | 61     | 25    | 14         | Pavão           |
| 7    | 5,8 | 13,2                           | 2,2      | 38     | 53    | 9          | Pres. Juscelino |
| 8    | 4,7 | 13,0                           | 6,1      | 31     | 63    | 6          | Manjolos        |
| 9    | 5,0 | 12,1                           | 3,1      | 42     | 18    | 40         | Varginha        |
| 10   | 4,8 | 6,7                            | 1,6      | 18     | 11    | 71         | Varginha        |
| 11   | 5,1 | 15,2                           | 3,9      | 38     | 51    | 11         | Curvelo         |
| 12   | 5,4 | 8,7                            | 1,7      | 44     | 37    | 19         | Areado          |
| 13   | 5,5 | 12,8                           | 2,5      | 40     | 51    | 9          | Jequitinhonha   |
| 14   | 5,5 | 10,7                           | 3,1      | 31     | 28    | 41         | Rio Pardo Minas |
| 15   | 5,1 | 7,8                            | 2,4      | 61     | 17    | 22         | Ganhães         |
| 16   | 6,2 | 12,7                           | 1,4      | 41     | 14    | 45         | Aimorés         |
| 17   | 4,6 | 8,7                            | 2,6      | 53     | 26    | 21         | SJ Nepomucenc   |
| 18   | 4,8 | 8,7                            | 2,5      | 50     | 20    | 30         | Rio Novo        |
| 19   | 4,8 | 16,0                           | 10,2     | 37     | 31    | 32         | Lambari         |
| 20   | 5,5 | 8,0                            | 2,2      | 73     | 13    | 14         | Careáçu         |
| 21   | 5,7 | 8,0                            | 2,1      | 72     | 13    | 15         | Careáçu         |

QUADRO 2 - Resultados analíticos das amostras dos 21 solos estudados (solo original).

| Solo | pH  | P K   |     | Ca  | Mg  | Al  | H+Al | S    | t    | T    | m V                       |    |
|------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|---------------------------|----|
|      |     | (ppm) |     |     |     |     |      |      |      |      | (meq/100cm <sup>3</sup> ) |    |
| 1    | 4,7 | 17    | 55  | 1,6 | 0,8 | 1,6 | 12,3 | 2,5  | 4,1  | 14,8 | 39                        | 17 |
| 2    | 5,0 | 5     | 75  | 2,6 | 2,3 | 0,3 | 8,8  | 5,1  | 5,4  | 13,9 | 6                         | 37 |
| 3    | 4,4 | 7     | 105 | 2,5 | 1,0 | 1,2 | 8,8  | 3,8  | 5,0  | 12,6 | 24                        | 30 |
| 4    | 5,0 | 27    | 75  | 1,2 | 0,3 | 3,0 | 24,6 | 1,7  | 4,7  | 26,3 | 64                        | 6  |
| 5    | 4,3 | 31    | 59  | 0,6 | 0,2 | 2,2 | 16,6 | 1,0  | 3,2  | 17,6 | 70                        | 5  |
| 6    | 5,3 | 3     | 36  | 1,4 | 0,9 | 0,5 | 5,6  | 2,4  | 2,9  | 8,0  | 17                        | 30 |
| 7    | 5,8 | 20    | 119 | 8,0 | 1,8 | 0,1 | 3,2  | 10,1 | 10,2 | 13,3 | 1                         | 76 |
| 8    | 4,7 | 21    | 53  | 1,8 | 0,1 | 1,4 | 11,0 | 2,0  | 3,4  | 13,0 | 41                        | 16 |
| 9    | 5,0 | 5     | 48  | 2,8 | 1,3 | 0,3 | 7,9  | 4,2  | 4,5  | 12,1 | 7                         | 35 |
| 10   | 4,8 | 5     | 97  | 1,3 | 1,2 | 0,3 | 4,0  | 2,7  | 3,0  | 6,7  | 10                        | 41 |
| 11   | 5,1 | 8     | 133 | 5,8 | 1,2 | 0,2 | 7,9  | 7,3  | 7,5  | 15,2 | 3                         | 48 |
| 12   | 5,4 | 8     | 83  | 3,4 | 1,1 | 0,1 | 4,0  | 4,7  | 4,8  | 8,7  | 2                         | 54 |
| 13   | 5,5 | 8     | 190 | 5,8 | 2,9 | 0,1 | 3,6  | 9,2  | 9,2  | 12,8 | 1                         | 72 |
| 14   | 5,5 | 4     | 84  | 4,1 | 2,4 | 0,1 | 4,0  | 6,7  | 6,8  | 10,7 | 1                         | 63 |
| 15   | 5,1 | 10    | 154 | 2,3 | 1,1 | 0,1 | 4,0  | 3,8  | 3,9  | 7,8  | 3                         | 49 |
| 16   | 6,2 | 28    | 188 | 7,9 | 2,2 | 2,2 | 2,1  | 10,6 | 10,7 | 12,7 | 1                         | 83 |
| 17   | 4,6 | 5     | 28  | 1,3 | 1,0 | 1,0 | 6,3  | 2,4  | 3,0  | 8,7  | 20                        | 27 |
| 18   | 4,8 | 6     | 73  | 1,7 | 1,2 | 1,2 | 5,6  | 3,1  | 3,5  | 8,7  | 11                        | 36 |
| 19   | 4,8 | 18    | 48  | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 15,3 | 0,7  | 3,4  | 16,0 | 79                        | 5  |
| 20   | 5,5 | 2     | 90  | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 4,5  | 3,5  | 3,7  | 8,0  | 5                         | 44 |
| 21   | 5,7 | 2     | 100 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 3,6  | 4,4  | 4,5  | 8,0  | 2                         | 55 |

### 3.3. Análises de caracterização dos solos

À exceção da determinação de argila, silte e areia que foi feita com base no peso do solo, as demais determinações foram estabelecidas sempre com base no volume de solo.

### 3.3.1. Análises físicas

A análise granulométrica foi feita por dispersão das amostras usando princípios químicos (NaOH 0,1N) e físicos (agitação com baixa rotação). A separação da fração areia (2 a 0,053 mm) foi obtida por tamisagem, já as frações silte (0,053 mm a 0,002 mm) e argila (menor que 0,002 mm) foram determinadas segundo o método da pipeta (DAY, 1965).

O parâmetro porosidade total utilizado no cálculo de irrigação foi calculado a partir da expressão VIP (volume total de poros) =  $100 (1 - D_s/D_p)$  (VOMOCIL, 1965), sendo que a densidade do solo ( $D_s$ ) foi determinada a partir da densidade do material de solo no vaso e a densidade de partículas ( $D_p$ ) pelo método do picnômetro (BLAKE, 1965).

### 3.3.2. Análises químicas

Na caracterização química foram determinados: pH  $H_2O$ , Ca, Mg, Al, P e K conforme EMBRAPA (1979), onde Ca, Mg e Al foram extraídos pelo KCl 1N e P e K pelo HCl 0,05N +  $H_2SO_4$  0,025N (extrator de Mehlich I). Também foram realizadas as determinações da acidez potencial (H + Al) e carbono orgânico conforme RAIJ et alii (1987).

Quanto às análises dos micronutrientes boro, cobre e zinco, foram feitas através de três diferentes extratores para cada micronutriente, nas amostras originais de cada solo. (na forma que foram coletadas no campo) e após cada cultivo, para posterior estudos de correlação.

3.3.3. Extratores e técnicas de extração para micronutrientes B, Cu e Zn disponíveis do solo.

3.3.3.1. Determinação do boro disponível do solo

Para a extração do boro disponível dos solos foram empregados os seguintes métodos:

a) Água quente - Foram transferidos  $10 \text{ cm}^3$  de solos e 20 ml de água para vidros isentos de boro, os quais foram levados a chapa aquecida a uma temperatura de mais ou menos  $200^\circ\text{C}$ . Deixou-se ferver durante 5 minutos com um funil na boca dos vidros para condensação, em seguida os vidros foram retirados e deixados em repouso para decantação por uma noite. Na manhã seguinte, retirou-se o extrato sobrenadante.

b) Solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01M - A extração foi feita em bloco digestor. Transferiu-se  $5 \text{ cm}^3$  de solo e 10 ml de solução para os tubos; esses foram levados ao bloco a uma temperatura de  $140^\circ\text{C}$  e deixados durante sete minutos, com um funil na parte superior para condensação (TEDESCO et alii 1985). Em seguida procedeu-se à filtração do material com papel de filtro de filtragem lenta.

c) Solução de Mehlich - Utilizando-se de uma relação solo: solução de 1:2, procedeu-se à extração por agitação (durante 15 minutos) de  $10 \text{ cm}^3$  de solo e 20 ml de solução extratora ( $\text{HCl}$  0,05N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025N). Em seguida, obteve-se o extrato por meio de filtração do material, utilizando-se papel de filtro de filtragem lenta.

Para todos os métodos a quantificação foi feita com curcumina tomando-se 1 ml de extrato, e seguindo-se a

metodologia proposta por DIBLE et alii (1954).

### 3.3.3.2. Determinação de cobre e zinco disponível do solo

Foram empregados os mesmos métodos de extração tanto para o cobre como para o zinco, ou sejam:

a) Solução de Mehlich - Utilizando-se a solução extratora de duplo ácido HCl 0,05N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025N procedeu-se à extração com 10 cm<sup>3</sup> de solo e 40 ml de solução, por agitação, durante trinta minutos (LANTMANN & MEURER, 1982). Em seguida, obteve-se o extrato através de filtração com papel de filtro de filtragem lenta.

b) OLSEN + EDTA - O extrator de OLSEN + EDTA é composto por NaHCO<sub>3</sub> 0,5N e Na<sub>2</sub> EDTA 0,01M (sal dissódico de ácido etilenodiamino tetraacético), tendo o pH ajustado para 8,5 com NaOH 1N ou HCl 1N conforme sugerido por HUNTER, sd.

A extração foi feita com 2,5 cm<sup>3</sup> de solo e 25 ml de solução e agitação por 10 minutos. Após esse período, filtrou-se o material com papel de filtro de filtragem lenta, para obtenção do extrato.

c) DTPA - (ácido dietileno-triaminopentaacético) a solução desenvolvida por LINDSAY & NORVELL, (1978) consiste de DTPA 0,005M + CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O 0,01M + Trietanolamina (TEA) 0,1M, tendo o seu pH ajustado a 7,3. A extração foi feita utilizando-se 10 cm<sup>3</sup> de solo e 20 ml da solução. O tempo de agitação foi de duas horas, ao término da qual, a suspensão foi filtrada com papel de filtro de filtragem lenta, tipo Whatman 42, para obtenção do extrato.

Para todos os métodos empregados a quantificação do cobre e zinco foram feitas diretamente, empregando-se espectrofotometria de absorção atômica e padrões preparados nas respectivas soluções com concentrações adequadas.

#### 3.4. Instalação e condução do experimento

O experimento foi instalado na casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da ESAL (MG).

Realizaram-se dois cultivos sucessivos, utilizando-se arroz variedade INCA em vasos de plástico com capacidade para 3 dm<sup>3</sup>. A primeira semeadura se deu em 12/01/89 e a segunda em 27/09/89.

##### 3.4.1. Primeiro cultivo

Antes do primeiro cultivo, os solos foram incubados -quando necessário- com calcário para elevar a saturação em bases a 50%. Durante o período de incubação (60 dias) os vasos foram mantidos com a umidade de aproximadamente 60% do volume total de poros (baseada na pesagem). A água usada foi filtrada e deionizada, em seguida foram cobertos com jornal para evitar ressecamento da superfície.

Após o período de incubação foram realizadas as adubações básicas de plantio para o primeiro cultivo (Quadro 3). Os micronutrientes não foram fornecidos durante o cultivo, fazendo com que as plantas se desenvolvessem apenas com o que o solo continha naturalmente. O objetivo era avaliar-se a disponibilidade destes nos diferentes solos.

QUADRO 3. Doses, fontes e épocas de aplicação dos macronutrientes fornecidos no primeiro cultivo.

| Nutriente | dose<br>mg. dm <sup>-3</sup> | Época   |            | Fonte  |
|-----------|------------------------------|---------|------------|--|
|           |                              | Plantio | Cobertura* |  |
| N         | 20                           | X       |            | NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> |
|           | 20                           |         | 1º         | NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>                |
|           | 20                           |         | 2º         | NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>                |
|           | 20                           |         | 3º         | NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>                |
|           | 25                           |         | 4º         | CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>              |
| P         | 43,6                         | X       |            | NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> |
| K         | 41,5                         | X       |            | KCl  |
|           | 41,5                         |         | 4º         | KCl  |
| S         | 16,7                         | X       |            | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                |

- \* 1º cobertura: 15 dias após emergência  
 2º cobertura: 40 dias após emergência  
 3º cobertura: 60 dias após emergência  
 4º cobertura: 100 dias após emergência

Após a aplicação dos adubos, os solos dos vasos foram homogeneizados e aplicou-se água para atingir 60% do volume total de poros, tendo sido assim mantidos durante todo o período de cultivo através de 2 a 3 reposições diárias de água deionizada, baseadas em pesagens.

Realizou-se a semeadura do arroz distribuindo-se uniformemente 10 sementes por vaso. Sete dias após a emergência das plântulas fez-se o desbaste, deixando-se três plantas por vaso. Durante a condução do experimento, foram realizadas adubações de cobertura conforme demonstrado no quadro 3.

A colheita das plantas foi realizada depois da

emissão da panícula e começo do período de enchimento dos grãos, o qual se deu aproximadamente 120 dias após o período de emergência das plântulas, cortando-se a parte aérea rente à superfície do solo de cada vaso. As plantas foram lavadas com água corrente, água destilada e água deionizada, obedecendo esta ordem, tendo sido, a seguir, o material vegetal acondicionado em sacos de papel e levados a secar em estufa de circulação de ar forçada, na temperatura de 60 - 70 °C, até peso constante. Obtido o peso da matéria seca produzida, o material foi moído, homogeneizado e acondicionado em frascos de vidro para posterior análise química.

Visando avaliar, em maiores detalhes, o potencial de suprimento de micronutrientes dos solos em estudo, foi realizado um segundo cultivo, utilizando-se o mesmo solo de cada vaso. Após a secagem dos solos, estes foram novamente passados em peneira de 5 mm de abertura permitindo a retirada das raízes das plantas do cultivo anterior. Em seguida, eles foram novamente acondicionados em seus vasos. Ao mesmo tempo, amostras dos diferentes materiais foram coletadas e passadas em peneiras de 2 mm de abertura para serem analisadas quimicamente.

#### 3.4.2. Segundo cultivo

No segundo cultivo, tanto na instalação como na condução foram tomados basicamente os mesmos procedimentos já descritos para o primeiro cultivo. Alterou-se, entretanto, a forma e a quantidade dos macronutrientes por ocasião do plantio e em cobertura (Quadro 4). Foram semeadas 10 sementes da mesma

variedade (INCA). Após desbaste, permaneceram três plantas por vaso.

QUADRO 4 Doses, fontes e épocas de aplicação dos macronutrientes fornecidos no segundo cultivo.

| Nutriente | dose<br>mg. dm <sup>-a</sup> | Época   |                                 | Fonte   |
|-----------|------------------------------|---------|---------------------------------|---|
|           |                              | Plantio | Cobertura*                      |   |
| N         | 36                           | X       |                                 | KNO <sub>3</sub>  |
|           | 24                           | X       |                                 | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                     |
|           | 18                           |         | 1 <sup>o</sup> e 3 <sup>o</sup> | KNO <sub>3</sub>  |
|           | 42                           |         | 1 <sup>o</sup> e 3 <sup>o</sup> | CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>                                   |
|           | 36                           |         | 2 <sup>o</sup> e 5 <sup>o</sup> | KNO <sub>3</sub>  |
|           | 24                           |         | 2 <sup>o</sup> e 5 <sup>o</sup> | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                     |
|           | 60                           |         | 4 <sup>o</sup>                  | CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>                                   |
| P         | 200                          | X       |                                 | Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O |
| K         | 100                          | X       |                                 | KNO <sub>3</sub>  |
|           | 50                           |         | 1 <sup>o</sup> e 3 <sup>o</sup> | KNO <sub>3</sub>  |
|           | 100                          |         | 2 <sup>o</sup> e 5 <sup>o</sup> | KNO <sub>3</sub>  |
| S         | 27                           | X       |                                 | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                     |
|           | 27                           |         | 2 <sup>o</sup> e 5 <sup>o</sup> | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                     |
| Ca        | 129                          | X       |                                 | Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O |

- \* 1<sup>o</sup> cobertura: 20 dias após emergência  
 2<sup>o</sup> cobertura: 40 dias após emergência  
 3<sup>o</sup> cobertura: 70 dias após emergência  
 4<sup>o</sup> cobertura: 100 dias após emergência  
 5<sup>o</sup> cobertura: 120 dias após emergência

Da mesma maneira que no primeiro cultivo, efetuou-se o corte das plantas após a emissão da panícula e começo do período de enchimento dos grãos, que se deu aproximadamente 140 dias após o período de emergência das plântulas.

O material foi lavado e seco, tomando-se os

mesmos cuidados do primeiro cultivo. Após a obtenção do peso da matéria seca produzida, as amostras foram moídas, homogeneizadas e acondicionadas em frascos de vidro, para posterior análise química.

Vencida essa etapa, os solos de cada vaso foram passados novamente em peneira de 5 mm de abertura, proporcionando a retirada das raízes. Após homogeneização, amostras dos diferentes materiais foram retiradas e passadas em peneira de 2 mm, para serem submetidas a análises químicas.

### 3.5. Análises químicas da matéria seca

As amostras da parte aérea de ambos os cultivos foram submetidas à digestão nítrico-perclórica em bloco digestor, segundo SARRUGE & HAAG (1974). No extrato resultante, foi feita a determinação de cobre e zinco por espectrofotometria de absorção atômica.

Para a determinação de boro, as amostras foram submetidas à digestão por via seca (incineração), quantificando-se posteriormente o seu conteúdo através da técnica descrita por SARRUGE & HAAG (1974).

### 3.6. Análise estatística dos dados

O experimento foi instalado segundo o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 3 x 21 (3 extratores e 21 solos) com 3 repetições, totalizando 63 parcelas.

A interpretação dos resultados baseou-se

principalmente em correlações simples ( $r$ ), regressão linear e múltipla tipo Step Wise entre matéria seca produzida, teor do elemento na planta e quantidade acumulada na parte aérea, com o extraído do solo pelos diferentes métodos, admitindo esse último parâmetro como o mais adequado, uma vez que a extração feita pela planta é o melhor índice de disponibilidade do nutriente do solo.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1 Produção de matéria seca e composição mineral das plantas

Observa-se uma variabilidade muito grande nos solos estudados quanto a algumas características que afetam a disponibilidade dos micronutrientes para as plantas, tais como: teor de matéria orgânica; pH; capacidade de troca de cátions e teor de argila, conforme demonstrado no quadro 1. Entretanto, na grande maioria dos casos não foi observado diferença mínima significativa na produção de matéria seca entre os solos no mesmo cultivo (Quadro 5), possivelmente devido às correções de acidez e fertilidade realizadas nos mesmos.

Houve portanto, diferença significativa, na quantidade de matéria seca nos dois cultivos, sendo que, na grande maioria dos casos, a produção foi maior no segundo (Quadro 5). Uma possível explicação para o fato foi o aumento das quantidades de macronutrientes fornecidos por ocasião do plantio e coberturas no segundo cultivo, conforme pode ser constatado nos quadros 3 e 4. Outra possibilidade foi o maior tempo de reação do calcário, melhorando as condições químicas dos solos e inclusive aumentando a mineralização da matéria

orgânica pelos microorganismos, proporcionando um melhor balanço de nutrientes na solução do solo.

QUADRO 5 - Quantidades de matéria seca produzida pelas plantas de arroz nos 21 solos utilizados no experimento (1º e 2º cultivos)

| Solo | Cultivo |      | g/vaso |       |
|------|---------|------|--------|-------|
|      | 1º      |      | 2º     |       |
| 1    | 42,3 B  | abcd | 54,4 A | bcd   |
| 2    | 38,2 B  | abcd | 86,8 A | a     |
| 3    | 38,8 B  | abcd | 59,0 A | bcd   |
| 4    | 43,0 B  | abcd | 74,8 A | ab    |
| 5    | 40,3 B  | abcd | 72,2 A | abc   |
| 6    | 36,3 B  | bcd  | 68,2 A | abcd  |
| 7    | 29,8 B  | d    | 51,5 A | cdef  |
| 8    | 42,5 B  | abcd | 67,5 A | abcde |
| 9    | 52,4 A  | abc  | 55,9 A | bcdef |
| 10   | 55,7 B  | ab   | 73,9 A | ab    |
| 11   | 48,8 A  | abcd | 52,7 A | cdef  |
| 12   | 31,7 B  | cd   | 50,0 A | def   |
| 13   | 59,1 A  | a    | 41,1 B | f     |
| 14   | 49,1 A  | abcd | 58,7 A | bcdef |
| 15   | 46,4 B  | abcd | 63,3 A | bcde  |
| 16   | 54,7 A  | ab   | 64,7 A | bcde  |
| 17   | 41,5 B  | abcd | 63,9 A | bcde  |
| 18   | 39,0 B  | abcd | 56,9 A | bcdef |
| 19   | 35,2 B  | bcd  | 46,8 A | ef    |
| 20   | 41,0 B  | abcd | 64,2 A | bcde  |
| 21   | 39,4 B  | abcd | 55,7 A | bcdef |

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Letras maiúsculas, comparação horizontal (DMS = 11,3)

Letras minúsculas, comparação vertical (DMS = 21,0)

De um modo geral, a concentração de Zn no tecido vegetal das plantas diminuiu no segundo cultivo (Quadro 6), resultando na diminuição das quantidades acumuladas na parte

QUADRO 8 - Teores de boro, cobre e zinco nas plantas de arroz cultivados nos 21 solos usados no experimento (1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> cultivos).

| Solo | B              |                | Cu             |                | Zn             |                |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|      | Cultivo        |                |                |                |                |                |
|      | 1 <sup>o</sup> | 2 <sup>o</sup> | 1 <sup>o</sup> | 2 <sup>o</sup> | 1 <sup>o</sup> | 2 <sup>o</sup> |
| ppm  |                |                |                |                |                |                |
| 1    | 9,5            | 6,7            | 9,7            | 6,6            | 61,3           | 25,5           |
| 2    | 12,2           | 8,3            | 7,1            | 5,4            | 35,6           | 13,7           |
| 3    | 12,2           | 10,2           | 9,5            | 8,4            | 117,21         | 50,2           |
| 4    | 10,1           | 7,8            | 7,9            | 7,3            | 56,5           | 30,6           |
| 5    | 9,0            | 6,7            | 8,9            | 7,4            | 34,8           | 18,5           |
| 6    | 9,5            | 9,1            | 2,4            | 3,9            | 73,3           | 30,4           |
| 7    | 8,7            | 13,7           | 6,0            | 6,8            | 40,6           | 43,6           |
| 8    | 7,5            | 6,1            | 8,0            | 6,6            | 43,1           | 24,2           |
| 9    | 10,4           | 5,3            | 8,6            | 7,1            | 55,3           | 28,2           |
| 10   | 12,4           | 8,0            | 6,0            | 8,9            | 60,1           | 41,3           |
| 11   | 14,5           | 14,6           | 6,0            | 7,6            | 56,0           | 33,1           |
| 12   | 9,6            | 6,3            | 5,1            | 6,8            | 40,4           | 25,9           |
| 13   | 12,2           | 16,5           | 4,5            | 8,0            | 78,3           | 54,0           |
| 14   | 9,1            | 9,5            | 3,9            | 6,9            | 33,0           | 24,1           |
| 15   | 10,7           | 12,4           | 5,2            | 8,8            | 59,8           | 26,5           |
| 16   | 6,8            | 11,3           | 4,7            | 7,2            | 39,6           | 28,3           |
| 17   | 11,7           | 13,9           | 7,7            | 7,4            | 62,7           | 42,5           |
| 18   | 11,9           | 8,5            | 10,7           | 8,6            | 107,9          | 52,9           |
| 19   | 7,5            | 11,0           | 8,3            | 7,2            | 28,5           | 14,4           |
| 20   | 9,7            | 12,8           | 5,5            | 6,5            | 18,8           | 10,6           |
| 21   | 8,0            | 13,0           | 5,4            | 6,3            | 13,6           | 9,3            |

aérea, na grande maioria dos solos (Quadro 7), provavelmente por uma alta exigência desse elemento pelas plantas de arroz, implicando numa diminuição da disponibilidade. Outra hipótese foi a ocorrência de uma interação P-Zn. Nos dados apresentados no quadro 8 observa-se um aumento nos teores de P nas amostras analisadas após o segundo cultivo, o que pode ter contribuído

QUADRO 7 - Quantidades acumuladas na parte aérea em mg/vaso de boro, cobre e zinco pelas plantas de arroz cultivadas nos 21 solos usados no experimento (1º e 2º cultivos).

| Solo | B       |      | Cu   |      | Zn   |      |
|------|---------|------|------|------|------|------|
|      | Cultivo |      |      |      |      |      |
|      | 1º      | 2º   | 1º   | 2º   | 1º   | 2º   |
|      | mg/vaso |      |      |      |      |      |
| 1    | 0,40    | 0,36 | 0,41 | 0,36 | 2,59 | 1,33 |
| 2    | 0,47    | 0,72 | 0,27 | 0,47 | 1,36 | 1,19 |
| 3    | 0,47    | 0,60 | 0,37 | 0,50 | 4,55 | 2,96 |
| 4    | 0,44    | 0,58 | 0,34 | 0,54 | 2,43 | 2,28 |
| 5    | 0,36    | 0,48 | 0,36 | 0,53 | 1,40 | 1,33 |
| 6    | 0,35    | 0,62 | 0,09 | 0,26 | 2,66 | 2,07 |
| 7    | 0,26    | 0,70 | 0,18 | 0,35 | 1,21 | 2,25 |
| 8    | 0,32    | 0,41 | 0,34 | 0,45 | 1,83 | 1,64 |
| 9    | 0,55    | 0,30 | 0,45 | 0,40 | 2,90 | 1,58 |
| 10   | 0,69    | 0,59 | 0,33 | 0,66 | 3,35 | 3,05 |
| 11   | 0,71    | 0,77 | 0,29 | 0,40 | 2,73 | 1,74 |
| 12   | 0,31    | 0,31 | 1,16 | 0,34 | 1,28 | 1,29 |
| 13   | 0,72    | 0,68 | 0,27 | 0,33 | 4,63 | 2,22 |
| 14   | 0,45    | 0,56 | 0,19 | 0,40 | 1,62 | 1,41 |
| 15   | 0,50    | 0,79 | 0,24 | 0,56 | 2,77 | 1,68 |
| 16   | 0,37    | 0,73 | 0,26 | 0,46 | 2,16 | 1,83 |
| 17   | 0,49    | 0,89 | 0,32 | 0,47 | 2,60 | 2,72 |
| 18   | 0,46    | 0,48 | 0,42 | 0,49 | 4,21 | 3,02 |
| 19   | 0,27    | 0,52 | 0,29 | 0,34 | 1,01 | 0,67 |
| 20   | 0,40    | 0,82 | 0,23 | 0,42 | 0,77 | 0,68 |
| 21   | 0,32    | 0,73 | 0,21 | 0,35 | 0,54 | 0,52 |

para uma menor absorção de Zn pelas plantas. De acordo com OLSEN (1972), em geral, há uma tendência do Zn de acumular nos pontos próximos aos locais de absorção, especificamente nas raízes. A baixa mobilidade do Zn dentro da planta acentua o acúmulo preferencial nas raízes, principalmente nos casos de deficiência induzida pela aplicação de P. Há indicação que o P aplicado interfere na translocação do Zn para a parte aérea.

QUADRO 8 - Resultados analíticos das amostras dos 21 solos estudados (após o primeiro e segundo cultivos).

| Solo | após 1º cultivo |          |     |     |               |                       |      | após 2º cultivo |          |     |     |               |                       |      |
|------|-----------------|----------|-----|-----|---------------|-----------------------|------|-----------------|----------|-----|-----|---------------|-----------------------|------|
|      | pH              | P<br>ppm | K   | Ca  | Mg<br>meq/100 | Al<br>cm <sup>3</sup> | H+Al | pH              | P<br>ppm | K   | Ca  | Mg<br>meq/100 | Al<br>cm <sup>3</sup> | H+Al |
| 01   | 5,5             | 16       | 35  | 4,3 | 1,8           | 0,1                   | 5,8  | 5,8             | 59       | 103 | 4,7 | 1,3           | 0,1                   | 5,6  |
| 02   | 5,4             | 7        | 63  | 4,0 | 2,7           | 0,1                   | 6,8  | 5,5             | 17       | 86  | 3,8 | 1,9           | 0,2                   | 6,3  |
| 03   | 5,1             | 7        | 67  | 3,4 | 1,0           | 0,2                   | 4,3  | 5,7             | 21       | 99  | 3,5 | 0,7           | 0,2                   | 4,1  |
| 04   | 5,6             | 28       | 59  | 6,7 | 3,5           | 0,1                   | 8,5  | 5,4             | 69       | 69  | 6,4 | 2,1           | 0,2                   | 9,1  |
| 05   | 5,6             | 32       | 37  | 5,1 | 2,3           | 0,1                   | 6,8  | 5,7             | 71       | 54  | 5,1 | 1,4           | 0,2                   | 7,6  |
| 06   | 5,1             | 3        | 25  | 2,1 | 0,7           | 0,2                   | 4,0  | 5,5             | 22       | 43  | 1,4 | 0,2           | 0,3                   | 4,7  |
| 07   | 5,8             | 17       | 100 | 7,2 | 1,4           | 0,1                   | 2,7  | 6,0             | 42       | 137 | 7,2 | 0,1           | 0,1                   | 3,3  |
| 08   | 5,6             | 22       | 36  | 4,1 | 0,8           | 0,3                   | 6,3  | 5,8             | 71       | 60  | 4,3 | 0,2           | 0,2                   | 7,0  |
| 09   | 5,0             | 5        | 22  | 3,5 | 0,9           | 0,3                   | 6,3  | 5,5             | 25       | 103 | 3,5 | 0,4           | 0,2                   | 7,0  |
| 10   | 4,9             | 6        | 64  | 1,6 | 0,6           | 0,4                   | 3,7  | 5,8             | 23       | 94  | 1,9 | 0,3           | 0,5                   | 4,5  |
| 11   | 5,0             | 8        | 68  | 6,1 | 0,6           | 0,4                   | 7,3  | 5,4             | 34       | 132 | 5,8 | 0,2           | 0,3                   | 7,3  |
| 12   | 5,1             | 7        | 68  | 3,2 | 0,5           | 0,2                   | 3,3  | 5,7             | 25       | 134 | 3,2 | 0,3           | 0,1                   | 4,0  |
| 13   | 5,1             | 7        | 104 | 6,1 | 2,3           | 0,1                   | 3,9  | 5,8             | 35       | 140 | 5,9 | 1,9           | 0,1                   | 4,2  |
| 14   | 5,3             | 4        | 54  | 3,8 | 1,8           | 0,1                   | 4,2  | 5,8             | 25       | 88  | 3,9 | 1,5           | 0,1                   | 4,6  |
| 15   | 5,4             | 7        | 45  | 2,0 | 0,5           | 0,2                   | 3,9  | 5,5             | 26       | 77  | 2,1 | 0,3           | 0,2                   | 4,6  |
| 16   | 5,8             | 22       | 100 | 7,7 | 1,5           | 0,1                   | 2,0  | 5,8             | 58       | 144 | 6,7 | 1,4           | 0,1                   | 2,3  |
| 17   | 5,0             | 5        | 30  | 2,4 | 0,7           | 0,3                   | 4,5  | 5,5             | 23       | 90  | 2,5 | 0,4           | 0,3                   | 5,4  |
| 18   | 4,7             | 6        | 35  | 1,9 | 0,5           | 0,5                   | 5,6  | 5,4             | 28       | 69  | 2,0 | 0,3           | 0,7                   | 6,3  |
| 19   | 5,4             | 22       | 36  | 4,4 | 2,0           | 0,3                   | 8,8  | 5,5             | 75       | 155 | 4,1 | 1,2           | 0,4                   | 8,8  |
| 20   | 5,4             | 4        | 38  | 2,1 | 1,0           | 0,2                   | 4,0  | 5,6             | 22       | 93  | 2,4 | 0,7           | 0,2                   | 5,0  |
| 21   | 5,5             | 3        | 54  | 2,0 | 1,6           | 0,1                   | 3,5  | 5,7             | 19       | 101 | 2,5 | 0,9           | 0,1                   | 4,0  |

Para boro e cobre houve tendência de aumento nas concentrações foliares em alguns solos. Em outros, observou-se diminuição, porém, as quantidades acumuladas na parte aérea das plantas, por vaso, tenderam a ser maiores na maioria dos solos no segundo cultivo (Quadro 6 e 7).

#### 4.2. Teor de micronutrientes no solo

Foram observadas diferenças entre os solos em relação aos micronutrientes (Quadro 9). Os extratores se comportaram de forma diferente em relação à capacidade de extração dos micronutrientes: A extração do boro disponível do solo, feita com água quente e com a solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01M a quente, diferenciaram entre si tanto nas análises realizadas antes do primeiro cultivo como nas realizadas antes do segundo cultivo. Pode-se observar que as médias e amplitudes de variação dos valores são pouco similares (Quadro 9). No primeiro cultivo, cujos solos coletados antes da semeadura não haviam sofrido nenhuma correção (calagem e adubação), não foi constatada correlação significativa entre os métodos (Quadro 10). Os resultados foram diferentes do esperado, haja visto que a extração com solução de  $\text{CaCl}_2$  a quente, em princípio, é semelhante à da água quente, diferindo apenas no procedimento de laboratório. Entretanto, nas análises realizadas antes do segundo cultivo, apesar das diferenças entre as médias e amplitudes de variação dos valores de concentração do boro nos solos, foram obtidas correlações significativas entre os métodos (Quadro 10).

QUADRO 9 - Concentração de micronutrientes nos solos determinados por diferentes soluções extratoras. Média e amplitude de variação dos 21 solos, antes de cada cultivo.

| Micro     | Extrator          | Antes 1 <sup>o</sup> Cultivo |                       | Antes 2 <sup>o</sup> Cultivo |                       |
|-----------|-------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
|           |                   | Média                        | Amplitude de Variação | Média                        | Amplitude de Variação |
| Nutriente |                   | $\mu\text{g}/\text{cm}^3$    |                       |                              |                       |
| B         | Água              | 0,16                         | 0,00 - 0,70           | 0,32                         | 0,00 - 1,40           |
|           | CaCl <sub>2</sub> | 0,37                         | 0,14 - 0,69           | 0,64                         | 0,19 - 0,99           |
|           | Mehlich           | 0,64                         | 0,40 - 1,22           | 0,55                         | 0,23 - 1,19           |
| Cu        | Mehlich           | 1,25                         | 0,00 - 6,03           | 1,30                         | 0,00 - 6,02           |
|           | Olsen             | 3,31                         | 1,00 - 6,11           | 4,13                         | 1,39 - 7,26           |
|           | DTPA              | 1,60                         | 0,05 - 4,60           | 1,50                         | 0,00 - 4,84           |
| Zn        | Mehlich           | 6,03                         | 0,76 - 17,8           | 5,17                         | 0,85 - 17,64          |
|           | Olsen             | 2,73                         | 1,25 - 4,60           | 2,34                         | 0,52 - 5,05           |
|           | DTPA              | 1,32                         | 0,20 - 3,70           | 1,04                         | 0,09 - 3,87           |

QUADRO 10 - Coeficientes de correlação entre os teores de boro do solo determinados por meio de diferentes extratores antes do 1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> cultivos.

| Solução Extratora | Antes 1 <sup>o</sup> Cultivo |                   | Antes 2 <sup>o</sup> Cultivo |                   |
|-------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|
|                   | Mehlich                      | CaCl <sub>2</sub> | Mehlich                      | CaCl <sub>2</sub> |
| Água Quente       | 0,010NS                      | 0,203NS           | 0,803**                      | 0,622**           |
| Mehlich           |                              | 0,102NS           |                              | 0,397**           |

Níveis de significância: \*\* = 1%; NS = Não significativo

Nas análises realizadas antes do primeiro cultivo, quando foi utilizada a solução de Mehlich como extrator de boro, observou-se maiores valores de concentração do elemento quando comparado aos encontrados com água quente e solução de  $\text{CaCl}_2$  a quente. Provavelmente nesta situação, a solução de Mehlich, por ser um extrator ácido, diminuiu consideravelmente o pH do meio, o que possibilitou a liberação de boro pela "quebra" de estruturas de difícil decomposição associadas à matéria orgânica. Esse fato não foi observado nas análises realizadas antes do segundo cultivo, possivelmente porque nessa condição o efeito de acidificação do meio pela solução de Mehlich foi amenizado pela correção da acidez dos solos feita através da calagem (Quadro 9).

Outros pesquisadores têm obtido amplitudes de variação nas concentrações de boro nos solos semelhantes aos deste estudo (CRUZ & FERREIRA, 1984; BATAGLIA & RAIJ, 1990), porém com alguns resultados de avaliação na eficiência dos métodos contrastantes com os do presente trabalho.

Os dados apresentados no quadro 9 mostram, ainda, a maior capacidade de extração de cobre pela solução extratora de Olsen + EDTA, quando comparada às outras duas soluções (Mehlich e DTPA), nas duas situações: antes do primeiro e antes do segundo cultivos. Uma possível explicação para o fato pode ser baseada nos estudos realizados por Viro (1955), citados por CRUZ (1988). O autor foi o primeiro a propor o uso do EDTA como extrator na análise de terra. O autor concluiu que a associação Cu-EDTA é a mais estável, baseado no valor da constante de formação do quelato (K) de 18,3, superior

aos valores para zinco e cálcio. Para avaliar a eficiência do extrator, o autor extraiu cobre de três solos com pH variando de 4,5 a 8,2, utilizando uma solução de 0,05 M de EDTA. Ficou constatado um aumento da quantidade extraída com a elevação do pH da solução de EDTA. A partir dos resultados que obteve, o autor recomendou o método para extração das formas disponíveis do nutriente em solos ácidos. A solução usada no presente estudo teve o pH ajustado a 8,5 o que, baseado no exposto anteriormente, provavelmente colaborou para a melhor eficiência do método. A solução testada é composta também de um sal ( $\text{Na}_2\text{HCO}_3$ ) que provavelmente favoreceu a troca de cátions no complexo do solo.

Comparando-se as médias de concentração de cobre extraídas pelas soluções de Mehlich e DTPA (Quadro 9), nota-se que o DTPA extraiu mais cobre nas duas situações: antes do primeiro e antes do segundo cultivos. Resultados semelhantes foram encontrados por CAMARGO et alii (1982). Observa-se que as amplitudes de variações nas concentrações são maiores quando se emprega a solução de Mehlich o que pode levar a conclusão de que este método é capaz de extrair maior quantidade do elemento que a solução de DTPA.

Entretanto o que se observou no presente trabalho foi que, em alguns solos, - principalmente aqueles com alto teor de matéria orgânica e aqueles com baixos teores de cobre-, o extrator de Mehlich não conseguiu extrair quantidades suficientemente altas a ponto de serem detectadas pela absorção atômica (leitura zero). Esse resultado diminuiu os valores das médias entre os solos, mesmo extraíndo-se quantidades maiores

daqueles solos que não se apresentavam naquelas condições. (Observar limite superior das amplitudes de variação no quadro 9).

Com o extrator DTPA isso não ocorreu, pois ele foi capaz de extrair quantidades detectáveis pela absorção atômica daqueles solos onde o extrator de Mehlich não se mostrara eficiente, obtendo assim, valores diferentes de zero nas leituras, e proporcionando um valor mais efetivo das médias.

Em relação ao elemento zinco, o DTPA foi o extrator que apresentou menor poder de extração, enquanto que a solução de Mehlich mostrou maior poder, ficando o extrator de Olsen + EDTA numa posição intermediária. LANTMANN & MEURER (1982) e RITCHEY et alii (1986) encontraram resultados semelhantes aos deste trabalho, ou seja, o extrator de Mehlich extraiu mais zinco que soluções complexantes como DTPA e EDTA. CAMARGO et alii (1982), porém, observaram resultados contrários: no estudo feito por esses autores, o DTPA, em todas as situações testadas, sempre extraiu maiores quantidades de zinco. RITCHEY et alii (1986) presumiram que a elevada acidez da solução extratora de Mehlich, pH 1,2, tenha solubilizado compostos de zinco não dissolvidos por DTPA-TEA.

A disponibilidade de nutrientes propriamente dita, porém só tem sentido quando relacionada às plantas. Dessa forma, um extrator eficiente em prever a disponibilidade de um determinado nutriente deve extrair quantidades ou formas que se correlacionem com as disponíveis para as plantas, e que sejam mensuráveis com precisão pelos métodos existentes.

### 4.3. Correlações dos teores no solo e parâmetros de planta

#### 4.3.1. Boro

A seleção do método mais adequado para prever a disponibilidade de boro no solo para as plantas, foi baseada em correlações e regressões simples entre as concentrações de boro no solo, determinadas por meio de diferentes extratores e as concentrações do elemento na planta, quantidade acumulada na parte aérea e matéria seca produzida.

QUADRO 11 - Coeficientes de correlação entre as concentrações de boro no solo, determinadas por diferentes extratores e concentração e quantidade de boro acumulada na parte aérea e peso seco das plantas de arroz cultivadas nos mesmos vasos em dois cultivos consecutivos.

| Solução<br>Extratora    | Concentração de B<br>ppm |         | Ac. parte aérea<br>mg/vaso |         | Peso Seco<br>g/vaso |          |
|-------------------------|--------------------------|---------|----------------------------|---------|---------------------|----------|
|                         | Cultivos                 |         |                            |         |                     |          |
|                         | 1º                       | 2º      | 1º                         | 2º      | 1º                  | 2º       |
| Água Quente             | 0,198NS                  | 0,398** | 0,179NS                    | 0,322** | -0,012NS            | -0,098NS |
| CaCl <sub>2</sub> 0,01M | 0,010NS                  | 0,403** | 0,138NS                    | 0,229NS | 0,176NS             | -0,326** |
| Mehlich                 | 0,279*                   | 0,421** | 0,330**                    | 0,296*  | -0,224NS            | -0,145NS |

Níveis de significância: \* = 5%; \*\* = 1% e NS = Não significativo

Observa-se no quadro 11 que os coeficientes de correlação obtidos entre a quantidade de matéria seca produzida e as concentrações de boro no solo determinadas pelos diferentes extratores foram, na maioria dos casos, não significativos, com exceção ao extrator CaCl<sub>2</sub> no segundo. Apesar de não significativos foram na grande maioria negativos, o que significa uma tendência de diminuição da quantidade de matéria seca produzida com o aumento do teor de boro nos solos.

Este fato pode ser um indicativo de toxidez de boro às plantas.

Nota-se (ainda no quadro 11) que no segundo cultivo os coeficientes de correlação obtidos entre a concentração de boro na planta e o teor do elemento no solo, determinados pelos diferentes extratores, foram positivos e significativos, indicando uma maior concentração de boro na planta com o aumento do teor do elemento no solo. Presume-se que neste cultivo, o teor de boro no solo tenha aumentado consideravelmente, devido a um maior tempo de mineralização da matéria orgânica (maior fonte de boro no solo) podendo ter chegado a níveis tóxicos às plantas, haja visto que o limite de toxidez e deficiência é estreito para esse elemento, o que pode justificar o efeito depressivo na quantidade de matéria seca produzida pelas plantas.

Neste contexto verifica-se a necessidade de que sejam conduzidos mais trabalhos quanto a seleção de extratores e níveis críticos para boro a fim de encontrarem-se indicadores que se adequem melhor aos diversos tipos de solos e culturas.

Deve-se salientar que não foram observados sintomas de toxidez de boro nas plantas e os teores do elemento nos solos, determinados pelos diferentes extratores (Quadro 12) na grande maioria deles estão abaixo ou dentro da "faixa crítica" sugerida por LOPES & CARVALHO (1988), como valores para nortear, ao nível atual de conhecimento, o processo decisório no uso de fertilizante com boro, ou seja, 0,4 a 0,6 ppm (extração com água quente).

Em face do discutido, nota-se que o parâmetro quantidade de matéria seca produzida, não foi adequado para

avaliar a disponibilidade de boro para as plantas. Por esse motivo as interpretações dos resultados foram baseadas nas

QUADRO 12 - Boro extraído por meio de diferentes soluções extratoras nos 21 solos utilizados no experimento, antes dos dois cultivos consecutivos ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ).

| Solo | Água Quente |      | Mehlich |      | CaCl <sub>2</sub> 0,01M quente |      |
|------|-------------|------|---------|------|--------------------------------|------|
|      |             |      | Cultivo |      |                                |      |
|      | 1º          | 2º   | 1º      | 2º   | 1º                             | 2º   |
| 1    | 0,00        | 0,06 | 0,65    | 0,47 | 0,26                           | 0,37 |
| 2    | 0,34        | 0,11 | 0,47    | 0,53 | 0,14                           | 0,31 |
| 3    | 0,02        | 0,15 | 1,12    | 0,61 | 0,19                           | 0,31 |
| 4    | 0,33        | 0,06 | 1,04    | 0,68 | 0,25                           | 0,22 |
| 5    | 0,38        | 0,00 | 0,57    | 0,40 | 0,27                           | 0,19 |
| 6    | 0,70        | 0,38 | 0,57    | 0,41 | 0,24                           | 0,84 |
| 7    | 0,00        | 0,58 | 0,77    | 1,00 | 0,56                           | 0,96 |
| 8    | 0,01        | 0,04 | 0,48    | 0,28 | 0,19                           | 0,54 |
| 9    | 0,04        | 0,24 | 0,45    | 0,36 | 0,16                           | 0,73 |
| 10   | 0,14        | 0,70 | 1,22    | 0,74 | 0,51                           | 0,81 |
| 11   | 0,05        | 0,48 | 0,59    | 0,65 | 0,39                           | 0,76 |
| 12   | 0,02        | 0,07 | 0,47    | 0,33 | 0,45                           | 0,81 |
| 13   | 0,13        | 0,98 | 0,71    | 1,19 | 0,45                           | 0,90 |
| 14   | 0,02        | 0,30 | 0,59    | 0,74 | 0,64                           | 0,77 |
| 15   | 0,02        | 0,52 | 0,65    | 0,59 | 0,69                           | 0,99 |
| 16   | 0,60        | 1,38 | 0,67    | 1,12 | 0,53                           | 0,95 |
| 17   | 0,06        | 0,06 | 0,57    | 0,33 | 0,59                           | 0,67 |
| 18   | 0,27        | 0,33 | 0,50    | 0,31 | 0,36                           | 0,75 |
| 19   | 0,15        | 0,03 | 0,43    | 0,30 | 0,33                           | 0,39 |
| 20   | 0,11        | 0,18 | 0,40    | 0,23 | 0,36                           | 0,59 |
| 21   | 0,08        | 0,01 | 0,49    | 0,36 | 0,33                           | 0,64 |

concentrações do elemento nas plantas e quantidade acumulada na parte aérea. Conforme o mencionado anteriormente, admite-se que a quantidade absorvida seja o parâmetro mais adequado para se avaliar a disponibilidade de nutrientes do solo para as plantas (HAUSER, 1973). Sendo assim, é consenso entre os pesquisadores

que o uso desse parâmetro seja preferencial ao do teor do elemento na planta ou da quantidade de matéria seca produzida. Quanto melhor a correlação entre a quantidade do elemento extraída do solo e aquela absorvida pela planta, melhor o método (RAIJ & BATAGLIA, 1988). Notadamente no caso do boro, nesta pesquisa, a concentração do elemento na planta foi importante na discussão dos resultados.

No presente estudo, quando as análises foram feitas antes do primeiro cultivo, cujas as amostras dos solos não haviam sofrido nenhuma correção (ou seja: mantidos na forma em que foram coletados), os coeficientes de correlação entre a concentração do elemento na planta, o acumulado na parte aérea, no primeiro cultivo, e o extraído do solo não foram significativos para o extrator água quente e  $\text{CaCl}_2$  0,01M a quente, mas somente para o extrator de Mehlich (Quadro 11). Presume-se que o extrator de Mehlich, por provocar uma diminuição do pH do meio, durante a extração, proporcionou a "quebra" de estruturas orgânicas de difícil decomposição possibilitando a liberação do boro associado a matéria orgânica não extraído pelas outras duas soluções, obtendo dessa maneira, correlação significativa com parâmetros de planta já no primeiro cultivo. Quando as análises de solo foram feitas após o primeiro cultivo, cujos solos haviam sofrido correções de acidez e fertilidade, somente a correlação entre o boro acumulado na parte aérea da planta e o extraído pela solução de  $\text{CaCl}_2$  não foi significativa, ao contrário das duas outras soluções estudadas (Quadro 11).

Deve-se salientar, entretanto, não ser essa

condição mais desejada. Normalmente, a amostra analisada no laboratório é aquela trazida pelo agricultor antes do solo ter sofrido correções. Por isso, espera-se que as correlações sejam altas com esse tipo de amostra. Com relação a esse aspecto verifica-se no experimento que os coeficientes de correlação entre o boro extraído pela solução de Mehlich e a concentração do elemento na planta e a quantidade acumulada na parte aérea, foram significativos nas duas situações analisadas (Quadro 11), ou seja: com o solo sem nenhum tratamento (antes do primeiro cultivo) e com o solo após acidez e fertilidade corrigidas (antes do segundo cultivo). Isso atribui a esse método uma ligeira vantagem em relação aos dois outros métodos testados. BARTZ & MAGALHÃES (1975), trabalhando com alfafa e PONNAMPERUMA et alii (1981), trabalhando com arroz, também observaram vantagens nos métodos baseados em ácidos diluídos, para predizer a disponibilidade de boro no solo em relação ao clássico método da água quente. Entretanto, BATAGLIA & RAIJ (1989), trabalhando com 26 solos diferentes, verificaram que a solução de Mehlich não se comportou bem após o solo ter sofrido calagem, o que parece ter ocorrido também no presente estudo, pois o coeficiente de correlação entre o boro acumulado na parte aérea da planta e o extraído com água quente no segundo cultivo foi maior que o obtido com a solução de Mehlich, 0,322\*\* e 0,298\*\* respectivamente (Quadro 11).

Os dados apresentados no quadro 11 evidenciam ainda, a baixa capacidade de avaliação da disponibilidade de boro para a solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01M a quente nas condições deste trabalho, resultados contrários aos obtidos por BATAGLIA & RAIJ

(1990) em estudo de comparação de métodos de extração de boro, usando solos do Estado de São Paulo e, como planta teste, o girassol, que é sensível à deficiência e toxidez de boro. Os autores obtiveram, com o  $\text{CaCl}_2$ , resultados semelhantes aos encontrados com água quente, que em seu estudo, foi considerado o melhor método.

Resultados semelhantes entre os métodos da água quente e solução extratora  $\text{CaCl}_2$  0,01M a quente são esperados uma vez que, em princípio, os procedimentos são os mesmos, diferindo apenas no processo operacional. O método original de extração de boro com água quente proposto por BERGER & TRUOG (1939) prevê a adição de algumas gotas de cloreto de cálcio, para flocular partículas coloidais em suspensão e permitir a obtenção de extratos límpidos. Assim a extração com  $\text{CaCl}_2$  0,01M equivale à extração com água, já que a presença do sal não parece afetar a extração de boro (RAIJ & BATAGLIA, 1988). Contudo, no presente trabalho não foi verificada tal semelhança.

Nas análises efetuadas antes do primeiro cultivo, cujos solos se achavam em sua forma original (sem tratamentos) não foram observadas correlações significativas entre os métodos utilizados na extração do boro (Quadro 10). Uma possível explicação para esse fato é a grande variabilidade das formas do boro nativo nesses solos, consequência da própria variabilidade das características dos solos, o que afeta a disponibilidade do elemento e o comportamento pouco efetivo das plantas de arroz como planta teste em estudos como este.

Quando as análises foram realizadas antes do

segundo cultivo, cujos solos haviam sofrido correções de acidez e fertilidade, observaram-se correlações significativas entre os métodos. Os maiores valores foram obtidos entre os métodos da água quente e a solução de Mehlich e água quente e solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01M, (0,803<sup>\*\*</sup> e 0,882<sup>\*\*</sup> respectivamente). Parte dos resultados obtidos neste trabalho, contrastantes aos de outros autores, entre o método da água quente e  $\text{CaCl}_2$  0,01M a quente podem ser explicados pela correlação relativamente baixa entre eles. O comportamento, em parte semelhante, entre a solução de Mehlich e água quente é justificado pela alta correlação entre eles nas análises efetuadas antes do segundo cultivo.

Correlações significativas entre o método da água quente e o extrator ácido HCl 0,05N também foram obtidas por PONNAMPERUMA et alii (1981) e com a solução de Mehlich por BATAGLIA & RAIJ (1989), porém, nesse último trabalho, os autores observaram melhores correlações entre o método da água quente e o  $\text{CaCl}_2$  0,01M a quente.

À correlação entre o extrator de Mehlich com  $\text{CaCl}_2$  foi mais baixa, resultado em parte esperado, uma vez que os princípios dos métodos são diferentes.

Outros pesquisadores têm obtido melhores resultados com estudos de seleção de métodos para avaliação da disponibilidade de boro (CRUZ & FERREIRA, 1984; BATAGLIA & RAIJ, 1990). Entretanto, não são raras as ocorrências de baixas correlações (MARTENS, 1968; PARKER & GARDNER, 1982), e os melhores resultados de correlações estão, frequentemente, associados à presença de níveis de adubação boratada (BARTZ, 1974; BARTZ & MAGALHÃES, 1975; GESTRING & SOLTANPOUR, 1984;

RIBEIRO & TUCUNANGO SARABIA, 1984).

Os coeficientes de correlação obtidos neste estudo (Quadro 11), permitem observar que a solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01M não foi eficiente como extrator de boro nas condições do trabalho e as soluções de Mehlich e água quente se comportaram de maneira semelhante, não permitindo, com as diferenças encontradas nos valores de coeficientes de correlação, evidenciar, com segurança, nenhum dos dois métodos como o melhor para predizer-se a disponibilidade do boro nos solos estudados.

Em consequência para relacionar-se o método mais adequado para a determinação do elemento, levaram-se em consideração os coeficientes das equações de regressão entre a quantidade de boro absorvido e acumulado na parte aérea das plantas e o extraído do solo pelos diferentes extratores, o que possibilita maior discriminação dos resultados.

No primeiro cultivo, apenas a solução extratora de Mehlich é que obteve resultados significativos nos valores de coeficientes de eficácia  $R^2$  das regressões efetuadas (Quadro 13 e Figura 1), tendo sido considerada a de melhor comportamento.

No segundo cultivo, os coeficientes da equação de regressão indicaram um maior, porém pequeno incremento na quantidade de boro acumulada na parte aérea das plantas, em função do aumento de uma unidade de boro extraído pela solução de Mehlich, pois a absorção de 1 mg de boro pelas plantas (Quadro 13 e Figura 1) corresponde a 2,7 e 2,9  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$  de boro extraídos, respectivamente pelas soluções de Mehlich e água

QUADRO 13 - Equações de regressão entre as concentrações de boro no solo, determinadas por diferentes extratores e concentração, e quantidade de boro acumulada na parte aérea e peso seco das plantas de arroz cultivadas nos mesmos vasos em dois cultivos consecutivos.

| Solução<br>extratora    | Concentração de B |                     |      | Ac. parte aérea  |                     |      | Peso Seco          |                     |      |
|-------------------------|-------------------|---------------------|------|------------------|---------------------|------|--------------------|---------------------|------|
|                         |                   |                     |      | 1º Cultivo       |                     |      |                    |                     |      |
|                         | Y =               | R <sup>2</sup>      | CVZ  | Y =              | R <sup>2</sup>      | CVZ  | Y =                | R <sup>2</sup>      | CVZ  |
| Água quente             | Y = 10,51 - 2,09X | 0,039 <sup>ns</sup> | 20,4 | Y = 0,46 - 0,13X | 0,03 <sup>ns</sup>  | 32,4 | Y = 43,2 - 0,57X   | 0,012 <sup>ns</sup> | 21,0 |
| CaCl <sub>2</sub> 0,01M |                   |                     |      |                  |                     |      |                    |                     |      |
| Quente                  | Y = 10,11 + 0,13X | 0,00 <sup>ns</sup>  | 20,8 | Y = 0,39 + 0,12X | 0,01 <sup>ns</sup>  | 32,6 | Y = 39,33 + 10,3X  | 0,031 <sup>ns</sup> | 21,0 |
| Mehlich                 | Y = 8,53 + 2,54X  | 0,078*              | 19,9 | Y = 0,30 + 0,20X | 0,109**             | 31,1 | Y = 37,31 + 9,06X  | 0,050 <sup>ns</sup> | 21,0 |
|                         |                   |                     |      | 2º Cultivo       |                     |      |                    |                     |      |
| Água Quente             | Y = 9,02 + 3,35X  | 0,131**             | 30,0 | Y = 0,54 + 0,16X | 0,103**             | 29,0 | Y = 60,91 + 0,10X  | 0,001 <sup>ns</sup> | 20,0 |
| CaCl <sub>2</sub> 0,01M |                   |                     |      |                  |                     |      |                    |                     |      |
| Quente                  | Y = 6,73 + 5,22X  | 0,162**             | 30,0 | Y = 0,49 + 0,16X | 0,052 <sup>ns</sup> | 29,8 | Y = 71,13 - 15,67X | 0,106*              | 19,0 |
| Mehlich                 | Y = 7,33 + 4,98X  | 0,1776**            | 29,7 | Y = 0,48 + 0,19X | 0,087*              | 29,2 | Y = 64,58 - 6,37X  | 0,021 <sup>ns</sup> | 20,0 |

níveis de significância: \* = 5%; \*\* = 1%; ns = não significativo

CVZ = coeficiente de variação

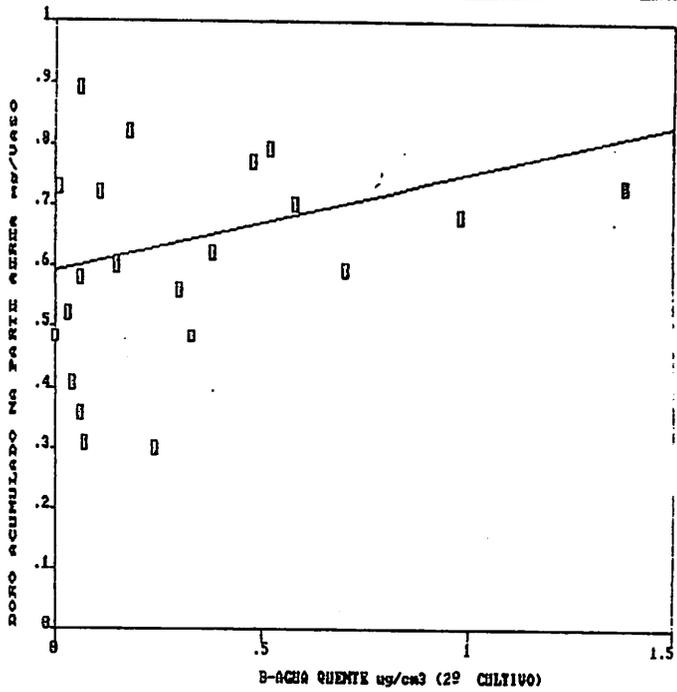
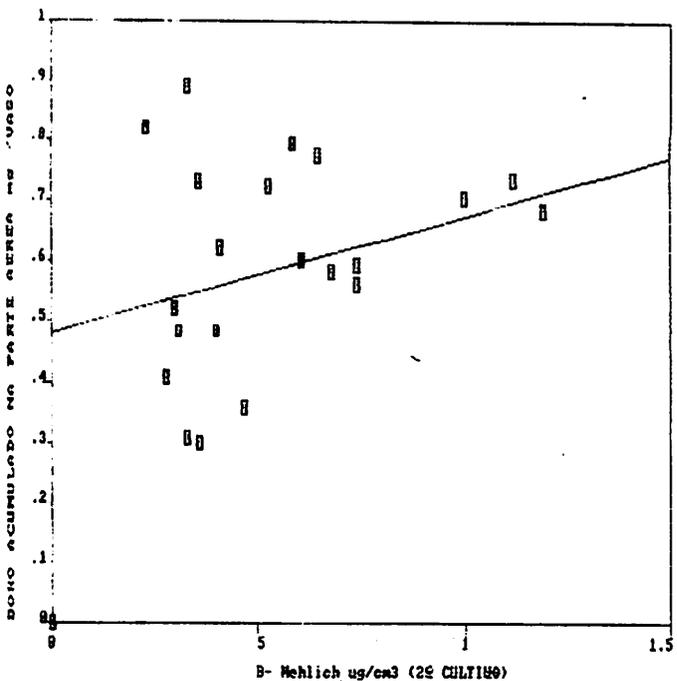
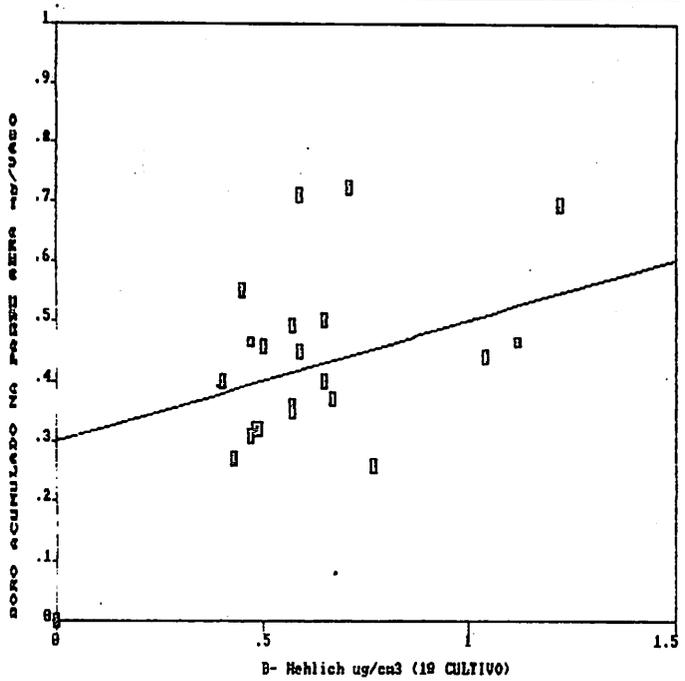


FIGURA 1 - Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a relação entre o boro acumulado na parte aérea das plantas de arroz e o extraído dos solos com Mehlich (1.º e 2.º cultivos) e água quente (2.º cultivo).

quente.

Os métodos de maior amplitude de extração são muito importantes para a extração de boro, principalmente para solos com baixo teor desse elemento. Esta característica diminui consideravelmente a probabilidade de erro na distinção entre solos que necessitam ou não da suplementação do elemento na adubação para um perfeito desenvolvimento das culturas.

Levando-se em conta o comportamento dos métodos de extração no segundo cultivo, observa-se uma diferença pequena em favor do método da água quente, ou seja, este método estaria discriminando melhor a disponibilidade de boro nos solos quando comparado à solução de Mehlich. Entretanto, deve-se considerar o melhor comportamento da solução de Mehlich logo no primeiro cultivo no qual as amostras de solos analisadas não haviam sofrido nenhuma correção, isto é, no solo original (na forma em que foram coletados), o que é plenamente desejável. Portanto, de um modo geral, nota-se, mais uma vez, uma ligeira vantagem apresentada pela solução extratora de Mehlich nas condições desse trabalho, embora os valores dos coeficientes de correlação obtidos não sejam tão elevados como em outros estudos (PONNAMPERUMA et alii 1981; BARTZ & MAGALHÃES, 1975).

De forma a verificar-se a dependência entre os teores de boro obtidos pelas diferentes soluções extradoras e algumas propriedades de solos, procedeu-se a estudos de correlação considerando-se as características pH, teor de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica (CTC) e teores de areia silte e argila.

Os valores dos coeficientes de correlação simples obtidos entre o boro extraído pelas diferentes soluções extratoras e as características de solo encontram-se descritos no quadro 14.

QUADRO 14 - Coeficientes de correlação entre as concentrações de boro no solo, determinadas por diferentes extratores e pH, matéria orgânica, CTC, % argila, % silte e % areia em dois cultivos sucessivos.

| Solução                 | Análise antes do 1 <sup>o</sup> cultivo |           |          |          |          |         |
|-------------------------|---|-----------|----------|----------|----------|---------|
|                         | pH                                      | Mat. Org. | CTC      | % Argila | % Silte  | % Areia |
| Água quente             | 0,136NS                                 | 0,271*    | 0,352**  | 0,321**  | -0,059NS | -0,268* |
| CaCl <sub>2</sub> 0,01M | 0,410**                                 | -0,366**  | -0,377** | -0,365** | -0,020NS | 0,390** |
| Mehlich                 | -0,169NS                                | 0,130NS   | 0,212NS  | -0,257*  | 0,001NS  | 0,257*  |

Análise antes do 2<sup>o</sup> cultivo

|                         |          |          |          |          |          |         |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| Água Quente             | 0,039NS  | 0,363**  | 0,017NS  | 0,399**  | -0,005NS | 0,404** |
| CaCl <sub>2</sub> 0,01M | -0,183NS | -0,623** | -0,521** | -0,415** | 0,046NS  | 0,375** |
| Mehlich                 | 0,239NS  | 0,069NS  | 0,232NS  | -0,347** | 0,221NS  | 0,149** |

Níveis de significância : \* = 5%; \*\* = 1% e NS = Não significativo

Verifica-se que o extrator de Mehlich, foi o menos afetado pelas características de solo no seu processo de extração, tanto nas análises realizadas antes do primeiro cultivo, como naquelas realizadas antes do segundo cultivo.

Os coeficientes de correlação demonstram que a percentagem de argila influenciou negativamente na extração de boro e a percentagem de areia, positivamente. Essas influências são compreensíveis, considerada a importância desses constituintes na adsorção de boro: um solo com maior teor de argila (maior quantidade de cargas) adsorve mais e com maior força as formas

de boro do que um solo arenoso, que dificulta a extração do elemento por este método. Isso, não justificaria a influência positiva da percentagem de areia no processo de extração, por tratar-se de uma fração do solo com menor área superficial específica do que a argila, e teoricamente com menor número de sítios de adsorção.

Uma possível explicação para a influência significativa do teor de areia no processo de extração é a de que nessa fração do solo haja significativa proporção de minerais de fácil intemperização e que, com o processo de extração tornam-se extraíveis, contribuindo para o aumento do teor de boro em função do teor de areia.

Esse fato parece confirmar-se no método da água quente. Por tratar-se de um método menos drástico que o da solução de Mehlich, ou seja, - não há teoricamente mudanças no pH ou reações químicas no processo de extração-, nas análises realizadas antes do primeiro cultivo, o coeficiente de correlação entre o boro extraído com água quente e a percentagem de areia foi negativo e com a percentagem de argila, positivo (Quadro 14). Esses resultados eram esperados, considerando-se o processo de adsorção e dessorção no complexo de troca do solo: quanto mais argila ou menos areia maior o teor de boro adsorvido e extraível pelo método da água quente. Quando as análises foram feitas nas amostras dos solos corrigidos na acidez e fertilidade, antes do segundo cultivo, o coeficiente de correlação entre o boro extraído com água quente e a percentagem de areia passou a ser positiva (Quadro 14), o que reforça a hipótese de que após reações químicas e

alterações do pH, os minerais facilmente intemperizáveis da fração areia se transformam em formas extraíveis pelo método da água quente, contribuindo para aumentar o teor de boro extraído por esse método, em função do teor de areia dos solos.

Os dados apresentados no quadro 14 mostram, ainda, que não só os teores de areia e argila influenciaram no processo de extração de boro pelo método da água quente, mas também este foi influenciado pelo teor de matéria orgânica e CTC. A CTC, contudo, somente influiu nas análises realizadas antes do primeiro cultivo.

Os coeficientes de correlação simples indicam que as características de solo, matéria orgânica e CTC influíram positivamente na extração do boro pelo método da água quente. Influências estas facilmente compensáveis, considerada a importância desses constituintes na adsorção de boro, além do que, a matéria orgânica pode ser considerada uma fonte do elemento. No presente trabalho, nota-se, no quadro 14, que os valores dos coeficientes de correlação entre o boro extraído pelo método da água quente e o teor de matéria orgânica, aumentaram sensivelmente nas análises antes do segundo cultivo, provavelmente devido a uma elevação dos teores de boro no solo proveniente da mineralização da matéria orgânica, facilitada pelas correções da acidez e fertilidade dos solos.

Em todos os métodos testados, a solução de  $\text{CaCl}_2$  foi a mais influenciada pelas características de solo. Isso provavelmente explique a sua baixa eficiência na predição de disponibilidade de boro, observada nos estudos de correlações e regressão deste trabalho.

Com exceção da percentagem de silte, todas as outras características do solo consideradas, influenciaram no processo de extração com esta solução (Quadro 14), e, na maioria das vezes, negativamente, como é o caso da matéria orgânica, CTC e percentagem de argila nas duas situações analisadas: antes do primeiro e antes do segundo cultivo.

Nas análises com a solução de  $\text{CaCl}_2$  realizadas antes do primeiro cultivo, mesmo o pH, -que não interferiu em nenhum outro método-, influenciou no processo de extração. Provavelmente por esta baixa capacidade de extração, os coeficientes de correlação entre o extraído com  $\text{CaCl}_2$ , e a percentagem de areia foram positivos, haja visto que, com uma menor quantidade de argila, as formas de boro estariam menos adsorvidas e, conseqüentemente, mais fáceis de serem extraídas.

Possivelmente os melhores resultados obtidos com a solução de Mehlich na extração do boro disponível estão aliados ao fato de que este método foi o que sofreu a menor influência das características dos solos. O método da água quente mostrou-se ligeiramente inferior, quando comparado ao da solução extratora de Mehlich.

Conforme verificou-se, as características de solo influenciaram no potencial de extração dos métodos testados. Da mesma forma, a disponibilidade de nutrientes para as plantas está relacionada com os mesmos fatores, que afetam a capacidade do solo em supri-los e a capacidade da planta em absorvê-los (COREY & SCHULTE, 1973). A capacidade que as plantas têm de absorver nutrientes em determinada concentração na solução varia com a espécie vegetal (LOMBIN & BATES, 1982).

e determina a deficiência, suficiência ou excesso do suprimento em relação à suas necessidades.

Em alguns casos, a inclusão de características de solo que influem na disponibilidade de boro, em análises de regressão múltipla, pode melhorar as correlações obtidas em testes com extratores. Com este objetivo, foram introduzidas em um programa de regressão múltipla tipo Step-Wise, as características presumivelmente mais relacionadas com a disponibilidade de boro.

As relações entre a quantidade de boro acumulada na parte aérea das plantas de arroz e as concentrações nos solos (determinadas por diferentes extratores e outras características) estão apresentadas no quadro 15.

Verifica-se que os coeficientes de regressão parciais não significativos, obtidos para os extratores água quente (no primeiro cultivo) e solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01M (no primeiro e segundo cultivo), impediram o aproveitamento das regressões múltiplas que envolveram esses extratores na estimação da absorção do boro pelas plantas.

Quanto à extração feita com a solução de Mehlich, não foram observados aumentos nos coeficientes de regressão múltipla, à medida que se incluíram características de solos como variáveis independentes em adição aos extratores (tanto no primeiro quanto no segundo cultivo).

Nas condições do presente trabalho, somente o método da água quente obteve melhora no coeficiente de regressão depois de incluídas as características de solo no cálculo da disponibilidade de boro para as plantas do segundo

QUADRO 15 - Relações entre a quantidade de boro acumulada na parte aérea das plantas de arroz (BA) e as concentrações de boro nos solos determinadas por diferentes extratores (BQ = água quente; BC = CaCl<sub>2</sub> 0,01M quente; BM = Mehlich) e outras características do solo (pH; Ag = argila (%), M.O = matéria orgânica (%); T = capacidade de troca de cátions). 1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> cultivos.

| 1 <sup>o</sup> Cultivo         |                        |                |      |
|--------------------------------|------------------------|----------------|------|
| Solução                        | Equação                | R <sup>2</sup> | CVC% |
| Água Quente                    | BA=0,46-0,13BQ         | 0,032NS        | 32,4 |
| CaCl <sub>2</sub> 0,01M Quente | BA=0,39+0,12BC         | 0,019NS        | 32,6 |
| Mehlich                        | BA=0,30+0,20BM         | 0,109**        | 31,1 |
| 2 <sup>o</sup> Cultivo         |                        |                |      |
| Água Quente                    | BA=0,54+0,16BQ         | 0,103**        | 29,0 |
|                                | BA=0,36+0,22BQ+0,003AG | 0,172**        | 28,1 |
| CaCl <sub>2</sub> 0,01M Quente | BA=0,49+0,16BC         | 0,052NS        | 29,9 |
| Mehlich                        | BA=0,48+0,19BM         | 0,087*         | 29,2 |

Níveis de significância: \* = 5%; \*\* = 1% e NS = Não significativo  
CV = coeficiente de variação.

cultivo (Quadro 15). Nota-se que, das características introduzidas no programa de análise de regressão múltipla (Step-Wise), somente a percentagem de argila até o nível de 5% de probabilidade, foi selecionada como característica com influência positiva na disponibilidade de boro para as plantas. Ela ajudou a explicar a variação na quantidade acumulada na parte aérea das plantas não demonstrada pelo extrator, embora a magnitude do coeficiente de regressão parcial tenha indicado que esta influência foi pequena. GESTRING & SOLTANPOUR (1984).

aumentaram significativamente os coeficientes de determinação para os extratores pasta saturada e bicarbonato de amônio-DTPA com a introdução das percentagens de matéria orgânica, de argila e valor de pH em regressões múltiplas. Além dessas características, a inclusão da CTC dos solos também melhorou o valor do coeficiente em trabalho realizado por BATAGLIA & RAIJ (1990). Em outra situação, GUTTERRES & VOLKWEISS (1987), observaram que percentuais de matéria orgânica, de silte e de óxidos de ferro e alumínio, são capazes de explicar a variação na absorção de boro pelas plantas de colza não explicada pelos extratores água quente e  $MgCl_2$  0,001M.

No presente estudo, como indicam os resultados obtidos, foi pequena -quando houve- a influência das características de solo na disponibilidade de boro para as plantas. Esses resultados podem ser explicados pela baixa correlação entre aquelas características e as concentrações de boro dos solos extraídos pelos diferentes extratores e pelo baixo relacionamento que todas as características e extratores, apresentaram com os resultados de quantidade acumulada na parte aérea das plantas. Esta última consideração pode ser um indicativo de que as plantas de arroz não se prestaram muito bem como planta teste nessa avaliação.

#### 4.3.2 Cobre

Para o estudo dos métodos de extração de cobre procedeu-se, inicialmente, a determinação dos coeficientes de correlação simples entre os teores do elemento extraídos pelos diferentes métodos testados. O objetivo era conhecer o

comportamento diferenciado de cada um na extração do cobre dos solos: Os resultados estão relacionados no quadro 16.

QUADRO 16 - Coeficientes de correlação entre os teores de cobre do solo determinados por meio de diferentes extratores antes do 1º e 2º cultivos.

| Solução    | Antes 1º cultivo |         | Antes 2º cultivo |         |
|------------|------------------|---------|------------------|---------|
|            | Olsen+EDTA       | DTPA    | Olsen+EDTA       | DTPA    |
| Mehlich    | 0,737**          | 0,863** | 0,729**          | 0,874** |
| Olsen+EDTA |                  | 0,903** |                  | 0,918** |

Níveis de significância: \*\* = 1%.

Verifica-se que os extratores apresentaram coeficientes de correlação simples ( $r$ ) significativos entre si indicando a sua adequação para determinar o nível de suficiência ou deficiência do elemento nas amostras.

Os maiores valores de  $r$  foram observados entre os extratores DTPA e Olsen + EDTA: 0,903<sup>\*\*\*</sup> e 0,918<sup>\*\*\*</sup> antes do primeiro cultivo e antes do segundo, respectivamente. A maior semelhança observada entre o DTPA e Olsen + EDTA, provavelmente se deve à presença, em ambos os métodos, de agentes complexantes (EDTA e DTPA) que, em parte, obedecem a um mesmo princípio de extração.

Em seguida aos coeficientes de correlação dos métodos DTPA e Olsen+EDTA, observa-se no quadro 16, os valores relativos à correlação Mehlich/DTPA e, por último, os da correlação Mehlich/Olsen+EDTA.

A semelhança no comportamento dos extratores nas situações analisadas ou seja: -solo original, na forma em que

comportamento diferenciado de cada um na extração do cobre dos solos: Os resultados estão relacionados no quadro 16.

QUADRO 16 - Coeficientes de correlação entre os teores de cobre do solo determinados por meio de diferentes extratores antes do 1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> cultivos.

| Solução    | Antes 1 <sup>o</sup> cultivo |         | Antes 2 <sup>o</sup> cultivo |         |
|------------|------------------------------|---------|------------------------------|---------|
|            | Olsen+EDTA                   | DTPA    | Olsen+EDTA                   | DTPA    |
| Mehlich    | 0,737**                      | 0,863** | 0,729**                      | 0,874** |
| Olsen+EDTA |                              | 0,903** |                              | 0,918** |

Níveis de significância: \*\* = 1%.

Verifica-se que os extratores apresentaram coeficientes de correlação simples ( $r$ ) significativos entre si indicando a sua adequação para determinar o nível de suficiência ou deficiência do elemento nas amostras.

Os maiores valores de  $r$  foram observados entre os extratores DTPA e Olsen + EDTA: 0,903<sup>\*\*</sup> e 0,918<sup>\*\*</sup> antes do primeiro cultivo e antes do segundo, respectivamente. A maior semelhança observada entre o DTPA e Olsen + EDTA, provavelmente se deve à presença, em ambos os métodos, de agentes complexantes (EDTA e DTPA) que, em parte, obedecem a um mesmo princípio de extração.

Em seguida aos coeficientes de correlação dos métodos DTPA e Olsen+EDTA, observa-se no quadro 16, os valores relativos à correlação Mehlich/DTPA e, por último, os da correlação Mehlich/Olsen+EDTA.

A semelhança no comportamento dos extratores nas situações analisadas ou seja: -solo original, na forma em que

foi coletado (antes do primeiro cultivo) e solo com correção da acidez e fertilidade (antes do segundo cultivo)- sugere um comportamento estável dos extratores, na capacidade de extração do cobre mesmo alteradas as características químicas dos solos. Pode-se observar no entanto, (Quadro 16) que houve uma tendência de aumento nos valores de  $r$  das análises realizadas antes do segundo cultivo. CAMARGO et alii (1982) e BATAGLIA & RAIJ 1989 também obtiveram aumentos nos valores dos coeficientes de correlação entre os teores de cobre, extraídos por diferentes métodos, os primeiros com incubação das amostras e os segundos após calagem. Também foi observado naqueles estudos um menor valor de  $r$  entre o extrator de Mehlich e DTPA, semelhante ao do presente trabalho.

Para a seleção do método mais adequado neste estudo utilizaram-se análises de regressão e correlação entre o cobre extraído dos solos pelos diferentes extratores e a concentração do elemento na planta, quantidade acumulada na parte aérea e produção de matéria seca, obtendo-se as equações de regressão e os coeficientes de correlação ( $r$ ) para cada caso. Os coeficientes de correlação entre os teores de cobre extraídos pelos diferentes extratores e a concentração do elemento na planta, quantidade acumulada na parte aérea e produção de matéria seca encontram-se apresentados no quadro 17

O cobre extraído do solo mostrou correlação significativa com a matéria seca, apenas no primeiro cultivo e quando se utilizaram as soluções extratoras de Mehlich e DTPA.

QUADRO 17 - Coeficientes de correlação entre as concentrações de cobre nos solos, determinados por diferentes extratores e concentração e quantidade de cobre acumulada na parte aérea e peso seco das plantas de arroz cultivadas nos mesmos vasos em dois cultivos consecutivos.

| Solução Extratora | Concentração de Cu |         | Ac. parte aérea |         | Peso Seco |         |
|-------------------|--------------------|---------|-----------------|---------|-----------|---------|
|                   | ppm                |         | mg/vaso         |         | g/vaso    |         |
|                   | Cultivo            |         |                 |         |           |         |
|                   | 1º                 | 2º      | 1º              | 2º      | 1º        | 2º      |
| Mehlich           | 0,199NS            | 0,378** | 0,361**         | 0,352** | 0,276*    | 0,011NS |
| Olsen+EDTA        | 0,408**            | 0,388** | 0,436**         | 0,160NS | 0,080NS   | 0,206NS |
| DTPA              | 0,357**            | 0,318** | 0,492**         | 0,210NS | 0,247*    | 0,084NS |

Níveis de significância: \* = 5%; \*\* = 1%; NS = não significativo

Considerando-se os valores de  $r$ , nota-se que são baixos, apesar de serem estatisticamente significativos ao nível de 5% de probabilidade. Observa-se, ainda, uma ligeira vantagem para o extrator de Mehlich em relação ao DTPA (0,276\* e 0,247\* respectivamente). Quando se fez a regressão linear entre o cobre extraído do solo e a produção de matéria seca (Quadro 18 e Figura 2) observou-se aquela mesma tendência, porém os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) mostraram que os resultados dos teores de cobre obtidos no solo explicam muito pouco das variações na quantidade de matéria seca produzida, ou seja: 7,6% e 6,1%, respectivamente para os extratores de Mehlich e DTPA.

Os resultados com a utilização da matéria seca em correlações para seleção de métodos de extração de cobre são muito variáveis, como pode ser observado na literatura. Há trabalhos que obtiveram correlações significativas quando utilizaram soluções extratoras ácidas e complexantes com a

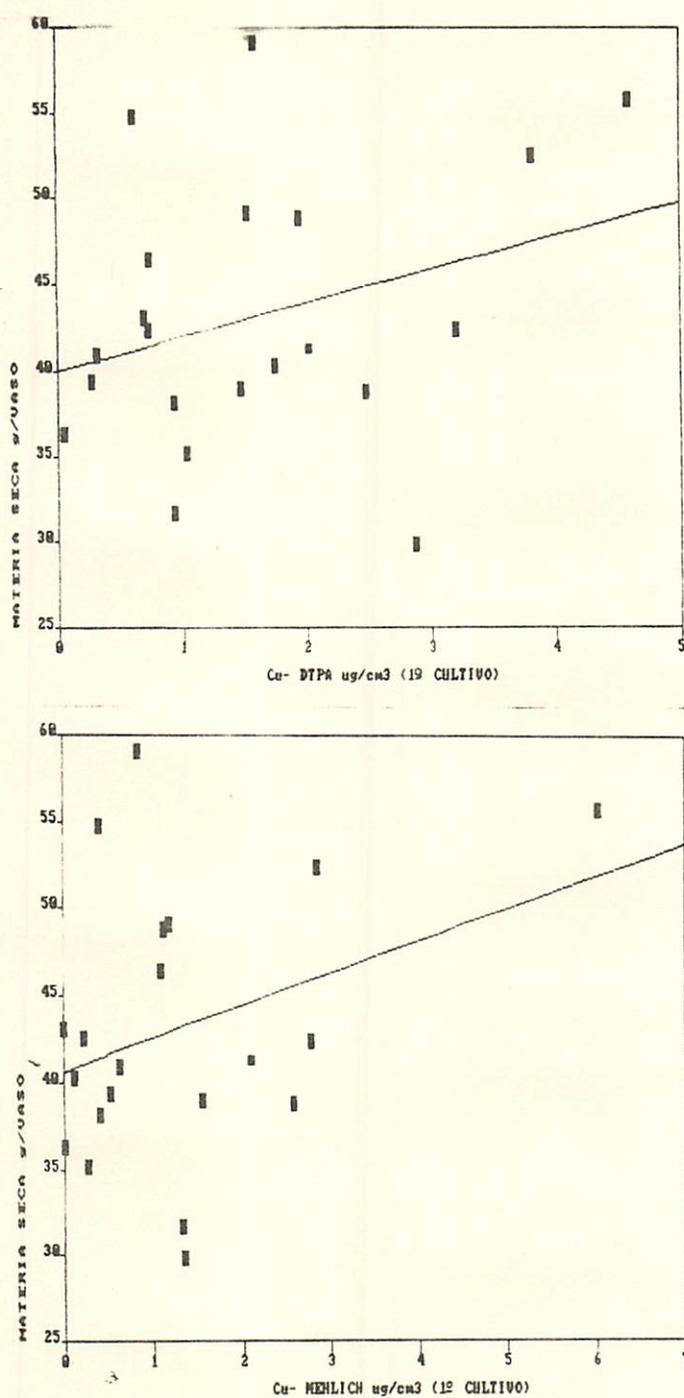


FIGURA 2 - Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a relação entre a quantidade de matéria seca produzida pelas plantas de arroz e o extraído dos solos com Menlich e DTPA (cultivo),

cultura do trigo. Quando a planta teste foi o milho, não houve significância nas correlações GREWALL et alii (1969). BEYERS & HAMMOND (1971) também obtiveram valores de  $r$  não significativos com extratores ácidos e complexantes com a cultura da cevada. Por outro lado, com esta mesma cultura DWIVEDI & SHANKER (1977) observaram valores de  $r$  altos e significativos quando os extratores utilizados foram HCl 0,1N e EDTA 0,02M. Pode-se concluir que esse parâmetro não é o mais indicado para selecionar-se o melhor método de extração de cobre nos solos.

A correlação entre as concentrações de cobre no solos nas análises realizadas antes do primeiro cultivo (solos originais, na forma em que foram coletados) e as concentrações nas plantas (Quadro 17) mostraram uma ligeira vantagem para o extrator de Olsen + EDTA quando comparado ao DTPA, já que para o extrator de Mehlich não foi observada significância. Usando o girassol como planta teste, BATAGLIA & RAIJ (1989) também não observaram correlação entre o cobre extraído dos solos originais, (sem tratamento) com diversos extratores, - inclusive Mehlich-, e a concentração na planta. Por outro lado CRUZ (1988), obteve resultados significativos com EDTA quando a planta teste foi o milho.

Quando as análises deste trabalho foram feitas antes do segundo cultivo, (solos com correção de acidez e fertilidade), os coeficientes de correlação entre os teores de cobre das amostras e a concentração nas plantas mostraram um comportamento semelhante entre os três extratores estudados, com ligeira desvantagem para o DTPA. Essa desvantagem também foi observada por BATAGLIA & RAIJ (1989) com análises efetuadas

em solos que haviam sofrido calagem.

Levando-se em consideração os coeficientes das equações de regressão entre o cobre extraído dos solos pelos diferentes extratores e as concentrações nas plantas do primeiro cultivo (Quadro 18 e Figura 3), observa-se uma superioridade do extrator de Olsen + EDTA quando comparado ao DTPA. Para o extrator de Mehlich não houve significância. A mesma tendência foi verificada nos estudos de correlação.

No segundo cultivo, o extrator que melhor explicou a variação das concentrações do cobre na planta em função do extraído do solo também foi a solução de Olsen + EDTA, obtendo o melhor valor de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e um pequeno valor do coeficiente angular (b) (Quadro 18 e Figura 4). Isso atribui a esse extrator uma maior amplitude de extração, ou seja: maior discriminação dos teores do elemento no solo, para um mesmo intervalo de variação nas concentrações do elemento na planta.

O segundo extrator que se mostrou com maior amplitude de extração, ou menor valor de b foi o DTPA, apesar de seu menor valor de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) seguido pelo extrator de Mehlich com uma ligeira desvantagem sobre os dois outros métodos. Pode-se notar -ainda nos dados apresentados no quadro 18 - que os coeficientes de determinação obtidos nos dois cultivos entre o cobre extraído do solo pelos diferentes extratores e a concentração do elemento nas plantas, foram baixos.

Se a escolha do método fosse feita com base nos estudos da concentração de cobre nas plantas, ela recairia

Equações de regressão entre as concentrações de cobre no solo, determinadas por diferentes extratores e concentração, e quantidade de cobre acumulada na parte aérea e peso seco das plantas de arroz cultivados nos mesmos vasos em dois cultivos consecutivos.

| Solução<br>extratora | Concentração de Cu |                     | Ac. parte aérea   |                     | Peso Seco         |                     |
|----------------------|--------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
|                      | R <sup>2</sup>     | CV%                 | R <sup>2</sup>    | CV%                 | R <sup>2</sup>    | CV%                 |
|                      | 1º Cultivo         |                     |                   |                     |                   |                     |
| Mehlich              | Y = 6,31 + 0,31X   | 0,039 <sup>ns</sup> | Y = 0,25 + 0,025X | 0,130**             | Y = 40,68 + 1,86X | 0,076*              |
| Olsen + EDTA         | Y = 4,84 + 0,56X   | 0,167**             | Y = 0,19 + 0,03X  | 0,190**             | Y = 41,53 + 0,47X | 0,006 <sup>ns</sup> |
| DTPA                 | Y = 5,68 + 0,65X   | 0,1281**            | Y = 0,22 + 0,04X  | 0,242**             | Y = 40,03 + 1,92X | 0,061*              |
|                      | 2º Cultivo         |                     |                   |                     |                   |                     |
| Mehlich              | Y = 6,63 + 0,38X   | 0,143**             | Y = 0,39 + 0,03X  | 0,124**             | Y = 60,91 + 0,10X | 0,0001              |
| Olsen + EDTA         | Y = 5,80 + 0,32X   | 0,144**             | Y = 0,38 + 0,01X  | 0,025 <sup>ns</sup> | Y = 67,44 - 1,54X | 0,045 <sup>ns</sup> |
| DTPA                 | Y = 6,68 + 0,31X   | 0,101**             | Y = 0,41 + 0,02X  | 0,044 <sup>ns</sup> | Y = 62,11 - 0,72X | 0,007 <sup>ns</sup> |

níveis de significância: \* = 5%; \*\* 1% e ns = não significativo

CV% = coeficiente de variação

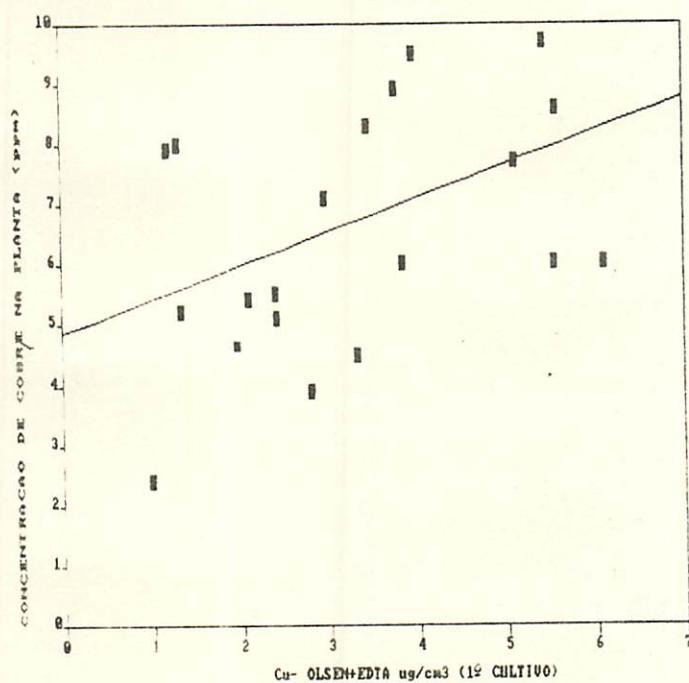
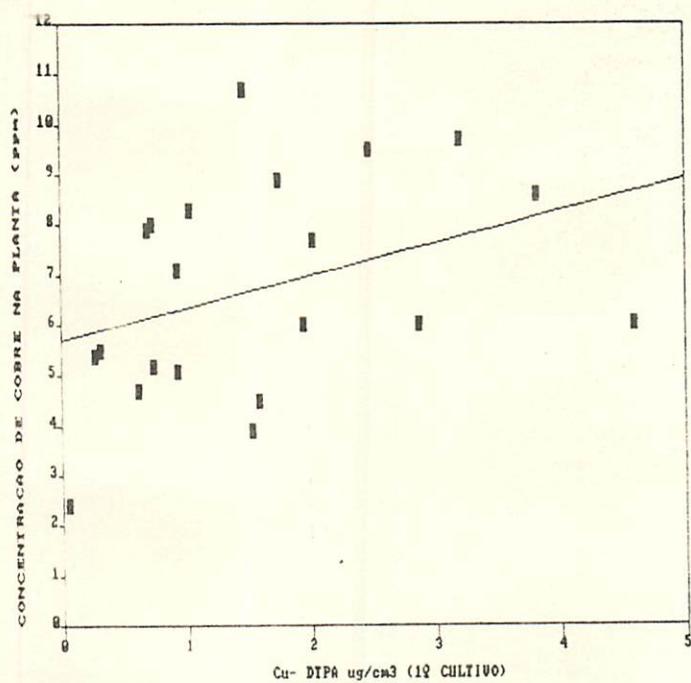


FIGURA 3 Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a relação entre a concentração de cobre nas plantas de arroz e o extraído dos solos com Mehlich, Olsen + EDTA e DTPA cultivivo

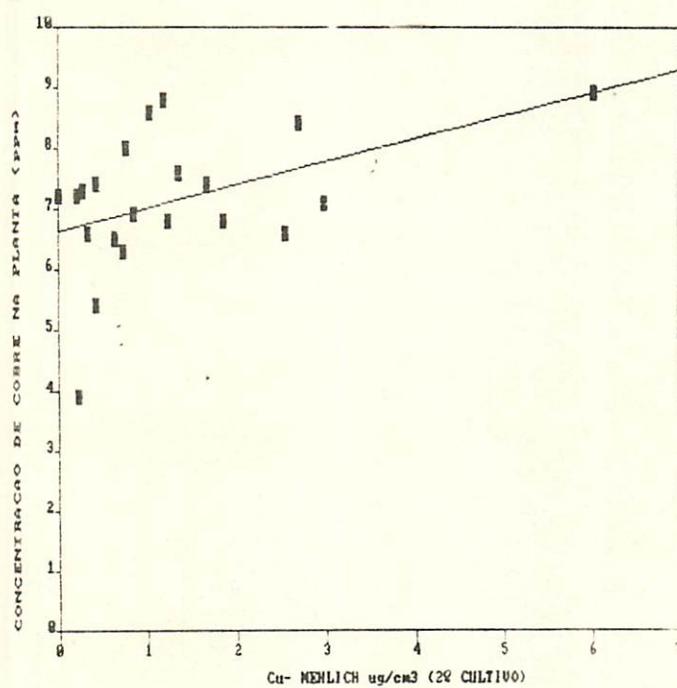
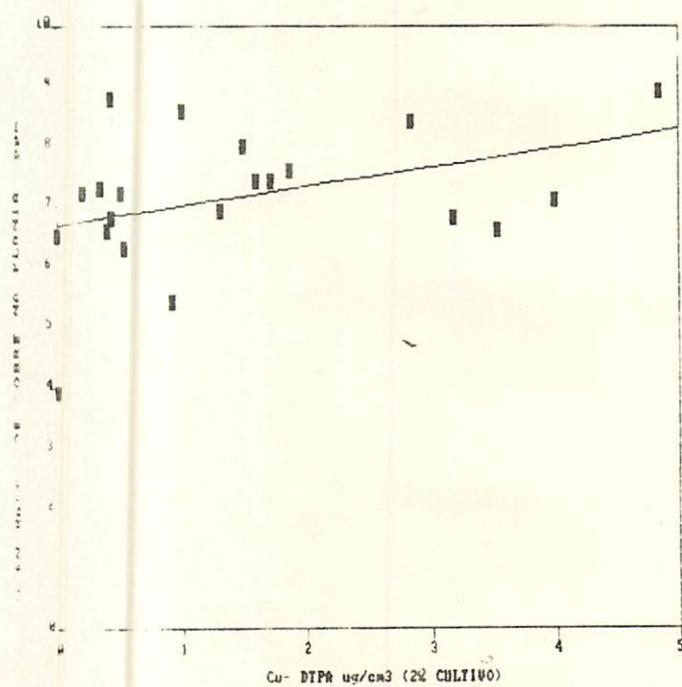
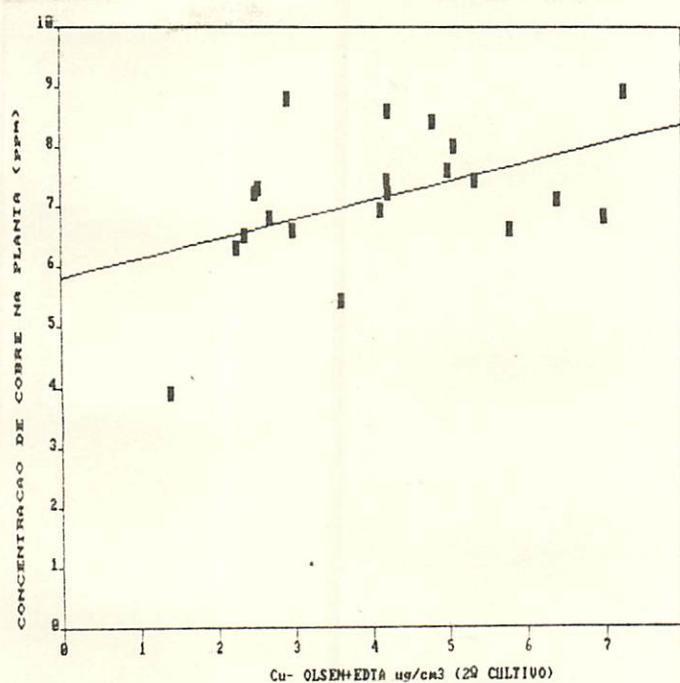


FIGURA 4 Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a relação entre a quantidade de cobre nas plantas de arroz e o extraído dos solos com Mehlich, Olsen + EDTA e DTPA do 2º cultivo

sobre o extrator de Olsen + EDTA, que, além de apresentar os maiores valores de  $r$  e  $R^2$ , revelou um dos menores valores de (b). Contudo, esses parâmetros ( $r$  e  $R^2$ ) foram baixos, o que poderia implicar numa escolha incorreta do método mais eficiente para se predizer a disponibilidade do cobre nos solos para as plantas.

Efetivamente, o parâmetro que melhor reflete a disponibilidade dos nutrientes no solo é a quantidade absorvida pelas plantas, que é preferencial ao emprego da concentração do elemento na planta e quantidade de matéria seca produzida. Em vista disso, estão apresentados no quadro 17 os valores dos coeficientes de correlação ( $r$ ) entre o cobre extraído através dos diferentes extratores e a quantidade do nutriente acumulada na parte aérea das plantas. O que inicialmente chama a atenção é o fato de que os valores de  $r$  foram, em todos os casos, superiores aos obtidos quando se calculou a correlação com base na concentração do elemento na planta ou com a matéria seca produzida. Resultados semelhantes foram observados por GREWALL et alii (1969), BEYERS & HAMMOND (1971) e DWIVEDI & SHANKER (1977).

Notou-se, ainda, um comportamento diferenciado entre os extratores, sendo que o maior valor de  $r$  foi obtido com o DTPA ( $r = 0,492^{**}$ ) nas análises realizadas antes do primeiro cultivo, ou seja, com o solo original (na forma em que foi coletado), o que é desejável, pois, normalmente, a amostra analisada no laboratório é aquela trazida pelo agricultor antes da correção do solo.

concluíram ser o DTPA o melhor método para extração de cobre. Entretanto, LINDSAY & NORVELL (1978), que propuseram a utilização do DTPA para extrair micronutrientes metálicos dos solos, salientam que a avaliação do cobre causava incerteza na qualidade do método. Já HAQ & MILLER (1972) e PONNAMPERUMA et alii (1981) consideraram o extrator inadequado.

O segundo melhor resultado deste estudo foi observado com o extrator de Olsen + EDTA ( $r = 0,436^{***}$ ). Com uma solução bastante semelhante (EDTA +  $(NH_4)_2 CO_3$  pH 8,6), EDLIN et alii (1983) e CRUZ (1988), obtiveram bons resultados, com valores de  $r$  superiores ao deste trabalho. Contrariando contudo esse desempenho, HAQ & MILLER (1972), PONNAMPERUMA et alii (1981) e SELVARAJAH et alii (1982) consideraram a solução inadequada para extração do cobre disponível.

O valor de  $r$  para a solução de Mehlich foi o menor ( $r = 0,361^{***}$ ), porém ainda significativo, a 1 % de probabilidade. Entretanto, deve-se salientar que o extrator de Mehlich, foi o único que obteve correlação significativa entre o cobre extraído e o acumulado na parte aérea da planta, quando as análises foram realizadas antes do segundo cultivo. BATAGLIA e RAIJ (1989) observaram pequena vantagem para os extratores ácidos HCl 0,1M e Mehlich em relação ao DTPA e EDTA na extração do cobre disponível, quando a planta teste foi o sorgo.

No presente trabalho, os extratores de Olsen + EDTA e DTPA não obtiveram significância com o acumulado na parte aérea da planta no segundo cultivo. CRUZ (1988) em trabalho específico para seleção de métodos de avaliação de cobre disponível dos solos, observou diminuição dos valores de

r do primeiro ensaio para um segundo, com a solução de DTPA, que porém não levou a correlação à insignificância, provavelmente por terem sido os valores de r obtidos mais elevados que os do presente estudo. Usando o milho como planta teste, a autora conclui ser o EDTA um extrator adequado, porém sem descartar a possibilidade do uso de HCl 0,1N ou DTPA, que também apresentaram bons resultados.

Considerando-se os estudos de regressão, observa-se no quadro 18, que o melhor coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi obtido com o extrator DTPA, ou seja, os teores de cobre nos solos extraídos por essa solução explicam 24% da variação do cobre acumulado na parte aérea das plantas. Esse valor pode parecer baixo, a princípio, mas, nas condições do presente trabalho foi o melhor resultado. Todos os demais métodos apresentaram coeficientes inferiores ou seja: 19% e 13% para as soluções de Olsen + EDTA e Mehlich, respectivamente.

Pode-se observar, ainda, nas figura 5 e no quadro 18, que os valores do coeficiente angular (b) das equações de regressão para os três extratores estudados são bastante próximos, o que fornece uma indicação de inclinação das retas bastante semelhante, mostrando semelhança na amplitude de extração ou discriminação dos teores do elemento no solo. Portanto, a escolha do método mais eficiente para extrair o cobre disponível recaiu sobre aquele que obteve os melhores valores de correlação entre o cobre extraído do solo e a quantidade do nutriente acumulada na parte aérea das plantas.

Em vista disso, no presente estudo, quando as análises foram realizadas antes do primeiro cultivo, a solução que se mostrou

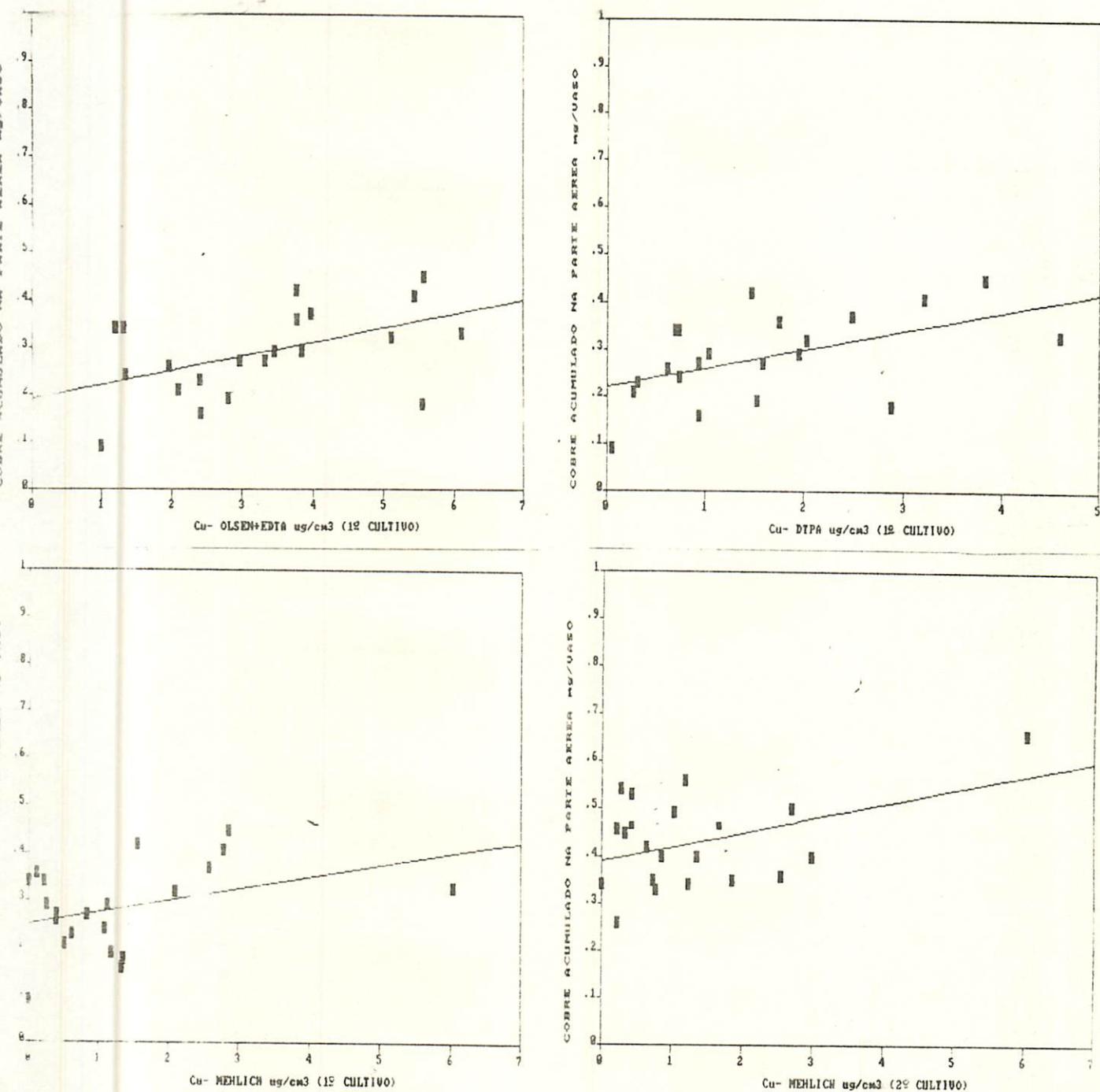


FIGURA 5 - Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a relação entre a quantidade de cobre acumulada na parte aérea das plantas de arroz e o extraído dos solos com Mehlich (1.º e 2.º cultivos) Olsen + EDTA e DTPA (1.º cultivo)

mais eficiente foi o DTPA seguida da solução de Olsen+EDTA e Mehlich respectivamente (Figura 5).

Deve-se salientar que nos estudos de regressão realizados para o segundo cultivo, somente a solução extratora de Mehlich obteve resultados significativos entre os teores extraídos dos solos e as quantidades de cobre acumuladas na parte aérea das plantas (Quadro 18 e Figura 5), porém com coeficiente de correlação  $r$  ligeiramente menor ao obtido no primeiro cultivo.

Igualmente aos estudos realizados para seleção de métodos de extração de boro disponível, procedeu-se a cálculos de correlação entre as características de solos: - pH, matéria orgânica, percentagens de argila, silte e areia- e os teores de cobre extraídos pelas diferentes soluções, de forma a verificar possíveis dependências entre estas variáveis.

Os valores dos coeficientes de correlação simples -obtidos entre o cobre extraído dos solos através das diferentes soluções e o pH, matéria orgânica, capacidade troca catiônica (CTC), percentagens de argila, silte e areia- estão apresentados no quadro 19. O que inicialmente se destaca é que de um modo geral, os resultados são semelhantes, nas análises realizadas antes do primeiro cultivo (solos na forma em que foram coletados), e naquelas onde os solos haviam sofrido correção de acidez e fertilidade e submetidos a um cultivo (antes do segundo cultivo). As variações nos valores de  $r$  são pequenas num ou em outro caso.

QUADRO 19 - Coeficientes de correlação entre as concentrações de cobre nos solos, determinados por diferentes extratores e pH, matéria orgânica, CTC, % argila, % silte e % areia em dois cultivos sucessivos.

| Solução    | Análise antes do 1 <sup>o</sup> cultivo |          |          |          |          |         |
|------------|---|----------|----------|----------|----------|---------|
|            | pH                                      | Mat.Org  | CTC      | % Argila | % Silte  | % Areia |
| Mehlich    | -0,280*                                 | -0,384** | -0,357** | -0,301*  | -0,310*  | 0,580** |
| Olsen+EDTA | -0,305*                                 | -0,252*  | -0,084NS | -0,199NS | -0,091NS | 0,282*  |
| DTPA       | -0,342**                                | -0,197NS | -0,032NS | -0,345** | -0,061NS | 0,400** |
|            | Análise antes do 2 <sup>o</sup> cultivo |          |          |          |          |         |
| Mehlich    | -0,402**                                | -0,316*  | -0,366** | -0,292*  | -0,256*  | 0,523** |
| Olsen+EDTA | -0,251*                                 | -0,185NS | -0,063NS | -0,379** | -0,109NS | 0,282*  |
| DTPA       | -0,270*                                 | -0,207NS | -0,040NS | -0,279*  | -0,054NS | 0,329** |

Níveis de significância: \* = 5%; \*\* = 1%; NS = Não significativo

A semelhança nos resultados observados nas duas situações analisadas, indica que as influências das características dos solos nos teores de cobre extraídos pelas diferentes soluções realmente se fizeram presentes, nas condições deste trabalho, independentemente de alterações químicas nos solos.

Verifica-se que houve correlações significativas, nas duas situações analisadas, entre o cobre extraído do solo através das diferentes soluções e o pH. Para todos os métodos, houve um aumento da quantidade extraída com a diminuição do pH. Resultados compreensíveis, já que, de longa data se conhece o efeito da diminuição de solubilidade dos micronutrientes do solo com a elevação do pH.

BADHE et alii (1971) encontraram correlação negativa entre a concentração de cobre em solução de acetato de amônio e pH dos solos. Trabalhando com extratores ácidos

TIWARI & KUMAR (1982), SELVARAJAH et alii (1982), MACHADO & PAVAN (1987) também observaram aumentos significativos da quantidade de cobre extraído com a elevação do grau de acidez dos solos.

Da mesma maneira, MALEWAR et alii (1978), CAMARGO et alii (1982) constataram correlação negativa entre o pH e o teor de cobre extraído com DTPA. Por outro lado, em trabalho específico para seleção de métodos de extração de cobre disponível, CRUZ (1988) não encontrou significância entre o cobre extraído e o pH em todas situações analisadas. A autora cita vários trabalhos que corroboram seus resultados e ainda salienta que, na grande maioria dos trabalhos citados na literatura, mesmo nos casos onde a correlação entre o pH e a quantidade de cobre extraído foi significativa, os valores de  $r$  são baixos. Analisando-se os valores de  $r$  obtidos no presente trabalho (Quadro 16) este fato também pode ser observado.

No que diz respeito à correlação entre o cobre extraído dos solos com a solução de Mehlich e o teor de matéria orgânica neste experimento, observa-se que houve uma significativa correlação negativa entre as duas variáveis, o que indica uma certa dependência dos teores de cobre extraídos através dessa solução com os teores de matéria orgânica (Quadro 19).

Sabe-se que a matéria orgânica é o mais importante reservatório de cobre nos solos, entretanto, na maioria das vezes esse cobre se encontra em formas quelatadas ou complexadas, de difícil extração. Conforme as características descritas no quadro 1, muitos dos solos usados

no presente estudo possuem altos teores de matéria orgânica e certamente nas mais variadas formas.

Presume-se que, nas condições deste trabalho, a solução de Mehlich não foi eficiente em extrair o cobre adsorvido na matéria orgânica dos solos utilizados. Um exemplo que ilustra essa hipótese é o que ocorreu com o solo de número 4, que apresentava um teor de matéria orgânica de 17% e, nos resultados de análises realizadas com os diferentes extratores (Quadro 20) mostrou um dos menores teores extraídos com a solução de Mehlich, o que pode justificar a correlação negativa entre essas duas variáveis obtidas no presente estudo.

Deve-se salientar que a solução de Olsen + EDTA também apresentou correlação negativa com a matéria orgânica, porém somente nas análises realizadas antes do primeiro cultivo e com valores relativamente mais baixos de r.

Usando soluções de ácidos diluídos como o HCl 0,1N (MACIAS 1973), HCl 0,05N (PONNAMPERUMA et alii (1981), Mehlich (HAQ & MILLER 1972), esses autores obtiveram correlações negativas com a matéria orgânica. Por outro lado, SHARMA & DEB (1974); MacLEAN & LANGILLE (1976) e TIWARI & KUMAR (1982) obtiveram correlações positivas com HCl 0,1N.

No presente trabalho o extrator DTPA não apresentou correlação significativa com a matéria orgânica. Resultados semelhantes foram obtidos por PONNAMPERUMA et alii (1981) e FAGBANI et alii (1985). Entretanto, HAQ & MILLER (1972), MALEWAR et alii (1978) e CRUZ (1988) obtiveram correlações positivas e significativas com esse extrator e o teor de matéria orgânica. Observa-se portanto, grande

variabilidade dos resultados, o que, provavelmente, está relacionado às características intrínsecas dos solos ou dos extratores estudados em cada caso.

QUADRO 20 - Cobre extraído por meio de diferentes soluções extratoras nos 21 solos utilizados no experimento antes dos dois cultivos consecutivos ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ).

| Solo | Mehlich |      | OLSEN+EDTA |      | DTPA |      |
|------|---------|------|------------|------|------|------|
|      | Cultivo |      |            |      |      |      |
|      | 1º      | 2º   | 1º         | 2º   | 1º   | 2º   |
| 1    | 2,78    | 2,55 | 5,45       | 5,80 | 3,21 | 3,54 |
| 2    | 0,40    | 0,43 | 2,97       | 3,61 | 0,93 | 0,92 |
| 3    | 2,58    | 2,70 | 3,98       | 4,80 | 2,48 | 2,84 |
| 4    | 0,00    | 0,27 | 1,20       | 2,55 | 0,69 | 0,35 |
| 5    | 0,12    | 0,43 | 3,78       | 4,21 | 1,74 | 1,61 |
| 6    | 0,00    | 0,23 | 1,00       | 1,39 | 0,05 | 0,00 |
| 7    | 1,35    | 1,86 | 5,58       | 7,00 | 2,88 | 3,18 |
| 8    | 0,23    | 0,33 | 1,31       | 2,99 | 0,73 | 0,41 |
| 9    | 2,85    | 2,98 | 5,58       | 6,40 | 3,82 | 3,99 |
| 10   | 6,03    | 6,02 | 6,11       | 7,26 | 4,59 | 4,84 |
| 11   | 1,13    | 1,35 | 3,85       | 5,00 | 1,95 | 1,88 |
| 12   | 1,33    | 1,23 | 2,42       | 2,69 | 0,93 | 0,44 |
| 13   | 0,84    | 0,77 | 3,33       | 5,07 | 1,58 | 1,51 |
| 14   | 1,19    | 0,85 | 2,81       | 4,13 | 1,52 | 1,32 |
| 15   | 1,09    | 1,18 | 1,34       | 2,92 | 0,74 | 0,43 |
| 16   | 0,40    | 0,21 | 1,97       | 2,50 | 0,62 | 0,20 |
| 17   | 2,10    | 1,67 | 5,12       | 5,35 | 2,02 | 1,73 |
| 18   | 1,55    | 1,03 | 3,78       | 4,22 | 1,46 | 1,01 |
| 19   | 0,26    | 0,00 | 3,46       | 4,23 | 1,03 | 0,52 |
| 20   | 0,63    | 0,64 | 2,41       | 2,37 | 0,31 | 0,00 |
| 21   | 0,52    | 0,74 | 2,10       | 2,26 | 0,27 | 0,54 |

Considerando-se a grande participação da matéria orgânica nos processos de troca catiônica dos solos (adsorção e dessorção) e a correlação negativa dessa variável com a:

concentrações de cobre extraídas dos solos pela solução de Mehlich, o resultado da correlação negativa, com a CTC do solo era esperado, como pode ser constatado no quadro 19. Há uma relação direta entre as duas variáveis (CTC e Matéria orgânica) e inversa com as concentrações de cobre extraídas pela solução de Mehlich nos solos utilizados.

Ainda no que se refere aos dados apresentados no quadro 19, verifica-se que os coeficientes de correlação entre o cobre extraído dos solos pelos diferentes extratores e a percentagem de argila nesses solos foram significativos e todos negativos. Somente no caso do extrator Olsen + EDTA, as análises realizadas antes do primeiro cultivo não atingiram significância, o que implica a diminuição nas quantidades de cobre extraídas, à medida em que o teor de argila dos solos aumenta.

A princípio, os resultados são contrários ao esperado, considerando-se que a atividade dessa fração do solo é alta e que os teores de cobre nela detectados, conseqüentemente, também o são. Entretanto, presume-se que devido a essa alta atividade (alta capacidade de adsorção), os extratores testados tiveram suas eficiências de extração diminuídas, ou seja, extraíram menos quantidades de cobre em solos com maior teor de argila. CRUZ (1988) observou que, as correlações entre o cobre extraído do solo pelos extratores estudados e a percentagem de argila foram positivas. Entretanto, quando as correlações eram significativas, os valores de  $r$  eram baixos.

CRUZ (1988) trabalhou com solos muito diferentes dos utilizados no presente estudo, na sua grande maioria

Podzólicos e Latossolos, que, por definição, são altamente intemperizados e ricos em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Isso atribui a esses solos um comportamento muito diferente dos solos de várzea utilizados no presente trabalho. Por se encontrarem em ambientes de deposição de materiais (baixadas) e pelos próprios processos de formação, eles possuem uma variabilidade muito grande nas suas características físicas e químicas, o que lhes atribui um comportamento muito específico quando comparado aos de outras classes de solos.

Presume-se que, neste fato se encontre uma possível explicação para os resultados contrastantes entre os encontrados por CRUZ (1988) e os obtidos no presente estudo, levando-se em conta não apenas a correlação entre o cobre extraído dos solos e a percentagem de argila, como também as que se basearam nas percentagens de silte e areia.

No presente estudo, verifica-se que os valores de  $r$  entre o cobre extraído e a percentagem de silte foram todos negativos. Apenas o extrator de Mehlich alcançou significância, porém baixa, indicando pequena diminuição nas quantidades de cobre extraídos através dessa solução, à medida que o teor de silte nos solos aumentava. Resultados esperados considerando-se que esse comportamento é coerente com o observado no caso da percentagem de argila, embora com menor intensidade, por consequência da menor atividade dessa fração do solo.

Mais uma vez, os resultados contrariam os encontrados por CRUZ (1988) cujas correlações positivas observadas entre essas duas variáveis foram altamente

significativas na maioria dos casos analisados. A autora não conseguiu uma justificativa para tais resultados, uma vez que, segundo ela, a fração silte, em relação à argila, apresenta uma atividade muito baixa e geralmente, pequenas quantidades de cobre.

A justificativa de resultados discrepantes também para essas variáveis pode ser atribuída, da mesma forma, às diferentes características dos solos estudados em cada caso.

As correlações obtidas entre o cobre extraído e a percentagem de areia foram significativas e positivas em todos os casos analisados no presente estudo, o que implica maiores quantidades de cobre extraídas à medida que aumenta o teor de areia dos solos. Resultados estes compreensíveis, devido à facilidade de extração do cobre pelas soluções estudadas em solos com altos teores de areia, ou seja, devido à sua baixa capacidade de adsorção, esse cobre estaria facilmente extraível. CRUZ (1988) obteve correlações negativas entre as duas variáveis e justificou seu resultado considerando que os teores de cobre detectados na fração areia são muito baixos devido à sua atividade quase nula.

Uma análise mais ampla dos dados obtidos neste estudo, sugere não haver apenas problemas químicos associados com a extração de cobre nos solos estudados, mas uma interação de fatores inclusive ambientais capazes de alterar os resultados esperados.

Com o objetivo de avaliar a influência das características de solo na disponibilidade de cobre para as

plantas, introduziram-se em programa de regressão múltipla (tipo Step-Wise), as características de solo presumivelmente mais relacionadas com a disponibilidade do elemento. Em alguns casos, as correlações obtidas em testes com extratores poderiam melhorar

As relações entre a quantidade de cobre acumulada na parte aérea das plantas de arroz e as concentrações nos solos determinadas por diferentes extratores e outras características de solo estão apresentadas no quadro 21

Verifica-se que os coeficientes de regressão parciais não significativos obtidos para os extratores de Olsen + EDTA e DIPA no segundo cultivo impediram o aproveitamento das regressões múltiplas que envolveram esses extratores na estimativa da quantidade de cobre acumulada na parte aérea das plantas.

Observa-se que no primeiro cultivo foram constatados aumentos significativos dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para todos os extratores estudados à medida que foram introduzidas as características de solo no programa de regressão múltipla. No segundo cultivo, esse fato somente foi observado para o extrator de Mehlich.

Os teores extraíveis de cobre pelas soluções extratores de Mehlich, Olsen + EDTA e DIPA, associados às características de solo selecionados até o nível de 5% de probabilidade pelo programa de regressão, podem estimar a quantidade de cobre acumulada na parte aérea das plantas de arroz através das equações:

$$\text{CuA} = 0,59 - 0,08 \text{ pH} + 0,03 \text{ CuM} + 0,01 \text{ CTC}$$

$$\text{CuA} = 0,62 - 0,09 \text{ pH} + 0,02 \text{ CuO} + 0,005 \text{ CTC}$$

$$\text{CuA} = 0,62 - 0,09 \text{ pH} + 0,03 \text{ CuD} + 0,005 \text{ CTC}$$

onde CuA = Cobre acumulado na parte aérea das plantas (mg/vaso), CuM, CuO e CuD = respectivamente, aos teores de cobre extraíveis pelas soluções de Mehlich, Olsen + EDTA e DTPA e CTC = capacidade de troca catiônica.

QUADRO 21 - Relações entre a quantidade de cobre acumulada na parte aérea das plantas de arroz (CuA) e as concentrações de cobre nos solos determinados por diferentes extratores (CuM = Mehlich; CuO = Olsen+EDTA; CuD = DTPA) e outras características de solo (pH; Ag= argila (%); M.O. = matéria orgânica (%); T = capacidade de troca de cátions). 1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> cultivos.

| Regressões                               | 1 <sup>o</sup> Cultivo |      |
|--|------------------------|------|
|  | R <sup>2</sup>         | CV%  |
| CuA = 0,91 - 0,12pH                      | 0,349**                |      |
| CuA = 0,83 - 0,11pH + 0,01CuM            | 0,391*                 | 25,6 |
| CuA = 0,59 - 0,08pH + 0,03CuM + 0,01CTC  | 0,482**                |      |
| CuA = 0,91 - 0,12pH                      | 0,349**                |      |
| CuA = 0,76 - 0,10pH + 0,02CuO            | 0,421**                | 25,9 |
| CuA = 0,62 - 0,09pH + 0,02CuO + 0,005CTC | 0,472**                |      |
| CuA = 0,91 - 0,12pH                      | 0,349**                |      |
| CuA = 0,75 - 0,10pH + 0,03CuD            | 0,445**                | 25,4 |
| CuA = 0,62 - 0,09pH + 0,03CuD + 0,005CTC | 0,492*                 |      |
|  | 2 <sup>o</sup> cultivo |      |
| CuA = 0,39 + 0,03CuM                     | 0,124**                | 22   |
| CuA = 0,35 + 0,04CuM + 0,007M.O          | 0,221**                |      |
| CuA = 0,38 + 0,01CuO                     | 0,025NS                |      |
| CuA = 0,41 + 0,02CuD                     | 0,044NS                |      |

Níveis de significância: \* = 5%; \*\* = 1%; NS = Não significativo  
CV = coeficiente de variação.

Os sinais e a magnitude dos coeficientes de regressão parciais padronizados indicam que o pH influenciou negativamente na disponibilidade de cobre e foi a variável que mais influenciou no aumento das correlações em adição aos extratores. Essa influência é compreensível, considerando-se a relação entre pH e solubilidade de micronutrientes.

A CTC influenciou positivamente na disponibilidade de cobre. Os resultados são compreensíveis, considerando-se a importância dessa variável na adsorção de cobre.

No segundo cultivo constatou-se melhora no coeficiente de determinação ( $R^2$ ) somente para o extrator de Mehlich. O teor de matéria orgânica foi a característica de solo que ajudou a explicar a variação na quantidade de cobre acumulada na parte aérea das plantas, não demonstrada pelo extrator. Essa característica influenciou positivamente na disponibilidade do cobre e a influência é compreensível, admitida a importância desse constituinte como fonte de cobre no solo para as plantas. Como era de se esperar, após o solo ter sofrido correções na acidez e fertilidade, as características pH e CTC, deixaram de ser os fatores de maior influência na disponibilidade de cobre para as plantas, portanto não selecionados pelo programa de regressão múltipla.

Como indicam esses resultados, a consideração adicional das características de solos (pH, matéria orgânica e CTC), em análises de regressão múltipla, possibilitou aumentar a capacidade dos extratores de Mehlich, Olsen + EDTA e DTPA na estimativa da disponibilidade do cobre para as plantas.

### 4.3.3. Zinco

Neste estudo verificou-se uma grande diferença na capacidade de extração para cada método (Quadro 9). Apesar dos diferentes teores de zinco determinados pelos extratores, foi obtida uma alta correlação entre eles (Quadro 22). Esses

QUADRO 22 - Coeficientes de correlação entre os teores de zinco do solo determinados por meio de diferentes extratores, antes do 1º e 2º cultivos.

| Solução      | Antes 1º cultivo |         | Antes 2º cultivo |         |
|--------------|------------------|---------|------------------|---------|
|              | Olsen+EDTA       | DTPA    | Olsen+EDTA       | DTPA    |
| Mehlich      | 0,767**          | 0,952** | 0,853**          | 0,976** |
| Olsen + EDTA |                  | 0,836** |                  | 0,897** |

Níveis de significância: \*\* = 1%.

resultados indicam que os extratores usados são adequados para determinar os níveis de suficiência ou deficiência do elemento nos solos utilizados. Pode-se observar, ainda, nos dados apresentados no quadro 22 que as melhores correlações observadas foram entre os extratores de Mehlich e DTPA nas duas situações analisadas (antes do primeiro e antes do segundo cultivo):  $r = 0,95^{**}$  e  $0,97^{**}$  respectivamente, seguida pela comparação entre Olsen+EDTA e DTPA, e, finalmente Mehlich e Olsen+EDTA. Nota-se, também, que os valores de  $r$  aumentaram da primeira situação para a segunda nesses dois últimos casos. CAMARGO et alii (1982) e RITCHEY et alii (1986) também obtiveram as mais altas correlações entre a solução de Mehlich e DTPA, sendo que os primeiros também observaram aumento nos valores de  $r$  após a incubação das amostras.

QUADRO 23 - Coeficientes de correlação entre as concentrações de zinco nos solos, determinados por diferentes extratores e pH, matéria orgânica, CTC, % argila, % silte e % areia, em dois cultivos sucessivos.

| Solução    | Análise antes do 1 <sup>o</sup> cultivo |           |          |          |         |          |
|------------|---|-----------|----------|----------|---------|----------|
|            | pH                                      | Mat. Org. | CTC,     | % Argila | % Silte | % Areia  |
| Mehlich    | 0,102NS                                 | -0,247*   | -0,024NS | -0,383** | 0,393** | 0,031NS  |
| Olsen+EDTA | -0,030NS                                | 0,150NS   | 0,343**  | -0,303*  | 0,457** | -0,107NS |
| DTPA       | 0,136NS                                 | 0,094NS   | 0,144NS  | -0,396** | 0,488** | -0,040NS |

Análises antes do 2<sup>o</sup> cultivo

|            |         |          |          |          |         |         |
|------------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|
| Mehlich    | 0,182NS | -0,247*  | -0,050NS | -0,408** | 0,356** | 0,089NS |
| Olsen+EDTA | 0,093NS | -0,059NS | 0,224NS  | -0,492** | 0,571** | 0,017NS |
| DTPA       | 0,155NS | 0,183NS  | 0,048NS  | -0,401** | 0,395** | 0,047NS |

Níveis de significância \* = 5%; \*\* = 1%; NS = Não significativo

O comportamento constantes dos extratores nas situações analisadas sugere que estes foram pouco afetados em sua capacidade de extração do zinco, pelas mudanças químicas provenientes da correção do solo, notadamente da acidez.

Isso pode ser confirmado por meio dos dados apresentados no quadro 23. Observa-se que a correlação entre o pH do solo e os teores de zinco obtidos através dos diferentes extratores não foi significativa, tanto nas análises antes do primeiro cultivo (solos sem nenhum tratamento) como naquelas em que os solos haviam sofrido correção da acidez e fertilidade (antes do segundo cultivo).

Outra característica analisada como de possível influência na capacidade de extração das soluções utilizadas

foi a CTC, mas, à exceção da solução de Olsen + EDTA, nas análises realizadas antes do primeiro cultivo, os coeficientes de correlação entre essa variável e os teores de zinco extraídos pelos diferentes extratores nas duas situações analisadas não mostraram significância, o que confirma uma pequena influência das características químicas sobre a capacidade de extração das soluções estudadas nas condições deste trabalho

HAQ & MILLER (1972) encontraram correlação significativa entre o pH e os teores de zinco extraídos do solo somente para a solução de Mehlich ( $r = 0,552^{**}$ ) quando a comparou com DTPA e  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{EDTA}$  pH 8,6, em estudos de avaliação da disponibilidade de zinco em solos de Ontário (Canadá). CAMARGO et alii (1982) conseguiram correlação em apenas 25% dos casos para o DTPA e 15% para o extrator de Mehlich em amostras de 24 solos do Estado de São Paulo.

Os resultados encontrados no presente estudo, são, portanto, perfeitamente aceitáveis, embora aparentemente contrários ao esperado: segundo LINDSAY (1972) a elevação de uma unidade de pH diminui de 100 vezes a concentração de zinco na solução do solo. Presume-se que, como BAUER (1971), essas diferenças podem estar relacionadas às características físicas e químicas dos solos testados em cada caso, e com as propriedades inerentes a cada solução e processos de extração.

Ainda no Quadro 23 encontram-se relacionados os coeficientes de correlação entre o zinco extraído dos solos pelos diferentes métodos e o teor de matéria orgânica dos mesmos solos

Verifica-se que apenas para o extrator Mehlich houve correlação negativa e significativa entre as duas variáveis consideradas, o que indica uma certa dependência dos resultados em relação aos teores de matéria orgânica. A matéria orgânica do solo forma com o zinco complexos solúveis e insolúveis. De acordo com HODGSON et alii (1966), na média, 80% do zinco solúvel do solo ocorre na forma de complexos orgânicos. É possível, no entanto, que no presente caso, as formas de zinco complexadas na matéria orgânica fossem de maior proporção nas consideradas insolúveis e que o extrator de Mehlich não tenha conseguido solubilizá-las, ou se o conseguiu não foi capaz de mantê-las na solução do solo, permitindo a sua readsorção pela matéria orgânica durante o processo de extração.

Por outro lado, quando se utilizaram as soluções de Olsen + EDTA e DTPA não se verificou dependência dos resultados de zinco em relação aos teores de matéria orgânica, possivelmente devido à semelhança do princípio que ocorre nos processos de complexação destes extratores e da matéria orgânica. Nessa hipótese, o zinco solubilizado se manteria na solução através de processos de complexação e/ou quelatização, impedidos de serem readsorvidos pela matéria orgânica. HAQ & MILLER (1972) também encontraram correlação negativa e significativa entre os teores de zinco extraídos pela solução de Mehlich e os teores de matéria orgânica dos solos, o que corrobora os resultados do presente trabalho.

Deve-se salientar no entanto, que mesmo no caso em que ficou constatado o efeito significativo do teor de

materia orgânica sobre as quantidades de zinco extraído, o valor de  $r$  foi baixo ( $r = -0.247^*$ ) e a variação nos teores de materia orgânica explica pouco da variação nos teores detectados do elemento.

Ainda considerando os efeitos de características de solo nos processos de extração de zinco dos solos, foram estudadas as correlações entre o zinco extraído pelos diferentes extratores e as percentagens de argila, silte e areia, cujos resultados estão apresentados no quadro 23.

Verifica-se, primeiramente, que os valores de  $r$  entre o zinco extraído e as percentagens de areia dos solos não atingiram significância. Considerando que a atividade dessa fração do solo é praticamente nula, e que os teores de zinco nela detectados são muito baixos, os resultados são compreensíveis. Quanto aos obtidos em relação às outras frações do solo, pode-se observar que os coeficientes de correlação entre o zinco extraído e a percentagem de argila foram negativos e significativos em todos os casos. Na fração silte, os valores de  $r$  foram positivos e também significativos, o que implica uma diminuição na quantidades de zinco extraídas, à medida que o teor de argila dos solos aumenta e um aumento dessas quantidades quando o teor de silte é maior. Considerando-se uma alta atividade da fração argila dos solos (alta capacidade de adsorção), uma possível explicação para o fato seria a diminuição da eficiência de extração das soluções testadas decorrente dessa alta atividade da fração argila, ou seja quanto mais alta a percentagem de argila nos solos, menor a capacidade de extração das soluções. Em relação à fração

silte, por consequência da menor atividade no solo (baixa capacidade de adsorção) o cobre estaria facilmente extraível, o que possibilitou correlações positivas e significativas entre essa variável e o extraído pelas soluções.

Uma outra possível explicação seria que a fração silte, com menor atividade, poderia estar atuando como um "reservatório" de zinco nesses solos, através de significativas proporções de minerais facilmente intemperizáveis que contenham zinco. Nessa hipótese, seria compreensível a manutenção da concentração do solo por meio da dissolução desses materiais, o que estaria justificando as correlações positivas e significativas entre essa variável e as concentrações de zinco obtidas no presente estudo.

Depois de verificar-se a influência das características de solo na capacidade de extração dos diferentes métodos analisados, procedeu-se à seleção do método capaz de avaliar as quantidades disponíveis de zinco para as plantas. Para isso foram efetuados cálculos de correlação e regressão linear entre as quantidades de zinco extraídas dos solos através dos diferentes métodos e as concentrações e quantidades acumuladas na parte aérea das plantas e matéria seca produzida, obtendo-se as equações de regressão e os coeficientes de correlação linear ( $r$ ) para cada caso.

Os coeficientes de correlação entre os teores de zinco extraídos do solo pelos diferentes extratores e a concentração do elemento na planta, quantidade acumulada na parte aérea e produção de matéria seca encontram-se descritos no quadro 24.

QUADRO 24 - Coeficientes de correlação entre as concentrações de zinco nos solos, determinados por diferentes extratores e concentração e quantidade de zinco acumulada na parte aérea e peso seco das plantas de arroz cultivadas nos mesmos vasos em dois cultivos consecutivos

| Extratora  | Concentração de Zn |         | Ac. parte aérea |         | Peso Seco |          |
|------------|--------------------|---------|-----------------|---------|-----------|----------|
|            | ppm                |         | mg/vaso         |         | g/vaso    |          |
|            | Cultivos           |         |                 |         |           |          |
|            | 1º                 | 2º      | 1º              | 2º      | 1º        | 2º       |
| Mehlich    | 0,426**            | 0,613** | 0,409**         | 0,476** | 0,023NS   | -0,236NS |
| Musen+DTPA | 0,541**            | 0,688** | 0,474**         | 0,514** | -0,027NS  | -0,237NS |
| DTPA       | 0,432**            | 0,671** | 0,433**         | 0,259** | 0,087NS   | -0,232NS |

Níveis de significância \*\* = 1%, NS = Não significativo

Em nenhum dos dois cultivos, o zinco extraído através dos diferentes métodos apresentou correlação significativa com a matéria seca produzida. Este fato confirma a semelhança do comportamento dos extratores estudados obtida através da alta correlação entre eles. HAQ & MILLER (1972) também não observaram correlação significativa entre a matéria seca de plantas de milho e as concentrações de zinco extraídas com as soluções de Mehlich, DTPA e  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{EDTA}$  pH 8,6. Não é muito comum encontrar-se na literatura trabalhos que utilizem a correlação com a matéria seca para a seleção de métodos de extração de zinco, sendo preferencial o uso da concentração do elemento na planta e a quantidade absorvida. Admite-se, ainda, que esse último seja o melhor índice de disponibilidade do elemento no solo.

Ao se analisar o quadro 24 observa-se que o zinco extraído através dos diferentes métodos apresentou

correlação significativa e positiva com a concentração do elemento na planta nas situações analisadas. Observa-se ainda que os valores de  $r$  para o segundo cultivo foram maiores quando comparados aos do primeiro.

O extrator de Olsen+EDTA apresentou maior grau de correlação entre o zinco extraído e a concentração na planta no primeiro cultivo ( $r = 0.54^{**}$ ). Para as outras duas soluções, os valores de  $r$  entre essas duas variáveis foram inferiores e semelhantes, porém ainda significativos a 1% de probabilidade: 0.426<sup>\*\*</sup> e 0.432<sup>\*\*</sup>, respectivamente, para Mehlich e DTPA.

Em relação ao segundo cultivo, as diferenças entre os valores dos coeficientes de correlação foram menores, com comportamento bastante semelhante entre DTPA e Olsen + EDTA e com ligeira desvantagem para o extrator de Mehlich, embora, se tenha observado ainda uma pequena vantagem para o extrator de Olsen+EDTA

Levando-se em conta as equações de regressão entre o zinco extraído dos solos através dos diferentes extratores e a concentração nas plantas (Quadro 25) conclui-se que embora os coeficientes de correlação tenham mostrado significância estatística para os extratores estudados (Quadro 24), os coeficientes de determinação  $R^2$  (0.182; 0.187 e 0.203 respectivamente para os extratores de Mehlich, DTPA e Olsen+EDTA) indicam que apenas 18%, 19% e 20% da variação da concentração do zinco nas plantas pode ser explicada pelas quantidades extraídas do solo pelos três métodos no primeiro cultivo

No segundo cultivo, os valores dos coeficientes



de determinação  $R^2$  aumentaram consideravelmente, porém não alcançando ainda valores satisfatórios (Quadro 25). Isto indica que pode haver possivelmente, outras causas de influência na relação entre os fatores estudados, mascaradas por outras variáveis não incluídas nestas análises.

A observação da figura 6, sugere que abstraído-se os três pontos mais afastados das retas, possivelmente os extratores testados apresentem coeficientes de correlação mais altos para a relação entre o zinco extraído e a concentração na planta. O ponto mais afastado, à direita do gráfico, representa o valor encontrado no solo número 7. O que proporcionou a maior dispersão desse ponto foi o valor encontrado para o teor de zinco deste solo, bem superior aos dos demais. O fato se repetiu com todos os extratores estudados, como se pode verificar no quadro 26, confirmando que, realmente, a amostra n<sup>o</sup> 7 se trata de solo muito rico em zinco. Além disso este é um solo muito fértil em geral (Quadro 2) apresentando, inclusive, características vérticas, o que identifica, na maioria das vezes, solos muito férteis.

Os outros dois pontos afastados, acima no gráfico, foram devido a um valor muito alto, relativamente, do teor de zinco nas plantas crescidas nos vasos que continham os solos números 3 e 18, como pode ser verificado no quadro 6. É possível supor que os fatores que afetaram a disponibilidade do zinco nestes solos sejam mais diferenciais do que os que influíram nessa disponibilidade nos demais solos.

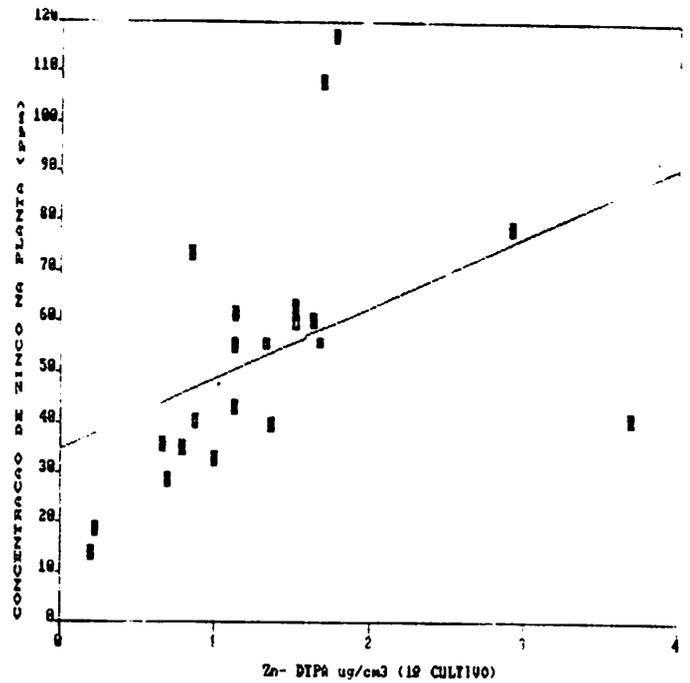
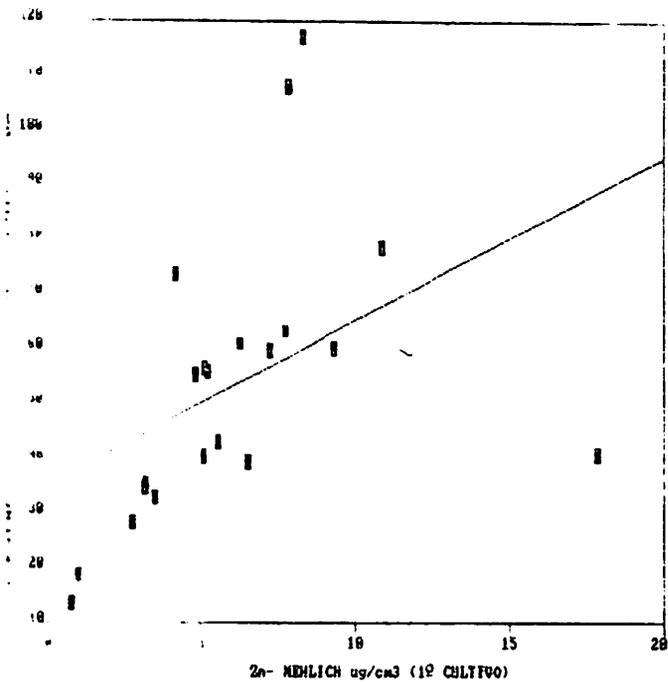
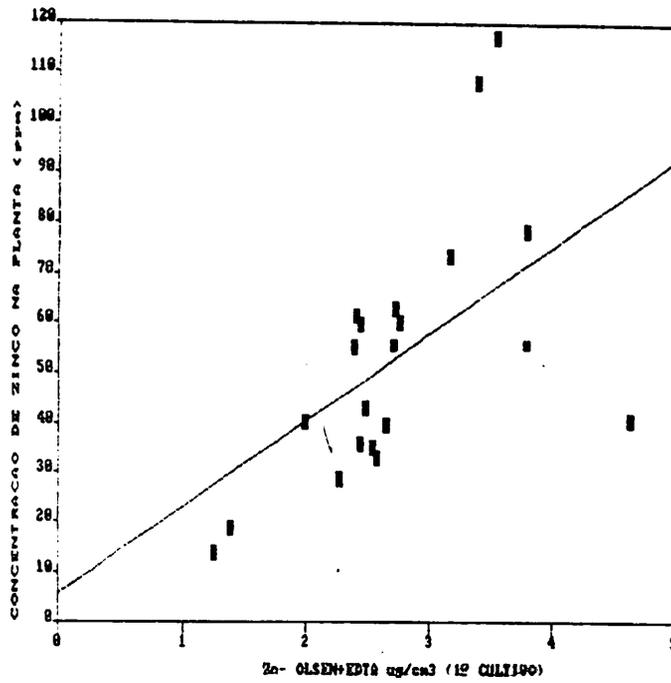


FIGURA 6 Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a relação entre a concentração de zinco nas plantas de arroz e extraído dos solos com Mehlich, Olsen + EDTA e DTPA (12 cultivo)

QUADRO 26 - Zinco extraído por meio de diferentes soluções extratoras nos 21 solos utilizados no experimento, antes dos dois cultivos consecutivos ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ).

| Solo | Mehlich |       | Olsen+EDTA |      | DTPA |      |
|------|---------|-------|------------|------|------|------|
|      | Cultivo |       |            |      |      |      |
|      | 1º      | 2º    | 1º         | 2º   | 1º   | 2º   |
| 1    | 6.31    | 3.57  | 2.40       | 2.03 | 1.14 | 0.75 |
| 2    | 3.23    | 2.34  | 2.44       | 2.08 | 0.66 | 0.47 |
| 3    | 8.35    | 6.77  | 3.54       | 2.73 | 1.77 | 1.59 |
| 4    | 5.14    | 3.64  | 3.79       | 2.23 | 1.68 | 0.90 |
| 5    | 3.19    | 2.59  | 2.54       | 2.09 | 0.79 | 0.51 |
| 6    | 4.21    | 1.68  | 3.16       | 1.82 | 0.85 | 0.40 |
| 7    | 17.84   | 17.64 | 4.63       | 5.05 | 3.69 | 3.87 |
| 8    | 5.57    | 4.29  | 2.48       | 2.68 | 1.13 | 0.79 |
| 9    | 4.85    | 3.06  | 2.39       | 1.72 | 1.13 | 0.68 |
| 10   | 9.35    | 7.53  | 2.76       | 2.77 | 1.64 | 1.43 |
| 11   | 5.25    | 3.75  | 2.71       | 2.29 | 1.33 | 0.91 |
| 12   | 5.12    | 5.67  | 1.99       | 1.79 | 0.87 | 0.76 |
| 13   | 10.88   | 9.72  | 3.79       | 4.40 | 2.92 | 2.11 |
| 14   | 3.51    | 3.39  | 2.57       | 2.38 | 1.00 | 0.68 |
| 15   | 7.28    | 7.48  | 2.44       | 2.17 | 1.52 | 1.09 |
| 16   | 6.57    | 9.32  | 2.65       | 2.78 | 1.37 | 1.90 |
| 17   | 7.78    | 6.11  | 2.72       | 2.26 | 1.52 | 1.18 |
| 18   | 7.87    | 5.35  | 3.38       | 2.51 | 1.69 | 1.24 |
| 19   | 2.76    | 2.43  | 2.27       | 2.09 | 0.70 | 0.44 |
| 20   | 0.98    | 0.85  | 1.39       | 0.87 | 0.23 | 0.10 |
| 21   | 0.76    | 1.46  | 1.25       | 0.52 | 0.20 | 0.09 |

Da mesma maneira, essas considerações são válidas para o segundo cultivo. A dispersão desses pontos não foi tão acentuada como no primeiro cultivo, mais ainda se pode perceber uma maior distância da reta por esses pontos em relação aos demais (Figura 7). Isso indica que as características apresentadas por esses solos se mantiveram durante o segundo cultivo, porém com menor intensidade.

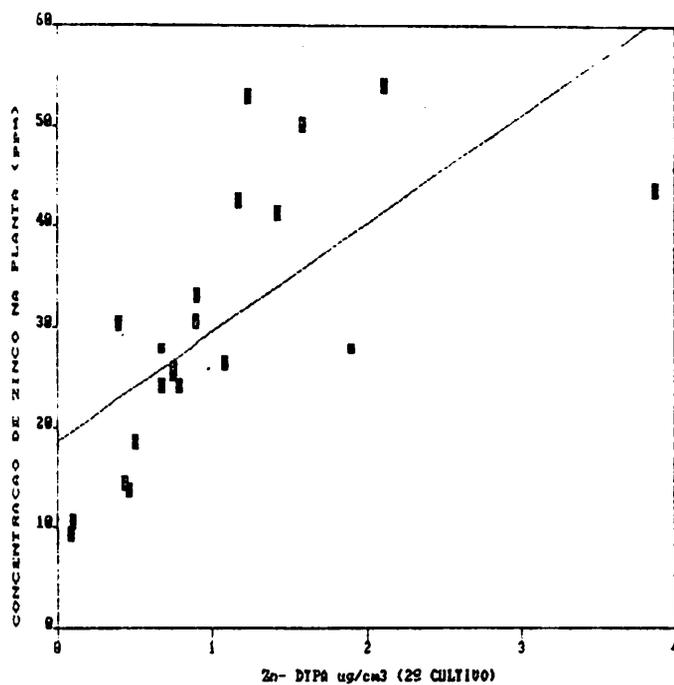
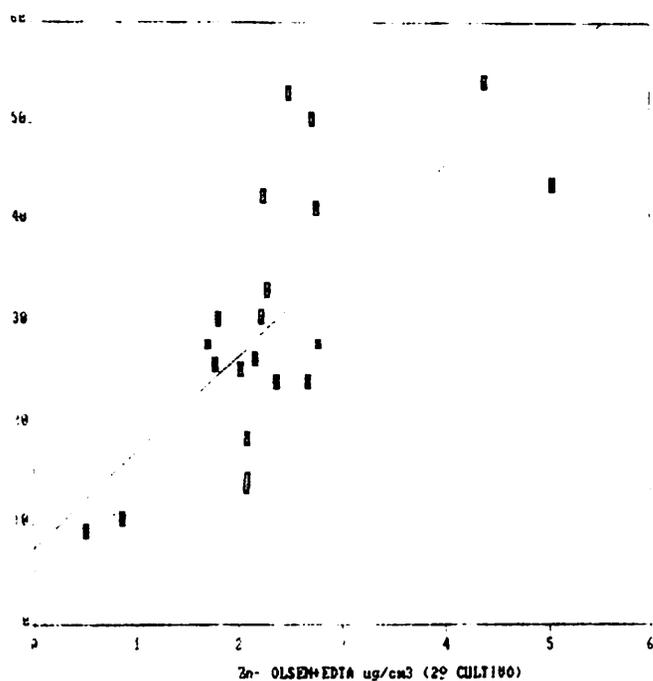
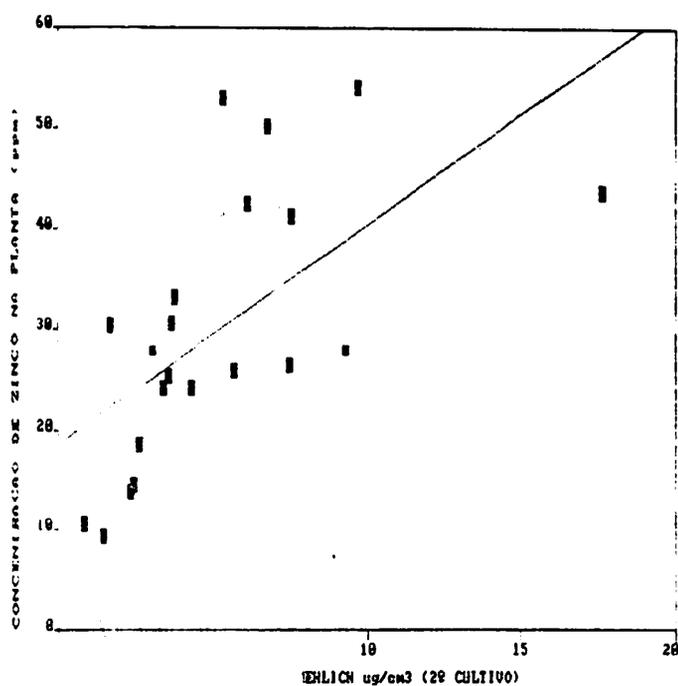


FIGURA 7 - Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a relação entre a concentração de zinco nas plantas de arroz e extraído dos solos com Mehlich, Olsen + EDTA e DTPA (2.º cultivo).

Os estudos de correlação e regressão utilizando-se a concentração do elemento na planta são importantes na avaliação de métodos para se prever a disponibilidade de um determinado elemento para as plantas. Entretanto, como mencionado anteriormente, é preferencial o uso da quantidade do elemento absorvida pela planta.

Em vista disso, tem-se, no quadro 24 os valores dos coeficientes de correlação entre o zinco extraído dos solos pelos diferentes métodos e a quantidade do nutriente acumulada na parte aérea das plantas. O que inicialmente chama a atenção é que os valores de  $r$  foram inferiores aos obtidos quando a correlação foi calculada com base no teor de zinco das plantas. Através dos dados apresentados por BATAGLIA & RAIJ (1989) pôde-se observar que os autores também obtiveram valores de  $r$  inferiores quando a correlação foi calculada com o zinco absorvido do que quando com o teor do elemento na planta de sorgo.

No quadro 24 verifica-se que, no primeiro cultivo, o melhor coeficiente de correlação foi o obtido para o extrator de Olsen+EDTA (0.474<sup>\*\*</sup>), seguido pelo DTPA (0.433<sup>\*\*</sup>) e Mehlich (0.409<sup>\*\*</sup>). No segundo cultivo, os extratores de Olsen+EDTA e DTPA, revelaram comportamentos semelhantes, porém com ligeira vantagem para o DTPA. Em outros estudos de seleção de métodos de extração de zinco foram encontrados resultados semelhantes aos do presente trabalho, com pequenas variações num ou noutro caso. Assim, LANTMANN & MEURER (1982) obtiveram as melhores correlações com o  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ +EDTA; MURAOKA et alii (1983) conseguiram coeficientes de correlação ligeiramente

superiores para EDTA e DTPA em relação ao HCl 0.1N; RIBEIRO & TUCUNANGO SARABIA (1984) mostraram maior eficiência do EDTA em relação ao extrator de Mehlich e BATAGLIA & RAIJ (1989) observaram um comportamento bastante semelhante entre DTPA, HCl 0.1N, Mehlich e EDTA, com ligeira vantagem para os extratores ácidos, segundo estes últimos autores.

Levando-se em consideração os estudos de regressão entre as concentrações de zinco extraídas do solo pelos diferentes extratores e as quantidades acumuladas na parte aérea das plantas (Quadro 25), observa-se, que de uma maneira geral, os coeficientes de determinação  $R^2$  são baixos, indicando que os teores de zinco extraídos pelas diferentes soluções explicam pouco da variação na quantidade acumulada na parte aérea das plantas do elemento. No primeiro cultivo, o melhor resultado foi o da solução de Olsen+EDTA seguido pelo DTPA e pela solução de Mehlich.

Na figura 8, que se refere à quantidade de zinco acumulada na parte aérea das plantas, também aparecem pontos destacados da reta, inclusive com o surgimento do referente ao solo número 13. Possivelmente, também neste solo, os fatores que afetaram a disponibilidade do zinco tenham sido mais diferenciais do que os que influíram na disponibilidade do zinco dos demais.

Sugere-se que abstraído-se esses pontos mais afastados da reta, possivelmente os extratores apresentem coeficientes de correlação mais altos. Como se pode observar na figura 9, que representam a relação entre a quantidade de zinco acumulada na parte aérea das plantas e o extraído do solo pelos

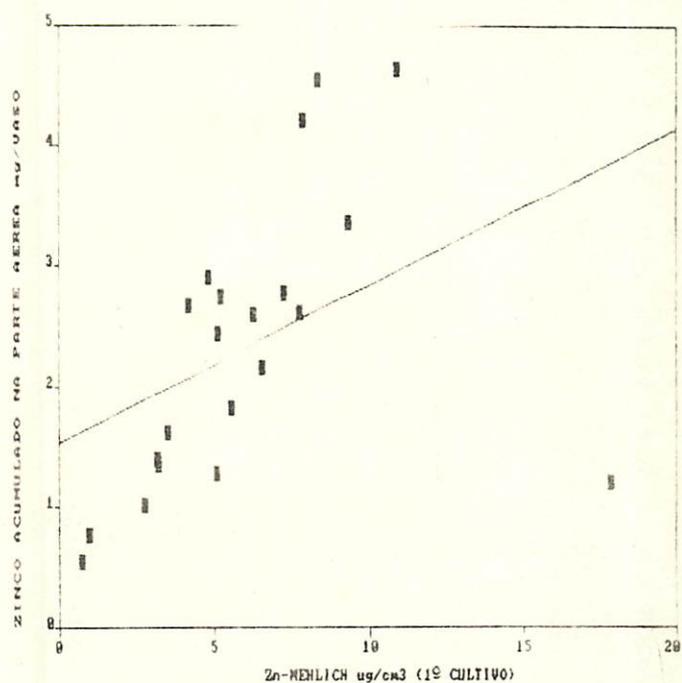
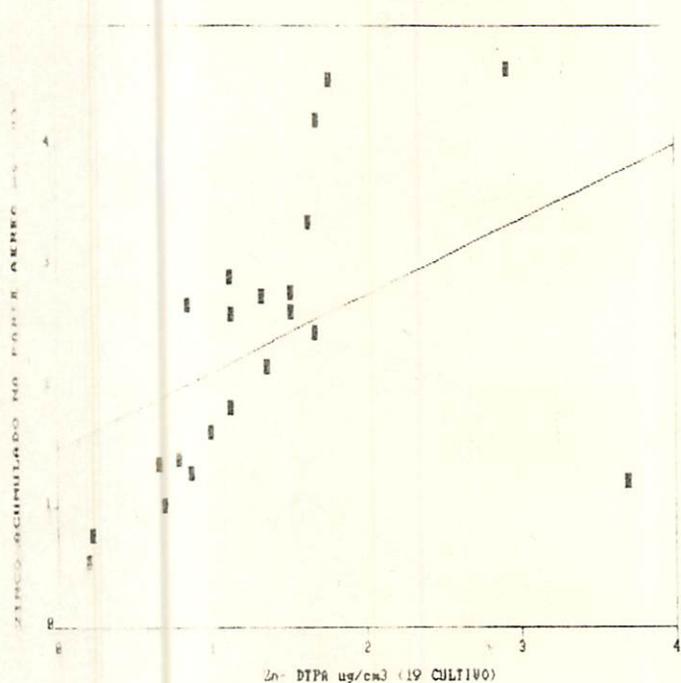
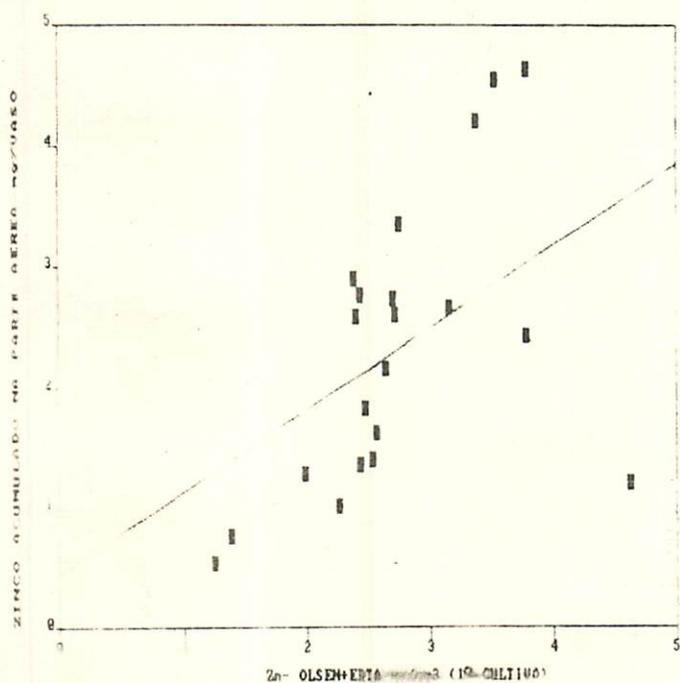


FIGURA 8 - Diagrama de dispersão de pontos e curva de regressão mostrando a relação entre a quantidade de zinco acumulada na parte aérea das plantas de arroz e o extraído dos solos com Mehlich, Olsen + EDTA e DTPA (1.º cultivo).

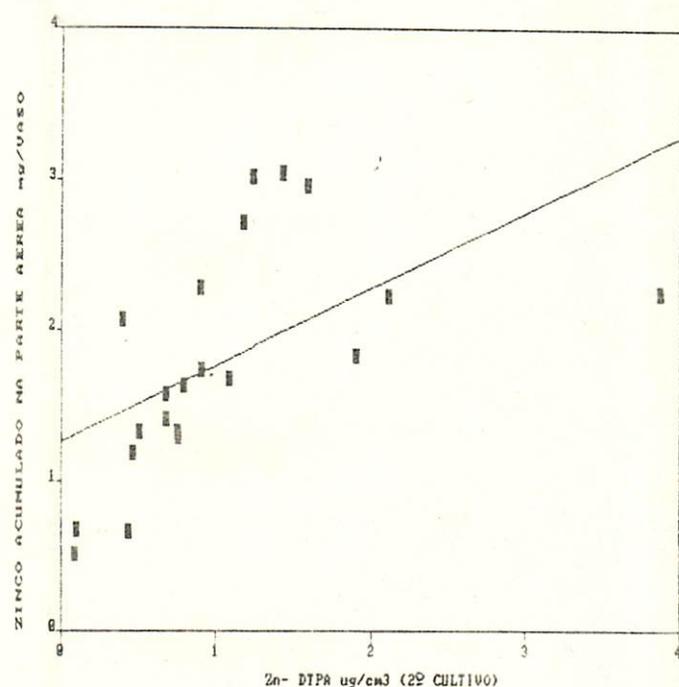
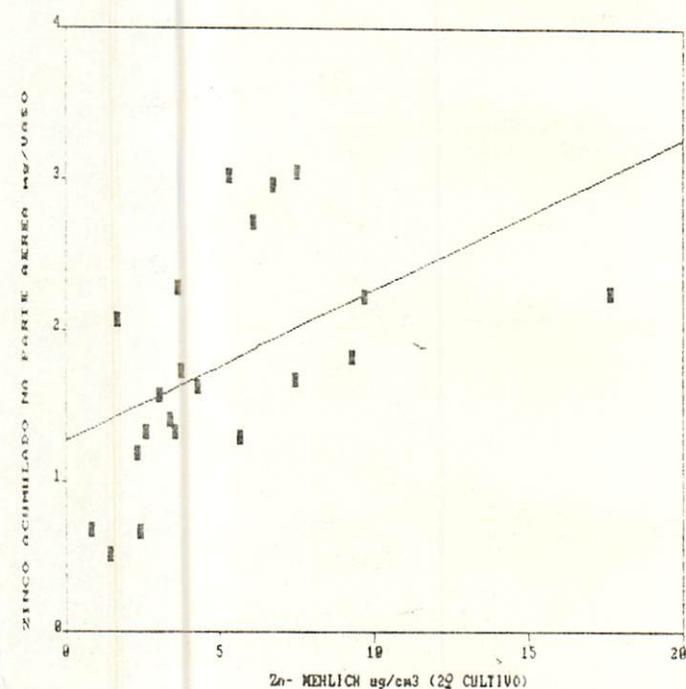
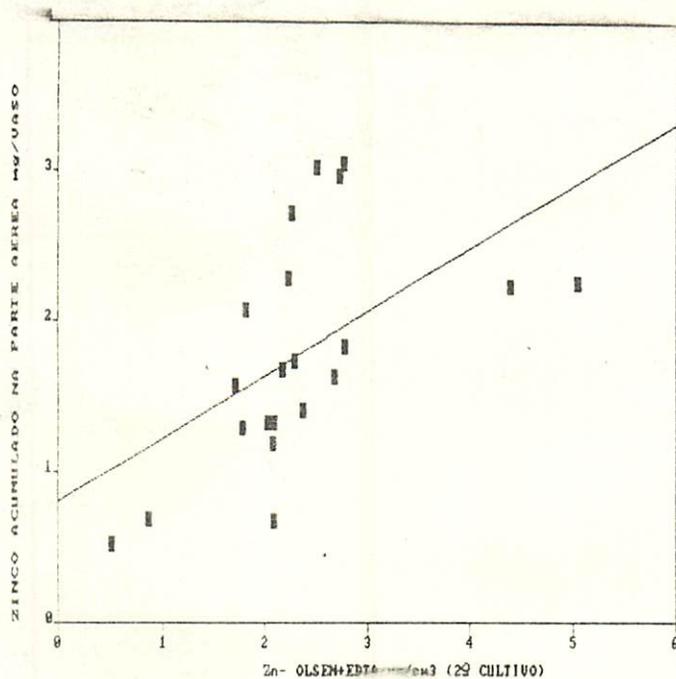


FIGURA 9 - Diagrama de dispersão e curva de regressão mostrando a relação entre a quantidade de zinco acumulada na parte aérea das plantas de arroz e o extraído dos solos com Mehlich, Olsen + EDTA e DTPA (2.º cultivo).

diferentes extratores no segundo cultivo, este fato também foi constatado. A sugestão apresentada para a primeira situação é, também válida para esta.

Com relação aos estudos baseados nas quantidades acumuladas na parte aérea das plantas, pode-se observar pela figura citada, que de uma maneira geral, os pontos mais distantes da reta correspondem àqueles solos com maiores teores de zinco e que conseqüentemente, permitiram maior absorção pelas plantas (Quadros 26 e 7). Entretanto, este fato não foi observado para o solo N<sup>o</sup> 7, o qual apresenta um teor elevado de zinco (confirmado pelos três extratores testados) sem mostrar um alto grau de absorção pelas plantas. É possível que este fato se deva ao efeito de algum fator físico de crescimento, tal como resistência ao desenvolvimento radicular. Nesta hipótese, um menor desenvolvimento das raízes, proporcionaria uma diminuição na absorção de zinco.

Apesar de não ter sido avaliado, foi observado, durante a condução do experimento, um menor desenvolvimento radicular das plantas crescidas nos vasos que continham o solo N<sup>o</sup> 7, provavelmente pelas condições físicas que este apresentava, ou seja, compacto, duro e com rachaduras quando seco e, quando molhado, muito plástico e muito pegajoso, semelhante aos solos com características vérticas. Essas observações levam a crer na possibilidade de que a menor absorção pelas plantas crescidas nesse solo se atribua a um fator físico de crescimento. Outro fato a reforçar esta hipótese é a quantidade de matéria seca produzida pelas plantas crescidas neste solo (Quadro 5). Verifica-se que o valor obtido

para esse solo foi um dos menores no segundo cultivo e o menor no primeiro cultivo, onde observou-se, também, a maior dispersão dos pontos em relação às retas (Figura 8).

Com certeza esses fatos contribuíram para diminuir os valores dos coeficientes de correlação no presente trabalho, mas não inviabilizaram o estudo para a seleção do melhor método de se prever a disponibilidade de zinco para as plantas.

Outro fato a se considerar é que, correlações simples como as que foram feitas neste trabalho, medem somente a relação direta entre as variáveis consideradas (no caso a relação entre o zinco extraído do solo e a concentração do elemento nas plantas e quantidades acumuladas na parte aérea para cada extrator). Assim, pode ocorrer que outras causas de influência na relação entre os fatores estudados tenham sido mascarados por outras variáveis não incluídas nestas análises. Nesse sentido, foram feitos estudos de correlação múltipla, tipo Step Wise para avaliar-se o grau de importância com que fatores de solo - como pH, matéria orgânica, CTC, percentagens de argila silte e areia - influem na disponibilidade do zinco para as plantas. Os resultados estão apresentados no quadro 27.

À medida que se incluíram características de solo como variáveis independentes em adição aos extratores, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram progressivamente aumentados, chegando a um máximo de 0.368; 0.490; e 0.441 para os extratores de Mehlich, Olsen+EDTA e DIPA respectivamente, no primeiro cultivo. Isto significa que os teores de zinco obtidos nos solos por esses extratores explicam 37%, 49% e 44% da

QUADRO 27 - Relações entre a quantidade de zinco acumulada na parte aérea das plantas de arroz (ZnA) e as concentrações de zinco nos solos determinados por diferentes extratores (ZnM = Mehlich; ZnO = Olsen+EDTA; ZnD = DTPA) e outras características de solo (pH; Ag = argila (%); M.O. = Matéria Orgânica (%); T = capacidade de troca de cátions). 1º e 2º cultivos.

| Regressões   | 1º Cultivo | R <sup>2</sup> | CV% |
|--|------------|----------------|-----|
| ZnA = 1,53 + 0,13 ZnM                                  |            | 0,167**        |     |
| ZnA = 6,28 + 0,14 ZnM - 0,94 pH                        |            | 0,316**        | 40  |
| ZnA = 7,72 + 0,12 ZnM - 1,14 pH - 0,07 M.O.            |            | 0,368*         |     |
| ZnA = 0,45 + 0,68 ZnO                                  |            | 0,225**        |     |
| ZnA = 4,56 + 0,67 ZnO - 0,80 pH                        |            | 0,332**        | 36  |
| ZnA = 6,71 + 0,75 ZnO - 1,15 pH - 0,13 M.O.            |            | 0,490**        |     |
| ZnA = 1,48 + 0,63 ZnD                                  |            | 0,187**        |     |
| ZnA = 6,45 + 0,70 ZnD - 0,99 pH                        |            | 0,351**        | 38  |
| ZnA = 8,25 + 0,68 ZnD - 1,26 pH - 0,10 M.O.            |            | 0,441**        |     |
| 2º Cultivo   |            |                |     |
| ZnA = 1,27 + 0,10 ZnM                                  |            | 0,227**        |     |
| ZnA = 8,78 + 0,12 ZnM - 1,44 pH                        |            | 0,516**        |     |
| ZnA = 9,91 + 0,14 ZnM - 1,71 pH + 0,05 M.O.            |            | 0,590**        | 28  |
| ZnA = 9,91 + 0,15 ZnM - 1,60 pH + 0,09 M.O. - 0,07 CTC |            | 0,627**        |     |
| ZnA = 0,80 + 0,42 ZnO                                  |            | 0,264**        | 31  |
| ZnA = 7,59 + 0,46 ZnO - 1,30 pH                        |            | 0,507**        |     |
| ZnA = 1,26 + 0,51 ZnD                                  |            | 0,280**        |     |
| ZnA = 8,66 + 0,59 ZnD - 1,41 pH                        |            | 0,561**        | 26  |
| ZnA = 9,55 + 0,65 ZnD - 1,62 pH + 0,04 M.O.            |            | 0,614**        |     |
| ZnA = 9,57 + 0,72 ZnD - 1,48 pH + 0,1 M.O. - 0,10 CTC  |            | 0,683**        |     |

Níveis de significância: \* = 5%; \*\* = 1%.

CV = coeficiente de variação

variação observada na quantidade do elemento acumulada na parte aérea das plantas. Os coeficientes ainda são relativamente baixos, devido, em parte, àqueles solos apresentarem valores marginais, já discutidos anteriormente.

No segundo cultivo, também se observaram aumentos progressivos dos coeficientes de determinação, à medida que foram introduzidas características de solo como variáveis independentes em adição aos extratores. Nesta situação, os valores chegaram a um máximo de 0.627; 0.507 e 0.683 para os extratores de Mehlich, Olsen+EDTA e DTPA respectivamente, o que significa que os teores de zinco obtidos por estes extratores passaram a explicar melhor a variação observada na quantidade acumulada na parte aérea das plantas, ou seja: 63%, 51% e 68% aproximadamente e respectivamente, em cada um dos três extratores

No primeiro cultivo, os sinais e a magnitude dos coeficientes parciais das equações indicaram que as características de solo, pH e matéria orgânica influíram negativamente na disponibilidade de zinco e que o pH é a variável de maior influência no aumento das correlações em adição aos extratores. Esses resultados são compreensíveis, considerada a grande influência do pH na solubilidade dos micronutrientes em geral. Segundo LINDSAY (1972), a elevação de uma unidade de pH diminui 100 vezes a concentração de zinco na solução do solo. Quanto à matéria orgânica, presume-se que estaria complexando o zinco diminuindo sua concentração na solução do solo, e, em consequência a disponibilidade do elemento para as plantas. HAQ & MILLER (1972), também

concluíram que a característica de solo de maior influência no aumento da correlação em adição aos extratores EDTA e DTPA foi o pH.

No segundo cultivo, quanto ao pH, observa-se semelhança nos resultados obtidos, ou seja, atuou negativamente na disponibilidade de zinco e foi a característica de solo que mais respondeu pelo aumento das correlações em adição aos extratores. A matéria orgânica passou a agir positivamente na disponibilidade de zinco, entretanto, somente para o extrator de Mehlich e DTPA. Supõe-se que, com as correções da acidez e fertilidade efetuadas nos solos, pode ter havido mineralização da matéria orgânica, através de condições favoráveis aos microorganismos e, conseqüentemente, liberação do zinco complexado para a solução do solo, aumentando a sua disponibilidade para as plantas. Também para estes dois extratores, verifica-se que a capacidade de troca catiônica (CTC) influiu negativamente na disponibilidade de zinco. Esse fator é compreensível considerada a importância da constituinte na adsorção de zinco. Nessa hipótese, as cargas negativas das frações do solo estariam contribuindo para atrair o zinco livre na solução do solo e diminuindo sua disponibilidade para as plantas.

## 5. CONCLUSÕES

1- Para avaliação da disponibilidade de cobre, zinco e boro em solos de várzea do Estado de Minas Gerais, o extrator de Mehlich apresentou-se como o mais adequado, notadamente no caso do último micronutriente citado.

2- Na maioria dos casos a inclusão dos parâmetros pH, matéria orgânica, e CTC, em análise de regressão múltipla, possibilitou aumentar a capacidade dos três extratores testados (Mehlich, Olsen+EDTA e DTPA) na estimativa da disponibilidade de cobre e zinco para as plantas nesses solos.

3- Na grande maioria dos casos, dos três parâmetros (pH, matéria orgânica e CTC), a inclusão do primeiro foi a que proporcionou maiores aumentos na capacidade de predição da disponibilidade de cobre e zinco, para os extratores testados nesses solos.

4- O parâmetro quantidade de matéria seca produzida não se mostrou eficiente nos estudos de correlação e regressão com os teores de boro, cobre e zinco extraídos desses solos, sugerindo que esse parâmetro seja preterido em relação a concentração dos

micronutrientes na planta e quantidade acumulada na parte aérea.

5- Sugere-se estudos adicionais para estabelecimento de níveis críticos de boro em solos de várzea, pois, com teores estabelecidos como adequados para solos de sequeiro, observou-se efeito depressivo no crescimento do arroz.

## 6. RESUMO

A produção de alimento, principalmente nos países do terceiro mundo, não vem acompanhando o crescimento populacional nas últimas décadas. Como consequência, o déficit de produtos alimentares caminha para uma fase crítica. Torna-se necessário, portanto, expandir-se a oferta mundial de alimentos.

Este aumento pode se dar através da exploração de novas áreas e/ou do aumento da produtividade nas atuais regiões agrícolas.

A exploração das áreas de várzeas inseridas nas regiões agrícolas se apresenta como uma alternativa para expansão das fronteiras agrícolas, aproveitando áreas até hoje quase inaproveitáveis.

A avaliação da fertilidade dos solos é uma variável imprescindível de ser conhecida nesse processo. Entretanto, existe falta de estudos nesse aspecto para as condições de várzeas drenadas, o que justificou o presente trabalho. O objetivo foi selecionar métodos de análise de solos para avaliação da disponibilidade de B, Cu e Zn, usando arroz como planta indicadora.

Foram utilizados amostras da camada arável de 21

solos de várzea, coletados no Estado de Minas Gerais, com diferentes características químicas e físicas.

O experimento foi instalado em casa de vegetação do Departamento de Ciência da Solo da ESAL-MG sendo adotado o delineamento em blocos ao acaso com três repetições. Foram realizados dois cultivos sucessivos em vasos plásticos, após a correção de acidez e adição de macronutrientes, utilizando-se arroz como planta indicadora.

Nos solos, após cada cultivo, determinou-se B com os extratores água quente,  $\text{CaCl}_2$  0.01M a quente, e Mehlich ( $\text{HCl}$  0.05N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.025N) nas relações solo:solução (1:2) e Cu e Zn com os extratores: Mehlich (1:4), Olsen ( $\text{NaHCO}_3$ )+EDTA (1:10) pH 8,5 e DTPA-TEA pH 7,3. Foram obtidos dados de matéria seca, concentrações dos elementos e quantidade acumulada na parte aérea das plantas.

A avaliação dos resultados foi feita com base em

a) correlações entre teores dos micronutrientes extraídos pelos diferentes métodos com os parâmetros de plantas obtidos.

b) desenvolvimento de equações de regressão tipo Step Wise entre quantidade de micronutriente acumulada na parte aérea das plantas e teores extraídos do solo, pH, matéria orgânica, CTC (capacidade de troca catiônica) e percentagens de argila, silte e areias.

O presente trabalho permitiu as seguintes conclusões.

1- Para avaliação da disponibilidade de cobre, zinco e boro em solos de várzea do Estado de Minas Gerais, o extrator de Mehlich apresentou-se como o mais adequado, notadamente no caso do último micronutriente citado.

2- Na maioria dos casos a inclusão dos parâmetros pH, matéria orgânica, e CTC, em análise de regressão múltipla, possibilitou aumentar a capacidade dos três extratores testados (Mehlich, Olsen+EDTA e DTPA) na estimativa da disponibilidade de cobre e zinco para as plantas nesses solos.

3- Na grande maioria dos casos, dos três parâmetros (pH, matéria orgânica e CTC), a inclusão do primeiro foi a que proporcionou maiores aumentos na capacidade de predição da disponibilidade de cobre e zinco, para os extratores testados nesses solos.

4- O parâmetro quantidade de matéria seca produzida não se mostrou eficiente nos estudos de correlação e regressão com os teores de boro, cobre e zinco extraídos desses solos, sugerindo que esse parâmetro seja preterido em relação a concentração dos micronutrientes na planta e quantidade acumulada na parte aérea.

5- Sugere-se estudos adicionais para estabelecimento de níveis críticos de boro em solos de várzea, pois, com teores estabelecidos como adequados para solos de sequeiro, observou-se efeito depressivo no crescimento do arroz.

## 7. SUMMARY

The exploration of lowland areas found in the agricultural regions, represent an alternative way for the expansion of the agricultural borders, by using the areas that are almost unused today

The soil fertility evaluation is an indispensable variable to being known in this process. However, there is a lack of studies for lowland soils, under drainage systems, which justified the present research work. The objective of this research was to select different soil methods for the evaluation of the nutrient availability (B, Cu and Zn) and using rice as a indicator plant.

The experiment was conducted at greenhouse conditions of the Soil Science Department (Agriculture School, Lavras, Minas Gerais State, Brazil). It was used a randomized block design consisting of 21 soil samples collected from superficial layers of lowland soils with different chemical and physical properties with three replications. Two successive rice cultivations were made using plastic pots filled with the soil referred above being corrected previously the acidity and added a basic fertilization of N, P, K and S.

In the soils, after each cultivation, was

determined B with the extractors of hot water,  $\text{CaCl}_2$  0.01M under heat, and Mehlich ( $\text{HCl}$  0,05N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025N) in the relations of soil solution (1:2) and Cu e Zn with the extractors: Mehlich (1:4), Olsen ( $\text{NaHCO}_3$ )+EDTA (1:10) pH 8,5 and DTPA-TEA pH 7,3.

Were evaluated the rice above ground dry matter, the concentration of micronutrient (B, Cu and Zn) and the total quantity accumulated in the aerial part of the plant.

Was also done the correlations between the micronutrient contents extracted by different methods with the above ground dry matter, concentration of micronutrients and quantity accumulated in the aerial part of the plant and also was developed a STEP WISE multiple regression equations between the quantity of accumulated micronutrients in the aerial part of the plant and the nutrients extracted of the soil, pH, organic matter, cationic exchange capacity (CEC) and the percentages of clay, silt and sand.

According to the obtained results were get the following conclusions:

The Mehlich extractor showed to be the most appropriate to evaluate the availability of Cu, Zn and B of the Minas Gerais lowland soils, specially in the case of the last cited micronutrient.

In the most cases the inclusion of parameters such as pH, organic matter and CEC in the multiple regression analyses caused a increase in the capacity of the three tested extractors

(Mehlich, Olsen + EDTA and DTPA) in the estimation of the copper and zinc availability for the plants.

3- In the great majority of cases, of the three parameters, (pH, organic matter and CEC) the inclusion of the first one, was the one that provided greater increase in the capacity of prediction of the availability of copper and zinc for the extractions solutions tested in these soils.

4- The parameter quantity of dry matter produced did not show itself efficient in the studies of correlation and regression with the contents of boron, copper and zinc extracted in these soils, suggesting that this parameter should be refused, in relation to the concentration of micronutrients in the plant and accumulated quantity in the aerial part.

5- It is suggested that additional studies for establishing the critical levels of boron in lowland soils, should be done, because with the levels established as adequate assumed for upland soils, was observed a depressive effect in the growth of rice

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A. Identificação de deficiências de macronutriente em três solos de várzeas de Minas Gerais. Lavras, ESAL, 1985. 93p. (Tese MS).
- \_\_\_\_\_ & LOPES, A.S. Identificação de deficiências de micronutrientes em cinco solos de várzeas da região dos cerrados de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20, Belém, PA, 1985. Resumos... Campinas, SBCS, 1985. p.76.
- BADHE, N.N.; NAPHADE, K.T.; BALLAL, D.K. Status of available copper and manganese in soils from Bhandra district in Maharashtra. Journal Indian Society Soil Science, New Delhi, 19: 175-178, 1971.
- BARTZ, H.R. Adsorção e disponibilidade de Boro em alguns solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Fac. Agron., UFRGS, 1974. 95p. (Tese MS).
- BARTZ, H.R. & MAGALHÃES, A.F. Avaliação da disponibilidade de boro através de soluções extratoras em alguns solos do Rio Grande do Sul. Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, 11: 86-96, 1975.

- BATAGLIA, O.C. & RAIJ, B. van. Extratores de micronutrientes da análise do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 18, Guarapari, 1988. Resumos... Guarapari, SEAG-ES/EMCAPA/EMATER-ES/SBCS, 1988. p.84.
- \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_ Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 13:205-212, 1989.
- \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_ Eficiência de extratores na determinação de boro em solos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 14:25-31, 1990.
- BAUER, A. Considerations in the development of soils tests for "available" zinc. Soil Science and Plant Analysis, 2(3):181-193, 1971.
- BERGER, K.C. & TRUOG, E. Boron determination in soils and plants. Industrial and Engineering Chemistry, Anal. Ed., Washington, 11:540-5, 1939.
- \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_ Boron deficiencies as revealed by plant and soil test. Journal of the American Society of Agronomy, New York, 32(1):297-301, 1940.
- BEYERS, C.P.L. & HAMMOND, T. The relationship between copper uptake by barley seedlings and various forms of extractable soil copper. Agrochemophysica, Pretoria, 3:23-26, 1971.
- BLAKE, G.R. Particle density. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling, Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, Cap. 20. p.371-3. (Agronomy, 9).

- CAMARGO, O. A. ; VALADARES, J. M. A. S. & DECHEN, A. R. Efeitos do pH e da incubação na extração de manganês, zinco, cobre e ferro no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 6: 83-88, 1982.
- CARDOSO, A. Caracterização e classificação de solos orgânicos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SOLOS ORGÂNICOS. Curitiba, MA/PRÓ-VÁRZEAS/EMBRATER, 1984. 12p. (mimeografado).
- CARRIEL, J. M. ; COLOZZA, M. T. ; WERNER, J. C. ; PAULINO, V. T. Limitações nutricionais de dois solos de várzeas do Estado de São Paulo para o cultivo de aveia e do azevém. Zootecnia, Nova Odessa, 22: 153-177, 1984.
- CARTWRIGHT, B. ; MILLER, K. G. ; ZARCINAS, B. A. The chemical assessment of the boron status of soils. Australian Journal of Soil Research, Melbourne, 21: 321-32, 1983.
- CAIANI, R. A. ; ALCARDE, J. C. ; KROLL, F. M. Extração e determinação do boro solúvel em solos. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 27: 289-94, 1970.
- COFFMANN, C. B. & MILLER, J. R. Response of corn in the green house to soil applied zinc and a comparison of three chemical extractions for determining available zinc. Soil Science of America Proceedings, Madison, 37(3): 721-4, 1973.
- QUEIROZ, E. F. & ANDRADE, J. M. V. de. Efeito da adubação com zinco, cobre, manganês, boro e magnésio sobre a produção de milho em solo aluvião de Sete Lagoas. Sete Lagoas, IPEACO, 1974. 3p. (Boletim Técnico, 24).
- OREY, R. B. & SCHULTE, E. E. Factors affecting the availability of nutrients to plants. In: WALSH, L. M. & BEATON, J. D. ed.

- Soil testing and Plant Analysis. Madison, Soil Science Society of America, 1973. p.23-33.
- CORREA, A.E.; PAVAN, M.A. & MIYAZAWA, M. Aplicação de boro no solo e respostas do cafeeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 20(2):177-81, Fev. 1985.
- COX, F.R. & KAMPRATH, E.J. Micronutrientes soil tests. In: DI NAUER, R.C. Micronutrient in agriculture. Soil Science Society of America, 1972. p.289-317.
- CRUZ, M.C.P. da. Seleção de métodos para avaliação de cobre disponível dos solos. Jaboticabal, UNESP, 1988. 93p. (Tese MS)
- & FERREIRA, M.E. Seleção de métodos para avaliação de cobre disponível em solos. Pesquisa Agropecuária Brasileira Brasília 19:1457-64, 1984.
- CURTI, N. & ANDRADE, H. Solos de Várzea. Lavras, s.ed., 1983. (mimeografado).
- & \_\_\_\_\_ Solos de Várzea. In: Classificação e levantamento de Solos. Lavras, s.ed., 1986. 48p. (mimeografado).
- DAI, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Cap.43. p.545-67. (Agronomy, 9).
- DIBLE, W. ; TRUOG, E.; BERGER, K.C. Boron determination in soils and plants-simplified curcum inprocedure. Analytical Chemistry. Washington. 26,(2):418-21, 1954.

- DWIVEDI, K.N. & SHANKER, H. Correlation of soil tests with response of wheat to applied copper. Journal Indian Society Soil Science, New Delhi, 25:410-413, 1977.
- EDLIN, V.M.; KARAMANOS, R.E.; HALSTEAD, E.H. Evaluation of soils extractants for determining Zn and Cu deficiencies in Saskatchewan soils. Communication in Soil Science and Plant Analysis, New York, 14(4):1167-79, 1983.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, 1979. n.p.
- 
- \_\_\_\_\_. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação e solos. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do triângulo mineiro. Rio de Janeiro, 1982. 526 p. (Boletim de Pesquisa, 1).
- EVANS, C.E.; WEAR, J.I.; HAJEK, B.F. & COPE Jr., J.T. The relationship of soil zinc removed by three extractants to zinc uptake by corn and sorghum in medium-to fine textured soils. Communication in soil science and plant analysis, New York, 5(2):105-13, 1974.
- FAGBAMI, A.; AJYI, S.O.; ALI, E.M. Nutrient distribution in basement complex soils of the tropical, dry rain foresty of Southwestern Nigeria: 2. Micronutrients - zinc and copper. Soil Science, Baltimore, 139:531-537, 1985.
- FARRAR, K. A review of extration techniques used to determine available Boron in soils. ADAS Quarterly Review, London, 19:93-100, 1975.

- FELÍCIO, J.C. & LEITE, N. Micronutrientes na forma de óxidos silicatos e chochamento em trigo de várzeas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 17(10):1417-1421, 1982.
- FERNANDEZ, C.C. Ocorrência diagnóstico e controle de deficiências de micronutrientes na cana-de-açúcar e em outras culturas no Nordeste do Brasil. Recife, IPEANE, 1972. 8p. (comunicado técnico, 3).
- FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. Modificação no método de água em ebulição para extração de boro solúvel em solo. s.ed., 1984, 12p.
- &----- Seleção de métodos para zinco disponível de solos. In: Resumos da Reunião Brasileira de Fertilidade do solo, 18, Guarapari-ES, 1988. Resumos... Guarapari-ES. SEAG-ES/EMCAPA/EMATER-ES/SBCS, 1988. p.76.
- FILGUEIRA, F.A.R. Manual de Olericultura; a cultura e comercialização de hortaliças, 2ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981 v.1.
- FREIRE, F.M. & NOVAIS, R.F. Solos de várzeas: características e problemas relativos à fertilidade. In: BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Produção Agropecuária. PROVÁRZEAS NACIONAL; 1 HECTARE VALE POR 10. Brasília, s.d. p.29-38. (Informação Técnica, 1).
- GALRÃO, E.Z. Resposta do trigo à aplicação de cobre em um solo orgânico de várzea. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 12:275-279, 1988a.
- Respostas das culturas aos micronutrientes boro e zinco. In: SIMPÓSIO DE ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICUL

- TURA BRASILEIRA, Londrina, 1988. Anais... Londrina, EMBRAPA-CNPSO/ IAPAR/ SBCS, 1988. p.205 a 237b.
- \_\_\_\_\_ & SOUZA, D.M.G. Resposta do trigo à aplicação de cobre em solo orgânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20, Belém, 1985. Resumos... Campinas, SBCS, 1986. p.92.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_ & PERES, J.R.R. Caracterização de deficiências nutricionais em solos de várzea da região dos cerrados. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 19(9): 1091-101, set., 1984.
- GARGANTINI, H.; LEITE, N. & HUNGRIA, L.S. Efeito de micronutrientes na produção e no tipo de tubérculos de batata, em cultura efetuada em solo de várzea do Vale do Paraíba. Bragantia, Campinas, 29(1):1-10, 1970.
- GESTRING, W.D. & SOLTAMPOUR, P.N. Evaluation of the ammonium bicarbonate-DTPA soil test for assessing boron availability to alfafa. Soil Science Society of America Journal, Madison, 48(1):96-100, 1984.
- GREWALL, J.S.; LAL, C.; RANDHAWA, N.S. Evaluation of different methods for the determination of available copper in soils of Ludhiana. Indian Journal Agricultural Science, New Delhi, 39:877-885, 1969.
- GUPTA, U.C. A simplified method for determining hot-water soluble boron in podzol soils. Soil Science, Baltimore, 103(6): 429-9, 1967.
- GUTTERRES, J.F. & VOLKWEISS, S.J. Avaliação da disponibilidade de boro para as plantas em solos do Rio Grande do Sul. Agro

- nomia Sulriograndense, Porto Alegre, 23(2):229-238, 1987.
- HAQ, A.V. & MILLER, M.H. Prediction of available soil Zn, Cu and Mn using chemical extractants. Agronomy Journal, Madison, 64:779-782, 1972.
- HAUSER, G.F. The calibration of soil tests for fertilizer recommendations. Roma, FAO, 1973. 71p. (FAO Soils Bulletin, 18).
- HIROCE, R.; GALLO, J.R. & NOBREGA, S. de A. Deficiência de boro em batatinha cultivada em solo orgânico do Vale do Paraíba. Bragantia, 30:V-VII, 1971.
- HODGSON, J.R.; LINDSAY, W.L.; TRIERWEILER, J.R. Micronutrient cation complexing in soil solution. II. Complexing of zinc and copper in displacing solution from calcareous soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 30:723-6, 1966.
- HOROWITZ, A. & DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. III. Cobre na zona litoral-matas. Pesquisa Agropecuária Brasileira Série Agronomia, Rio de Janeiro, 8(7):169-76, 1973.
- HUNTER, A.H. Procedimento analítico del suelo usando la solución extractante modificada de  $\text{NaHCO}_3$ . s.ed., s.d. 7p. (mimeografado).
- MEYEGAR, B.R.V. & DEB, D.L. Evaluation of some chemical extractants for determination of available zinc in soil. Journal Indian Society Soil Science, New Delhi, 24(4):396-402, 1976.
- JIN, J.Y.; MARTINS, D.C. & ZALAZNY, L.W. Plant availability of applied and native boron in soils with diverse properties. Plant and Soil, Dordrecht, 105(1):127-32, 1988.

- JOHN, M.K. A Batch-handling technique for hot-water extraction of boron from soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 37:332-3, 1973.
- KAMASHO, J.A. & SINGH, B.R. Available copper and zinc status of some Tanzanian volcanic ash soils: a case study. Pedologie, 32:209-224, 1982.
- LAMSTER, E.C. Programa nacional de aproveitamento racional de várzeas - PROVÁRZEAS NACIONAL. In: BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Produção Agropecuária. PROVÁRZEAS NACIONAL; 1 HECTARE VALE POR 10. Brasília, s.d. p.7-11. (Informação Técnica, 1).
- LANTMAN, A.F. & MEURER, E.J. Estudo da eficiência de extratores para avaliação do zinco disponível do solo para o milho. Revista Brasileira de Ciência do solo, Campinas, 6(2):131-8, 1982.
- LEITE, N. Efeitos da aplicação de bórax em cultura de batatinha, em várzea irrigada, no Vale do Paraíba. Bragantia, 29 (30):329-336, 1970.
- LINDSAY, W.L. Zinc in soils and plant nutrition. Advances in Agronomy, New York, 24:147-86, 1972.
- \_\_\_\_\_ & COX, F.R. Micronutrient soil testing for the tropics. In: VLEK, P.L.G. Micronutrients in tropical food crop production; Developments in plant and soil sciences. Dordrecht, Martinus Nijhoff, 1985. v.14, p.169-200.
- \_\_\_\_\_ & NORVELL, W.A. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science American Journal, Madison, 42:421-428, 1978.

- LOMBIN, G. Evaluating the micronutrient fertility of Nigeria's Semiarid Savana soils: 1. Cooper and manganese. Soil Science, Baltimore, 135(4):377-84, 1983.
- \_\_\_\_\_ & BATES, T.E. Comparative responses of peanuts, alfafa and soybeam to varying rates of boron and manganese on two calcareous Ontario soils. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, 62(1):1-9, 1982.
- LOPES, A.S. Uso eficiente de fertilizantes com micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. Anais ... Brasília, EMBRAPA-DEP, 1984. (EMBRAPA-DEP. Documentos, 14).
- \_\_\_\_\_ & CARVALHO, J.G. Micronutrientes: Critérios de diagnose para solos e plantas, correção de deficiências e excessos. In: SIMPÓSIO DE ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1, Londrina, 1988. Anais... Londrina, EMBRAPA-CNPSO/ IAPAR/SBCS, 1988. p.133-78.
- MACHADO, P.L.O. de A. & PAVAN, M.A. Avaliação de métodos químicos para extração de zinco disponível no solo para mudas de café Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 22(2):213-7. rev. 1987
- MACIAS, F.D. Copper and zinc status in pasture soils of Salamanca, Spain. Soil Science, Baltimore, 115:276-283, 1973.
- MacLEAN, K.S. & LANGILLE, W.M. The extractable trace element content of acid soil and the influence of pH, organic matter and clay content. Communication in Soil Science and Plant Analysis, New York, 7:777-785, 1976.

- MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F. & BRASIL SOBRINHO, M. O.C. Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas. São Paulo, Pioneira, 1974. 752p.
- MALEWAR, G.W.; VARADE, S.B.; JADHAV, N.S. Distribution of manganese and copper in some soils of some citrus growing tract of Marathwada. Indian Journal Agriculture Research, Harayana, 12:227-230, 1978.
- MARINHO, M.L. Respostas das culturas aos micronutrientes ferro, manganês e cobre. In: Anais do SIMPÓSIO DE ENXOFRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1988. Anais... Londrina, EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. p.239-264.
- \_\_\_\_\_ & ALBUQUERQUE, G.A.C. Efeitos do cobre e do zinco na produção de cana-de-açúcar em solos de tabuleiro em Alagoas Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, 98(6):41-50, 1981
- MARTENS D.C. Plant availability of extractable boron, cooper and zinc as related to selected soil properties. Soil Science. New Brunswick, 106(1):23-8, 1968.
- McLAREN R.C.; SWIFT, R.S.; QUIN, B.F. EDTA-Extractable copper, zinc and manganese in soils of the Carterbury Plains. New Zealand Journal of Agricultural Research, Wellington, 27(2): 207-17, 1984
- MESQUITA FILHO, M.V. & OLIVEIRA, S.A. Influência do boro na produção de matéria seca da batata. Horticultura Brasileira, Brasília, 2(2):9-11, 1984.
- MURAOKA, T.; NEPTUNE, A.M.L. & NASCIMENTO FILHO, V.F. Avaliação da disponibilidade de zinco e manganês do solo para o

- feijoeiro. I. ZINCO. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 7(3):167-5, 1983.
- OLSEN, S.R. Micronutrient Interactions. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1977 p.243-264.
- PARKER, D.R. & GARDNER, E.H. Factor affecting the mobility and plant availability of boron in some western Oregon soils. Soil Science Society of American Journal, Madison, 46(3):473-8, 1982
- PAULA, M. B., CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, F. D. & MESQUITA, H.A. Curva de resposta e avaliação de extratores para zinco disponível em solos hidromórficos e aluviais sob arroz inundado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 15:49-55, 1991.
- PAULINO, V T WERNER, J.C.; CARRIEL, J.M. & COLOZZA, M.T. Estudos de adubação com *Brachiaria humidicola* e *Setaria anceps* cv. Kasungula em dois solos de várzea do Estado de São Paulo. Zootecnia, Nova Odessa, 24(2):181-206, 1986.
- PONNAPERUMA, F N., CAYTON, M.T. & LANTIN, R.S. Dilute hydrochloric acid as an extractant for available zinc, copper and boron in rice soil. Plant and Soil, Netherlands, 61(2):297-310, 1981.
- RAIJ, B. van & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para micronutriente. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, Jaboticabal, 1988. Anais... Jaboticabal, 1988. p. 537-62. (versão preliminar).

- \_\_\_\_\_; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170 p.
- REISENAUER, H.M.; WALSH, L.M. & HOEFT, R.G. Testing soils for sulphur, boron, molybdenum and chlorine. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D., Soil testing and plant analysis, Madson, Soil Science Society of American, 1973. p.173-200.
- RESENDE, M. Pedologia. Viçosa, UFV, 1983. 100p.
- RIBEIRO, A.C. & TUCUNANGO SARABIA, W.A. Avaliação de extratores para zinco e boro disponível em latossolos do triângulo mineiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 8 (1): 85-89, 1984.
- RICHHEY, 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. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 21(3):215-225, mar. 1986.
- ROBERTSON, L.S.; KNEZEK, B.D. & BELO, J.O. A Survey of Michigan soils as related to possible boron toxicities. Communication in Soil Science and Plant Analysis, New York, 6(4): 349-73 1975.
- ROSTON, J.J. & KIMOTO, T. Efeito da adição de sulfato de cobre na produção de alface em solo turfoso. Horticultura Brasileira, Brasília, 5:81, 1987. (resumo).
- RUSCHEL, A.F.; MESQUITA ROCHA, A.C. de & PENTEADO A. de F. Efeito do boro e molibdênio aplicados a diferentes revestimentos da semente de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Pes-

- quisa Agropecuária Brasileira, 5:49-52, 1970.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ, 1974. 56p.
- SELVARAJAH, N.; PANANASASIVAM, V.; NANDASENA, K.A. Evaluation of extractants for Zn and Cu in paddy soils. Plant and soils, Dordrecht, 68(3):305-20, 1982.
- SHARMA, B.M. & DEB, D.L. Copper status of soils of the Union Territory of Delhi with special reference to crop sequence. Journal Indian Society Soil Science, New Delhi, 22:145-150, 1974.
- SILLANPAA, M. Micronutrients and the nutrients status of soils: a global study. Roma, FAO, 1982. 444p.
- SILVA, A.R. & ANDRADE, J.M.V. de. A esterelidade masculina do trigo (chochamento) e o seu controle pela aplicação de micronutrientes no solo. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Trabalhos com trigo, cevada e triticales no CPAC EM 1981. Planaltina, 1982. v.2. p.1-9.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, UFRGS, 1985. 188 p. (Boletim Técnico, 50).
- TIWARI, R.C. & KUMAR, B.M. A suitable extractant for assessing plant-available copper indifferent soils (peat, red and alluvial). Plant and soil, Dordrecht, 68(2):131-4, 1982.
- VANDERLEI, J.C. Boro em materiais de três solos do município de Lavras, Estado de Minas Gerais. Lavras, ESAL, 1984. 96p (Tese MSD).

- VIETS, F.G. & LINDSAY, W.L. Testing soils for zinc, copper, manganese, and iron. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D. Soil testing and plant analysis. Madison, Soil Science Society of America, 1973. p.153-72.
- VOMOCIL, J.A. Porosity. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, cap.21, p.299-314. (Agronomy, 9).
- WEAR, J.I. & EVANS, C.E. Relations of zinc uptake by corn and sorghum to soil zinc measured by three extractants. Soil Science of America Proceedings, Madison, 32(2):543-6, 1968.