

**NÍVEIS CRÍTICOS DE BORO EM RABANETE  
CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA DO SUL DE  
MINAS GERAIS**

**WATSON ROGÉRIO DE AZEVEDO**

1999

**Ficha Catalográfica preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Azevedo, Watson Rogério de

Níveis críticos de boro em rabanete cultivado em solos de várzea do Sul de Minas Gerais / Watson Rogério de Azevedo. -- Lavras : UFLA, 1999.  
53 p. : il.

Orientador: Valdemar Faquin.

Dissertação (Mestrado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Rabanete – *Raphanus sativus*. 2. Boro. 3. Nível crítico. 4. Várzea. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-635.15891

-581.13356

46820  
1995 MFN

WATSON ROGÉRIO DE AZEVEDO

**NÍVEIS CRÍTICOS DE BORO EM RABANETE CULTIVADO EM  
SOLOS DE VÁRZEA DO SUL DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

**Orientador:**

MINAS GERAIS - BRASIL  
1999



**Ficha Catalográfica preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Azevedo, Watson Rogério de

Níveis críticos de boro em rabanete cultivado em solos de várzea do Sul de Minas Gerais / Watson Rogério de Azevedo. -- Lavras : UFLA, 1999.

53 p. : il.

Orientador: Valdemar Faquin.

Dissertação (Mestrado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Rabanete – *Raphanus sativus*. 2. Boro. 3. Nível crítico. 4. Várzea. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-635.15891

-581.13356

**WATSON ROGÉRIO DE AZEVEDO**

**NÍVEIS CRÍTICOS DE BORO EM RABANETE CULTIVADO EM  
SOLOS DE VÁRZEA DO SUL DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

**APROVADA** em 26 de Março de 1999.

**Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto**

**UFLA**

**Dra. Miralda Bueno de Paula**

**EPAMIG**



**Dr. Valdemar Faquin**

**UFLA**

**(Orientador)**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL**

À memória do agricultor João Fernandes Biaze e do Dr. Paulo de Souza, pela concessão de um novo horizonte.

### **DEDICO**

Aos meus pais, Sylvio e Efigênia, pelo apoio e compreensão em todos os momentos e às minhas irmãs e sobrinhos, pelo carinho.

### **OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

**Ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA) pela oportunidade de realização do curso e à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e pela concessão da bolsa de estudos.**

**Ao professor Valdemar Faquin, pela amizade, orientação, apoio e ensinamentos transmitidos durante o curso.**

**Ao professor Antônio Eduardo Furtini Neto, pela amizade, co-orientação, sugestões e colaboração para a concretização deste trabalho.**

**A Dra. Miralda Bueno de Paula, pela amizade e sugestões apresentadas.**

**Ao Engenheiro Agrônomo João Batista Correia pela atenção dispensada nas análises laboratoriais.**

**Aos amigos Alexandre Nasciutti, Janice Guedes de Carvalho, Paulo Melo e Paulo Adriano pela solidariedade e apoio incondicional.**

**Aos colegas Luiz Arnaldo, Eduardo, Isabela, Adriana, Paula, Ana Rosa, Marcelo Villa, Marcelo Calegari, Júlio Bertoni, Eliane, Geraldo César, Marcos Kondo, Flávia, Reginaldo Barbosa e Alceu, pelo convívio e amizade.**

**A todo o corpo docente, discente e funcionários do Departamento de Ciência do Solo, enfim todos que, de alguma maneira, contribuíram para realização deste trabalho.**

# SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Caracterização e natureza dos solos de várzea.....	4
2.2 Boro no solo.....	7
2.2.1 Adsorção de B pelo solo.....	9
2.2.2 Fatores que afetam a disponibilidade de B.....	11
2.3 Boro na planta.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1 Unidades de solo, caracterização física, química e mineralógica.....	17
3.2 Adsorção de B pelo solo.....	20
3.3 Delineamento experimental e condução do experimento.....	21
3.4 Análises químicas e B nos solos e nas plantas.....	23
3.5 Análises estatísticas.....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1 Atributos dos solos.....	25
4.2 Adsorção de B pelos solos.....	26
4.3 Produção de matéria seca.....	32
4.4 Níveis críticos de B nos solos.....	36
4.5 Níveis críticos de B na planta.....	39
5 CONCLUSÕES.....	42
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
ANEXO.....	53



## RESUMO

AZEVEDO, Watson Rogério de. Níveis críticos de boro em rabanete cultivado em solos de várzea do sul de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 1999. 53p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia)\*

Este estudo avaliou a capacidade de adsorção de B, o potencial de produção e a resposta de plantas de rabanete (*Raphanus sativus* L., cv. Vermelho Redondo Precoce) à aplicação de doses de B em solos de várzea da região de Lavras (MG), e avaliou os níveis críticos inferiores (90% da produção máxima) e superiores (para redução de 10% da produção máxima) de B para os solos e a planta. Foram usadas amostras de solos Aluvial (A), Glei Pouco Húmico (GP), Glei Húmico (GH) e Orgânico artificialmente drenado (O), coletadas na camada de 0-20cm. As amostras dos solos foram peneiradas em malha de 5mm, receberam calagem com  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  p.a. e adubação básica com macro e micronutrientes e colocadas em vasos de três  $\text{dm}^3$ . Foram aplicadas seis doses de B (0; 0,25; 0,50; 1,50; 3,00 e 6,00 $\text{mg dm}^{-3}$ ) e os vasos foram incubados por 30 dias com o teor de água mantido a 60% do VTP. Após o período de incubação foi medido o teor de B nas amostras pelo método da “água quente” e cultivadas 4 plantas de rabanete por vaso durante 28 dias. As plantas foram então colhidas para se avaliar os teores de B na parte aérea e a massa seca de raiz. O experimento foi conduzido em esquema fatorial 4x6 inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os resultados mostraram que a capacidade de adsorção de B nos solos em ordem crescente foi: GH, GP, O, A, sendo a matéria orgânica e a superfície específica os atributos que correlacionaram diretamente com a adsorção. Os solos estudados mostraram respostas significativas do rabanete à aplicação de B, embora pequenas doses do micronutriente fossem suficientes para promover 90% da produção máxima da cultura. O potencial produtivo dos solos para o rabanete foi:  $\text{GH} > \text{GP} = \text{A} = \text{O}$ . Os

---

\* Comitê Orientador: Valdemar Faquin - UFLA (Orientador) e Antonio Eduardo Furtini Neto - UFLA

níveis críticos inferiores e superiores de B nos solos, extraído pela água quente, variaram de 0,46 a 0,86mg dm<sup>-3</sup> e de 2,11 a 3,03mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Os níveis críticos inferiores e superiores de B na parte aérea do rabanete variaram de 13,89 a 29,47mg kg<sup>-1</sup> e de 57,12 a 81,85mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

## ABSTRACT

**AZEVEDO, Watson Rogério de. Boron critical levels in radish plant in lowland soils from the south of Minas Gerais. Lavras: UFLA, 1999. 53p. (Dissertation - Master Program in Agronomy)\***

This study evaluated the boron adsorption capacity, the potential production and the response of radish plant (*Raphanus sativus* L.) to B doses in lowland soils of Lavras (MG), and evaluated the lower and upper critical levels for the plant and soils. Samples of Alluvial Soil (A), Low Humic Gray (HGP), Humic Gray (HGH) and artificially drained Organic Soil (O) were sieved to 5mm and added to 3dm<sup>3</sup> pots. The samples were limed with pure CaCO<sub>3</sub> and MgCO<sub>3</sub> and fertilized with macro and micronutrients. Six doses of B were added to the soil samples (0, 0.25, 0.50, 1.50, 3.0 and 6.0mg dm<sup>-3</sup>) and the samples were incubated during 30 days at 60% of the total pores volume water content. After the incubation, it was measured the amount of B of each sample, by the "hot water" method, and 4 radish plants were cultivated in each pot for 28 days. Then, the plants were harvested in order to measure the amount of B of shoot and dry mass of root. The experiment was carried out in a 4x6 completely randomized factorial design, with 4 replicates. The results showed boron adsorption capacity in increasing order: HGH, HGP, O and A. The adsorption was correlated directly with organic matter and specific surface area. The soils showed significant response of radish to B doses in all four soils. The potential production of soils for radish plants were HGH>HGP=A=O. The lower critical levels for soil varied from 0.46 (O) to 0.86mg dm<sup>-3</sup> (HGH), and the upper ones from 2.11 (HGH) to 3.03mg dm<sup>-3</sup> (HGP). The lower levels for shoot varied from 13.8 (A) to 29.47mg kg<sup>-1</sup> (HGH) and the upper ones from 57.12 (A) to 81.85mg kg<sup>-1</sup> (O).

---

\* Guidance Committee: Valdemar Faquin - UFLA (Major Professor) and Antonio Eduardo Furtini Neto.

# 1 INTRODUÇÃO

Em 1981, com a implantação do Programa Nacional de Aproveitamento Racional de Várzeas Irrigáveis – PROVARZEAS, foi estimada a incorporação de 1,5 milhões de hectares de várzeas em Minas Gerias no processo produtivo com 200 mil hectares situados no sul do Estado. Desde então, as várzeas mostraram-se como grande alternativa para a expansão da fronteira agrícola.

Os solos de várzeas são formados por diversos tipos de materiais oriundos dos cursos d'água em inundações periódicas e da erosão das encostas adjacentes ao rio. São caracterizados por uma grande variabilidade no arranjo de suas camadas e características químicas peculiares, bastante diferentes dos solos de terras altas. Permanecem inundados, em boa parte do ano, facilitando reações de oxidação-redução, acúmulo de matéria orgânica e desenvolvimento de microrganismos anaeróbios. Esses fatores em conjunto permitem um manejo racional do solo visando à proteção desse ambiente bastante frágil.

Essas áreas têm sido usadas, na maioria das vezes, para a cultura de arroz inundado. Mas, devidamente drenadas e manejadas, oferecem possibilidades de diversificação de culturas com até duas ou mais colheitas anuais, haja visto os cinturões verdes das grandes cidades produzindo diversos produtos olerícolas.

Dentre as várias culturas olerícolas instaladas nesses solos, o rabanete (*Raphanus sativus* L.) tem grande expressão, principalmente devido à boa disponibilidade de água. Pertencente à família *Brassicaceae*, o rabanete é muito exigente em fertilidade, requer solo solto e profundo com suprimento regular de água, já que flutuações drásticas de umidade podem provocar rachaduras na raiz. A cultura é bastante exigente em boro e sua deficiência aparece como

folhas quebradiças, raiz escamosa e áspera. Uma deficiência mais séria causa uma podridão da raiz denominada “coração negro”.

Como os estudos sobre o cultivo nesses solos em condições de drenagem, ainda são muito limitados, torna-se necessário fornecer subsídios para sua devida exploração. Trabalhos recentes envolvendo disponibilidade de nutrientes em solos de várzea do sul de Minas Gerais mostram baixa disponibilidade de N, P, K e B (Paula, 1995; Andrade, 1997; Mariano, 1998, Faquin et al., 1998).

Apesar de limitar a produção em diversos solos, as recomendações de fertilização para B, em grande parte do país, ainda seguem modelos empíricos que não levam em conta o teor disponível do micronutriente no solo e exigência da cultura implantada.

Alguns trabalhos acompanham as relações do B no sistema solo-planta determinando e avaliando localmente os níveis críticos nos solos, e ou avaliando o estado nutricional das plantas. Porém, a interpretação dos resultados fica restrita a resultados escassos, muitas vezes discrepantes, encontrados na literatura. Essa discrepância está ligada à variabilidade de comportamento do B em diversos solos mediados por reações de adsorção, método de extração do nutriente disponível às plantas e concentração de B na planta que é indicador final de vários fatores que influenciam o seu crescimento (Melsted et al., 1969).

Segundo Lopes e Carvalho (1988) a faixa crítica para B no solo está entre 0,4 a 0,6mg dm<sup>-3</sup>, extraídos em água quente. De acordo com Raij et al. (1996), os níveis críticos do micronutriente situam-se entre 0,2 a 0,6 mg dm<sup>-3</sup>, também extraídos por água quente. Esses últimos autores têm proposto recomendações para o Estado de São Paulo, prescrevendo a aplicação de 1,0kg ha<sup>-1</sup> para o rabanete quando os teores nos solos (extraído em água quente) forem inferiores a 0,2mg dm<sup>-3</sup>.

Para a planta de rabanete, os teores adequados de B em folhas totalmente desenvolvidas, encontram-se entre 25 a 125g kg<sup>-1</sup> (Mills e Jones Jr., 1996) e, entre de 25 a 175g kg<sup>-1</sup> conforme Raij et al. (1996).

Desta forma, devido a grande heterogeneidade dos solos e à resposta das plantas à fertilização com B, os dados gerados pela literatura a campo ou em casa de vegetação, não possibilitam o estabelecimento generalizado de resposta à adubação de B ou problemas nutricionais devido sua dependência ao tipo de solo, cultura implantada, clima, época de cultivo, entre outros.

Para os solos de várzea, somente o estudo do comportamento do boro, descrito em função dos seus atributos e da sua interação com a cultura implantada, indicará um aprimoramento do processo de recomendação do micronutriente.

Esse trabalho teve como objetivos avaliar a capacidade de adsorção de B, o potencial de produção e a resposta do rabanete à aplicação de B em solos de várzea e estimar os níveis críticos inferiores e superiores de B nos solos e nas plantas.

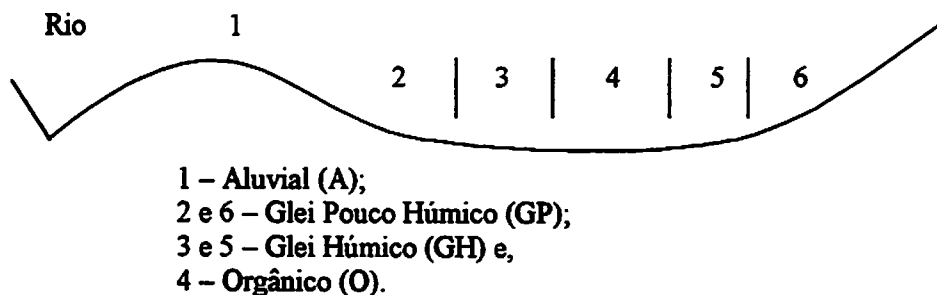
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Caracterização e natureza dos solos de várzea

Solos de várzea ou planície de inundação ocupam as partes baixas da paisagem junto às margens dos rios. Esses solos, mais ou menos planos, permanecem inundados em boa parte do ano devido à elevação do lençol freático garantido pela convergência tanto superficial quanto subsuperficial de água. Segundo Curi et al. (1988), podem ser minerais ou orgânicos e se desenvolveram a partir de sedimentos originários da deposição de materiais de diversas fontes trazidos pelos cursos d'água, e ou pelo efeito erosivo das chuvas nas encostas. Um arranjo variável das camadas desses solos podem apresentar, dentro de determinada classe, uma grande amplitude quanto às características físico-químicas.

A umidade excessiva apresentada pelos solos de várzeas, por um longo período, faz com que esses solos apresentem reações físicas, químicas e biológicas bastante diversas daquelas observadas para solos de terras altas, ou seja, apresentam condições favoráveis à oxirredução, baixa aeração, decomposição parcial da matéria orgânica do solo e desenvolvimento de organismos anaeróbios.

Nas várzeas predominam solos hidromórficos, halomórficos e aluviais. Em Minas Gerais os solos mais encontrados nas várzeas foram enquadrados segundo o sistema brasileiro de classificação de solos nas classes Aluvial (A), Glei Pouco Húmico (GP), Glei Húmico (GH) e Orgânico (O). Uma nova inclusão de classes no sistema brasileiro de classificação de solos resultou na necessidade de atualização de símbolos de unidades taxonômicas, listados na Figura 1(Santos et al., 1996).



**FIGURA 1.** Uma seqüência bastante comum de disposição de solos, comandada pelo rio, nas várzeas.

Os solos mais próximos ao rio, denominados aluviais, são provenientes do sedimento que o rio transporta e deposita nas suas margens, ou seja, a gênese desse solo é caracterizada pela água corrente. São solos minerais rudimentares e pouco evoluídos (Oliveira et al., 1992) e possuem características variáveis a pequenas distâncias (Curi et al., 1988). Apresentam diferenciação no horizonte A seguido de camadas estratificadas sem relação pedogenética entre si e uma grande distribuição errática de matéria orgânica (Soil Survey Staff, 1996). O relevo quase plano, aliado a fertilidade natural, confere uma utilização agrícola diversificada, desde que não haja risco de inundação periódica.

Os solos glei compreendem solos minerais de mal a muito mal drenados cujas características refletem as condições ambientais de intensa redução de ferro, o que confere cores neutras ou próximas de neutras da matriz do solo (gleização). Estão em condições de excesso de água estagnada virtualmente livre de oxigênio dissolvido. Ao contrário dos solos aluviais, a gênese dos solos glei é determinada por um ambiente de água parada. Esses solos apresentam características comuns no horizonte subsuperficial e características distintas nos horizontes superficiais (Oliveira et al., 1992). Os solos GP e GH são solos minerais que apresentam um horizonte A espesso e escuro sobre horizontes gleizados, não possuindo horizonte B devido ao pouco



tempo de formação do mesmo (Resende et al., 1997). O solo GH apresenta horizonte turfoso, A chernozêmico ou A húmico com 20cm ou mais de espessura, enquanto o solo GP apresenta A moderado (Oliveira et al., 1992; Resende et al., 1997). Ambos possuem textura variável e desuniforme ao longo do perfil e condutividade hidráulica muito baixa que determina o delineamento da rede de drenagem, pois a camada menos permeável comanda o processo de percolação da água. O solo GP, por possuir uma drenagem melhor que o GH, acumula menor quantidade de matéria orgânica. A fertilidade natural e a CTC são muito variáveis e esses solos podem apresentar-se álicos, distróficos e mais raramente eutróficos.

Os solos orgânicos, vulgarmente denominados de turfas, são desenvolvidos a partir da acumulação de resíduos vegetais em áreas alagadiças onde a decomposição da matéria orgânica é lenta. Caracterizam-se por possuírem alto teor de carbono orgânico ( $\%C \geq 8 + 0,067 \times \% \text{ de argila}$ ), ocupando mais de 50% dos primeiros 80 cm de profundidade, a contar desde a superfície (Oliveira et al., 1992; Resende et al., 1997). Segundo Curi et al. (1988), são os mais mal drenados da seqüência de solo e possuem uma elevada relação C/N devido a progressiva acumulação, em ambiente encharcado, de resíduos vegetais. Esses solos possuem vegetação graminóide e devido ao elevado teor de matéria orgânica, apresentam alta CTC, composição química, mineralógica e textura do substrato bastante variáveis. Quando drenados profundamente podem sofrer acentuada subsidência, redução na espessura do horizonte superficial nos três primeiros anos, devido a oxidação da matéria orgânica (Oliveira et al., 1992). Desta forma, o solo tem dificuldades em se reidratar limitando seu uso agrícola e diminuindo seu potencial produtivo.

## 2.2 Boro no solo

Segundo Emsley (1998), o B é um não metal com diversas formas, sendo a mais comum o B amorfo. Possui alto ponto de fusão (3.931K), o que torna difícil encontrá-lo em estado de alta pureza. Tem propriedades corrosivas como líquido, possui um raio iônico de 0,088nm e características covalentes. Apesar de sua configuração eletrônica,  $2s^2 2p^1$ , não ocorre perda de elétrons (Raij, 1991).

O B é largamente distribuído, sem grande uniformidade, na litosfera e hidrosfera. Sua fonte primária, na maioria dos solos, é a turmalina ou mesmo emanções voláteis dos vulcões (Chesworth, 1991). Em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares o elemento ocorre como borossilicatos, com concentração média entre 10 e 20mg B kg<sup>-1</sup>, resistentes ao intemperismo e não prontamente disponíveis às plantas (Nable et al., 1997). Usualmente, somente 10% do total de B contido no solo estão disponíveis às plantas que podem conter de 10-100mg kg<sup>-1</sup> em peso seco. O B no solo aparece na forma de boratos em ligações com oxigênio, menos freqüentemente como ácido bórico e muito raramente na forma de fluoreto de boro (Power e Woods, 1997). O ácido bórico é um ácido de Lewis muito fraco ( $K_1 = 6 \times 10^{-10}$ ;  $pK_1 = 9,1$ ) em solução aquosa a  $pH \approx 7$ . Com o aumento do pH da solução do solo ele se dissocia como na equação:



Comparado com outros nutrientes, a química do B nos solos é simples, pois não sofre reações de oxirredução ou volatilização, não reage com água, ácidos ou bases (Goldberg, 1997; Emsley, 1998). Sua presença nos solos é comumente dividido em três categorias: B total; B solúvel em ácido e B solúvel em água (Sah e Brown, 1997). Recentemente, o B tem sido considerado como existente em cinco categorias no solo: B prontamente solúvel ( $0,01 \text{ mol L}^{-1}$

CaCl<sub>2</sub>) representando menos que 2% do B total; B especificamente adsorvido (0,05mol L<sup>-1</sup> KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) também menor que 2% do B total; B em ligações com óxidos ( 0,2mol L<sup>-1</sup> oxalato de amônio) com aproximadamente 2 a 3% do B total; B em ligações orgânicas ( 0,02mol L<sup>-1</sup> HNO<sub>3</sub> + 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) representando 9% do B total e B residual ou ocluso (HNO<sub>3</sub> + HCl + HF) (Hu e Brown, 1997).

A disponibilidade de B às plantas em um solo específico é controlado pelos seus atributos físicos, químicos e mineralógicos. A variação desses atributos, no entanto, não garante a segura predição da disponibilidade devido as técnicas de extração específicas. Segundo Shorrocks (1997), o B total não é um indicador seguro de B disponível às plantas devido a extrema insolubilidade dos minerais contendo B. O B solúvel em ácido, às vezes, pode ser um melhor indicador, mas não é um índice seguro de B disponível às plantas, especialmente em solos calcários que neutralizam a acidez do extrator. Desta forma, diversos autores ainda consideram a água quente como melhor extrator para estimar a disponibilidade de B no solo.

Segundo Keren et al. (1985), a concentração de B na solução do solo é geralmente controlada pela reação de adsorção e as plantas respondem somente à concentração de B na solução do solo. Em baixas concentrações ( $\leq 0,02\text{mol L}^{-1}$ ), somente as espécies mononucleares, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> e H<sub>4</sub>BO<sub>4</sub><sup>-</sup>, estão presentes nos solos e na seiva das plantas. Em altas concentrações e com o aumento de pH, íons polinucleares como B<sub>2</sub>O(OH)<sub>6</sub><sup>2-</sup>, B<sub>3</sub>O<sub>3</sub>(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>, B<sub>4</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub><sup>2-</sup> (ânion bórax) e B<sub>5</sub>O<sub>6</sub>(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup> são formados (Power e Woods, 1997).

Dentre os micronutrientes, o B possui a faixa de teores mais estreita entre os níveis de deficiência e de toxidez que qualquer outro nutriente. No Brasil a deficiência de B é amplamente difundida em diversos solos pobres nesse micronutriente. A deficiência que ocorre em solos responsivos no Estado de São Paulo é conhecida localmente em vários Latossolos e Podzólicos (Brasil Sobrinho, 1965). Solos sob cerrado presentes em MG, GO, MS e MT também

são responsivos a fertilização com B (Lopes, 1984). Shorrocks (1997) afirma que a deficiência de B parece ocorrer, mais freqüentemente, em certos grupos de solos que em outros, principalmente naqueles em que ocorre iluviação de argila, variação do material de origem e em solos que possuem baixa CTC.

### **2.2.1 Adsorção de B pelo solo**

O B aplicado aos solos por meio de fertilizantes ou água de irrigação, pode ser adsorvido à fase sólida, estabelecendo um equilíbrio entre o elemento na fase sólida e na fase líquida (Gupta, 1979).

A quantidade de B que um solo pode adsorver depende de vários fatores, tais como: concentração da solução em equilíbrio, textura do solo, tempo de contato do solo com a solução, pH do sistema solo-solução, teor de matéria orgânica e composição mineralógica do solo, entre outros. A complexidade das reações de adsorção e dados conflitantes contribuem para que os mecanismos da adsorção não sejam entendidos totalmente.

O fenômeno de adsorção é definido pela físico-química como sendo a diferença da concentração do soluto, na camada superficial da solução, e a concentração no interior da solução total. Se a concentração do soluto na camada superficial for mais alta que no seu interior, temos um fenômeno ao qual chamamos de adsorção. Para a ciência do solo, a adsorção se refere à diferença entre a concentração iônica presente na dupla camada elétrica da superfície das partículas coloidais do solo e a solução adjacente a ela (Ji et al., 1997).

Dependendo da natureza química, a superfície dos colóides do solo pode ser classificada em dois tipos básicos: superfície com carga superficial variada e superfície com carga superficial constante. Essa natureza química é um dos principais fatores que afetam a adsorção de qualquer íon pelo solo, já

que entre os solos há grande diversidade genética e as cargas que os compõem variam muito.

A quantidade de um elemento adsorvido como função da concentração remanescente na solução de equilíbrio, freqüentemente, representam uma isoterma de adsorção (McBride,1994). Dentre os modelos mais utilizados estão as isotermas de Langmuir e Freundlich que, por seu caráter empírico, apresentam algumas limitações.

A equação de Langmuir (1), utilizada inicialmente para adsorção de gases por superfícies sólidas, supõe atividade igual dos íons em todos os sítios de superfície. Stumm (1992), no entanto, afirma que a capacidade máxima de adsorção de um íon, ajustada para isoterma de Langmuir, não constitui evidência que a adsorção desse íon seja um mecanismo real que computa a perda do mesmo na solução, já que, freqüentemente, a adsorção de um íon por uma superfície é seguida por interações adicionais entre outros íons dentro da camada de adsorção.

A determinação da equação de Langmuir, também obedece a condições de equilíbrio térmico para formar uma camada monomolecular de adsorção também denominada de adsorção máxima. A equação é descrita a seguir:

$$x / m = (k.C.b) / 1 + k.C \quad (1)$$

Em que:  $x / m$  representa a quantidade do elemento adsorvido por unidade de massa do adsorvente,  $C$  é a concentração do elemento na solução de equilíbrio,  $b$  é a quantidade máxima do elemento que pode ser adsorvida e o valor  $k$  se refere à energia de ligação entre o elemento adsorvido e a superfície adsorvente. Os valores  $k$  e  $b$  são encontrados após linearização da equação 1 em gráfico  $C/(x/m)$  em função de  $C$ .

A equação de Freundlich (2), desenvolvida sem base teórica, aplica-se muito bem para sólidos com propriedade de superfícies heterogêneas e geralmente para superfícies sólidas heterogêneas (Stumm, 1992):

$$x / m = k C^b \quad (2)$$

Em que: o valor C é o mesmo da equação 1, k e b são constantes empíricas determinadas na linearização da equação 2 plotando-se em um gráfico  $\log(x/m)$  em função de  $\log C$ .

A adsorção de B, pelos solos, tem um significado agrônômico considerável tanto na prevenção da toxidez quanto na correção da deficiência (Hartcher et al., 1967). Dessa forma, o entendimento do comportamento do boro, com relação aos mecanismos de interação com as partículas dos solos, pode levar à quantificação dos fatores que influenciam sua disponibilidade.

### 2.2.2 Fatores que afetam a disponibilidade de B

O pH da solução do solo é o fator que mais afeta a disponibilidade de boro no solo (Goldberg, 1997; Shorrocks, 1997). O ácido bórico predomina em solos com pH abaixo de 7 e tem baixa afinidade com minerais de argila. O aumento do pH da solução do solo resulta em uma concentração do íon borato que tem alta afinidade pelos minerais de argila, se tornando menos disponível às plantas. Esse fato é visível com a aplicação de calcário em solos ácidos ou naqueles com baixos teores de boro. Segundo Rhoades et al. (1970), a aplicação de hidróxido de magnésio pode remover apreciáveis quantidades de B da solução, devido a formação de metaboratos insolúveis de magnésio. Elrashidi e O'Connor (1982) mostraram que o conteúdo de B solúvel correlacionou-se negativamente com pH da solução do solo. Correlações negativas entre absorção de B pelas plantas e o pH do solo foram observadas por diversos pesquisadores, tais como Wear e Patterson (1962). Por outro lado, Cook e

Millar (1939) afirmaram que esta relação não é consistente, pois para valores de pH abaixo de 6,5 esta relação não mostra uma tendência definida.

Os solos de textura grosseira contêm, freqüentemente, menor quantidade de B disponível que solos de textura mais fina (Goldberg, 1997). Tisdale et al. (1993) afirmam que se uma mesma quantidade de B solúvel for encontrada em solos de textura grosseira e em solos de textura mais fina, as plantas terão mais facilidade de absorver maiores quantidades nos primeiros solos, pois a fração argila tem maior capacidade de reter B que a fração grosseira. Desta forma, a deficiência de B ocorre com mais freqüência em plantas crescendo em solos arenosos principalmente quando recebem calagem (Shorrocks, 1997).

Estudos realizados investigaram a adsorção de B por vários óxidos cristalinos e amorfos de Al e Fe (Sims e Bingham, 1968; De Bussetti et al., 1995). Segundo Goldberg et al. (1993), o mecanismo de adsorção de B em óxidos de Fe e Al pode se dar através da ligação com grupos hidroxilas reativos na superfície dos minerais do solo. Elrashidi e O'Connor (1982) demonstraram que os óxidos Al e Fe têm um papel importante no comportamento de adsorção de B nos solos e a porcentagem dos mesmos foi uma variável significativa em equações de regressão múltipla explicando a variação de B absorvido, B solúvel e B total dos solos. Su e Suarez (1995) demonstraram que com o aumento de pH, a adsorção de B nos óxidos de Fe e Al aumentou.

As camadas de minerais de argila são importantes superfícies de adsorção de B nos solos (Goldberg et al., 1996). Segundo Keren e Mezuman (1981), a ordem de adsorção de boro por grama nos minerais de argila segue a ordem: caulinita < montmorilonita < ilita.

A matéria orgânica afeta a disponibilidade de B e aumenta a capacidade de adsorção de B em solos minerais. O B total do solo e B solúvel em água quente foram correlacionados significativamente com o conteúdo de carbono

orgânico contido no solo (Miljkovic et al., 1966). Gu e Lowe (1990) demonstraram que solos orgânicos adsorvem mais B que solos minerais. Shorrocks (1997) afirma que apesar da matéria orgânica formar complexos com B, usualmente mais que os minerais constituintes dos solos, não há indicações de que solos orgânicos ou solos que possuem horizonte A chernozêmico possam ser considerados basicamente de natureza deficiente em B.

A umidade do solo também afeta a disponibilidade de B no solo devido a adsorção do nutriente pelas partículas do solo, no processo de secagem do mesmo (Dantas, 1991). O excesso de água lixiviando B para regiões além da zona radicular, principalmente em solos arenosos, é um dos fatores que afetam sua disponibilidade. Outras hipóteses ligadas a umidade do solo são levantadas para explicar o fato que vai desde a dificuldade de mineralização da matéria orgânica, diminuição do B disponível, fixação pelo solo, até a redução do sistema radicular e diminuição do fluxo de massa responsável pelo seu movimento no solo em direção às raízes das plantas.

A interação entre nutrientes pode também diminuir a disponibilidade de B. Alguns autores têm sugerido uma base fisiológica para interação entre Ca e B, baseada no fato de que ambos têm um papel primário na interface da membrana plasmática na parede celular. Porém resultados de diagnose baseados na relação Ca:B tem se provado inconclusivos (Gupta, 1979).

### **2.3 Boro na planta**

O crescimento da planta é determinado por fatores agronômicos, bióticos e ambientais que refletem no seu rendimento. Segundo Shorrocks (1997), o modelo de suprimento de B do solo para a planta é função da lixiviação, mineralização e adsorção.

O B é absorvido pelas plantas, em solos neutros ou levemente ácidos, como ácido bórico não dissociado através de processo passivo e não metabólico



(Raven, 1980). Essa forma de absorção foi contestada por alguns pesquisadores baseando-se na alta propensão que o ácido bórico tem em formar complexos na parede celular e no citoplasma, o que complica grandemente o estudo da absorção do B (Hu e Brown, 1997).

A formação de complexos do ácido bórico na planta se dá pela interação espontânea com grupos diol em posição Cis (Marschner, 1995). O complexo resultante é dependente do tipo de diol, ou seja, se o diol envolver grupos OH, formando coordenação tetraedral com B, um forte complexo será formado. Kobayashi et al. (1995) demonstraram, através da análise de um polissacarídeo complexado com B na parede celular da raiz de rabanete, que o B estava presente como um complexo 1,2 borato diol. Os autores justificaram a presença do complexo, através da habilidade do micronutriente em capturar elétrons dos compostos das membranas contendo sulfidrilas.

Espécies de plantas diferem na sua capacidade de absorver boro quando crescem em um mesmo solo. Essa diferença é distinta entre gramíneas e dicotiledôneas que podem conter entre 5-10mgB kg<sup>-1</sup> e 20-70mgB kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Segundo Marschner (1995) a pouca quantidade de material pectínico nas paredes celulares primárias das gramíneas determina essa diferença. Logo, a deficiência de B em gramíneas ocorre em menores proporções no campo.

Uma vez absorvido, o B sofre um transporte unidirecional no xilema através do fluxo de transpiração, na maioria das espécies, permanecendo na folha. Como não é redistribuído, os primeiros distúrbios aparecem nos tecidos de crescimento e órgãos mais novos das plantas. Essas plantas são classificadas como tendo mobilidade restrita de B (Brown e Shelp, 1997). Estudos recentes mostram que o B é móvel no floema de algumas espécies, independente do fluxo de transpiração (Brown e Hu, 1996). Nesse caso, o B está complexado por polióis, tais como sorbitol, dulcitol e manitol (açúcares simples de baixo peso

molecular). Esses polióis são formados nos tecidos fotossintetizadores e transportados pelo floema para drenos ativos como: meristemas vegetativos, meristemas reprodutivos, suprimindo a necessidade de nutrientes por áreas de crescimento ativo como, por exemplo, folhas jovens, frutos e sementes, esses últimos, órgãos que não perdem água rapidamente. Essa retranslocação foi verificada por Hu et al. (1997) através do isolamento e caracterização do complexo B-poliol do aipo (*Apium graveolens*) e do pêssogo (*Prunus persica*).

A essencialidade de B para plantas superiores foi demonstrada pela primeira vez em 1923 por Warrington. É o único nutriente que atende somente ao critério indireto, ou seja, na sua ausência a planta não completa o seu ciclo de vida e o elemento não pode ser substituído por nenhum outro. Além disso, a função primária do micronutriente nas plantas ainda não está bem elucidada (Marschner, 1995; Kobayashi et al., 1996; Power e Woods, 1997). Diversos autores, no entanto, têm sugerido que o B exerce diversos papéis na plantas para comprovar sua essencialidade: Berger (1949) sugeriu a importância do B na translocação de açúcares; Malavolta (1980) atribui ao boro funções de síntese da base nitrogenada uracila e, como consequência, a síntese de proteínas; germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico; controle das vias pentoses-fosfato, onde uma deficiência promove uma exaltação da via, gerando produtos fenólicos que são fitotóxicos em níveis elevados; Matoh et al. (1992) sugerem ainda sua importante funcionalidade no fechamento da parede celular; Gauch e Dugger, citados por Cakmak et al. (1995), propuseram que o transporte de açúcar através da membrana celular seja facilitado pelo B e Marschner (1995) sugere responsabilidade pela manutenção da integridade da membrana celular ao B.

Sob a deficiência de B, a planta mostra anormalidades estruturais, especialmente em parede celular. Parr e Loughman (1983) consideram que a deficiência de B causa danos na função da membrana como efeito primário e

severas injúrias fisiológicas. Os sintomas visuais de deficiência aparecem geralmente como: folhas pequenas com ou sem clorose irregular, formas bizarras ou deformadas, grosseiras e quebradiças ou com nervuras suberificadas; morte do meristema apical e até como rachaduras no caule (Malavolta, 1997). Nas famílias *Cruciferae* (*Brassica* ssp. e *Raphanus* spp.) e *Chenopodiaceae* (*Beta* spp.) podem ser observados coração negro em raízes armazenadas de rabanete e beterraba ou mesmo caule oco em couve-flor e brócolis (Shelp et al., 1992).

A toxidez de B é verificada principalmente em solos de ambientes áridos e semi-áridos ou mesmo naqueles solos ricos em boro disponível, seja por material de origem ou água de irrigação com elevados teores do micronutriente. Diferentes espécies de plantas possuem níveis de tolerância distintos, mas a fisiologia da tolerância ou de toxidez de B ainda não é bem entendida (Marschner, 1995).

Em espécies de plantas onde o B é imóvel no floema, a toxidez aparece como um acúmulo do micronutriente no ápice e na extremidade das folhas velhas com sintoma visível típico de queimadura, manchas cloróticas, e ou necróticas nos bordos das folhas (Marschner, 1995). Em espécies onde o B é móvel no floema (*Prunus*, *Malus*, *Pyrus*), os sintomas de toxicidade se mostram através de morte de brotos terminais ou mesmo uma secreção profusa na axila da folha, aparecimento de lesões corticais marrons ao longo de caule e pecíolos, desordens nos frutos (gomoses, necroses internas), necroses da casca devido à morte do tecido cambial e morte do broto terminal (Brown e Hu, 1996). Na cultura do aipo, onde o B é móvel, o sintoma de toxidez aparece como folhas jovens deformadas, talos amargos e disformes sem sintoma típico de queimadura da margem foliar.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Unidades de solo, caracterização física, química e mineralógica

Foram coletadas amostras da camada superficial (0-20cm) de quatro solos de várzea, sob vegetação natural, abrangendo quatro classes: Aluvial (A), Glei Pouco Húmico (GP), Glei Húmico (GH) e Orgânico artificialmente drenado (O).

As amostras foram destorroadas, secas ao ar e peneiradas em malha de 5mm. Sub amostras desses solos foram tamisados em peneira de 2mm de abertura (TFSA) para caracterização química, física e mineralógica (Tabela 1).

A caracterização química de pH em água, P, Ca, Mg, Al e K foi efetuada conforme Vettori (1969) com modificações propostas pela EMBRAPA (1997). O Ca, Mg e Al foram extraídos com KCl 1mol L<sup>-1</sup>; P e K foram extraídos pelo Mehlich I (HCl 0,05mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025mol L<sup>-1</sup>). A Acidez potencial (H + Al) e carbono orgânico segundo Raij et al. (1987). O Zn foi extraído com DTPA-TEA (ácido dietilenoetriaminopentacético – trietanolamina) e quantificado por espectrofotometria de absorção atômica. O B foi extraído em água quente (Berger e Truog, 1939) e quantificado pelo método da Azometina-H (Wolf, 1974).

As análises granulométricas foram obtidas através do Método da Pipeta como proposto por Day (1965), após oxidação da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio concentrado, empregando-se NaOH 1mol L<sup>-1</sup> como dispersante químico seguido de agitação rápida. A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico, com álcool etílico (EMBRAPA, 1997). A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, segundo Blake e Hartge (1965). A superfície específica foi

determinada pelo método do etileno-glicol-monoetil-éter (EMEG) segundo Heilman et al. (1965).

TABELA 1. Composição química física e mineralógica dos solos utilizados no experimento em estado natural – média de 3 repetições

Químicos														
Solo	pH	P	K	B	Zn	Ca	Mg	Al	H+Al	S	t	T	m	V
	H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>				mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					%			
A	5,1	5	86	0,26	2,5	29	17	2	58	48	50	106	4	44
GP	4,9	2	32	0,32	0,6	5	2	10	57	9	18	64	55	12
GH	4,6	8	78	0,25	1,4	8	2	13	17	12	26	177	54	7
O	4,9	6	102	0,26	1,6	15	9	7	88	28	35	116	21	24

Físicos								
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Matéria orgânica	Ds <sup>1</sup>	Dp <sup>1</sup>	Superfície específica
	g kg <sup>-1</sup>					g cm <sup>-3</sup>		m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>
A	0	172	451	335	42	0,76	2,77	137,4
GP	29	591	173	174	33	1,05	2,66	120,8
GH	7	174	296	280	243	0,40	1,81	334,6
O	0	116	549	298	37	0,64	2,15	180,7

Mineralógicos										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>d</sub> <sup>1</sup>	Fe <sub>o</sub> <sup>1</sup>	Ct <sup>1</sup>	Gb <sup>1</sup>	Ki
	g kg <sup>-1</sup>									
A	209,3	221,1	74,5	9,3	0,51	12,3	0,48	143,4	48,6	1,61
GP	84,2	112,2	13,0	6,2	0,10	1,8	0,59	64,9	19,0	1,28
GH	126,1	175,5	13,3	5,5	1,52	2,3	0,56	48,2	53,0	1,22
O	243,4	247,1	42,8	7,3	0,48	5,3	0,50	120,5	57,4	1,67

<sup>1</sup> Ds, Dp, Fe<sub>d</sub>, Fe<sub>o</sub>, Ct, Gb – densidade de solo, densidade de partículas, ferro ditionito, ferro oxalato, caulinita e gibbsita, respectivamente

Para caracterização mineralógica avaliaram-se os óxidos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$ ) por ataque sulfúrico, segundo Vettori (1969), com modificações propostas pela EMBRAPA (1997). A fração argila foi tratada com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) (Mehra e Jackson, 1960) e com oxalato ácido de amônio, na ausência de luz. Na fração argila desferrificada foram quantificados os teores de caulinita e gibbsita, através da análise termodiferencial (ATD). A composição dessa mesma fração foi determinada por difração de Raio X (Figura 2).

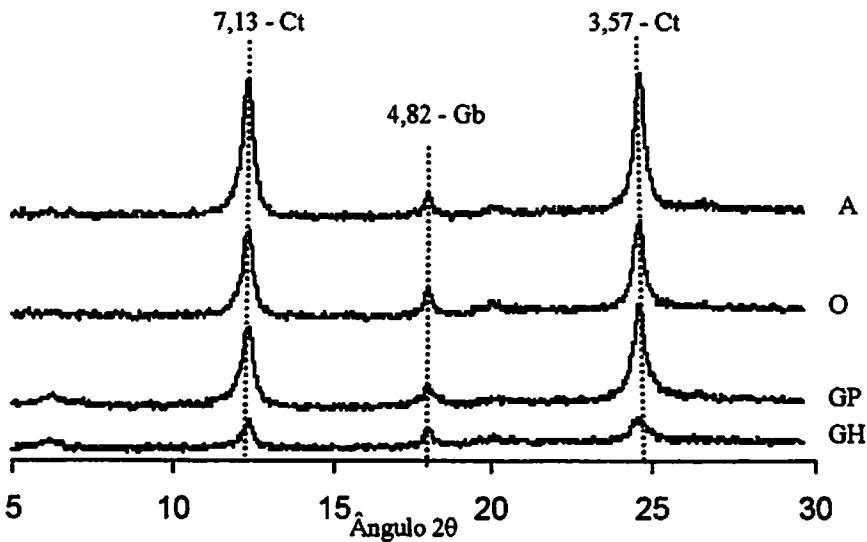


FIGURA 2. Difratoigramas de Raios X da fração argila desferrificada, com lâminas orientadas, no horizonte A de quatro solos de várzea. Ct: caulinita, Gb: gibbsita

### 3.2 Adsorção de B pelo solo

A adsorção de B pelo solo foi determinada para os quatro solos em amostras com e sem calagem. A calagem constou da aplicação de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  p.a., na relação equivalente Ca:Mg de 4:1, determinado por curva de incubação em ensaio prévio realizado em laboratório. As doses estabelecidas, visando a elevar a saturação por bases (V) a 70% foram de 4,4; 2,7; 7,8 e 3,5t  $\text{ha}^{-1}$ , para os solos A, GP, GH e O, respectivamente. As amostras com e sem calagem passaram por um período de incubação de 30 dias e alguns atributos dos solos antes e após a calagem se encontram na Tabela 2.

TABELA 2. Resultados analíticos das amostras antes e após a calagem

Solo	pH	Al	t	T	V	Matéria orgânica g $\text{kg}^{-1}$
	H <sub>2</sub> O	— mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> —			%	
		Sem calagem				
A	5,1	2	50	106	44	42
GP	4,9	10	18	164	12	33
GH	4,6	13	26	177	7	243
O	4,9	7	35	116	24	37
		Com calagem				
A	6,6	0	85	108	79	40
GP	6,0	1	86	163	63	30
GH	5,6	1	86	163	62	237
O	5,9	0	72	128	60	35

Para a quantificação de boro adsorvido pelos solos utilizou-se uma adaptação do método preconizado por Okazaki e Chao (1968). Foram utilizados

4,0g de solo (TFSE) acondicionados em tubos de polietileno (Nalgen), contendo 20mL de uma solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$  com diferentes quantidades de boro (0; 2; 4; 8; 12; 16; 24 e  $32\mu\text{g mL}^{-1}$ ), usando-se ácido bórico como fonte e duas repetições para cada concentração. Segundo Alleoni (1996), a utilização de concentrações mais baixas são mais adequadas para representar a quantidade de B contida nos solos brasileiros. Assim, considerando a massa de solo utilizada obtiveram-se: 0; 10; 20; 40; 60; 80; 120 e  $160\mu\text{g B g}^{-1}$  de solo.

Após a agitação por 24h, a suspensão foi centrifugada por quinze minutos a 2000rpm (Shumway e Jones, 1972) e uma alíquota de 2mL foi retirada do sobrenadante e colocada em balão volumétrico completando-se o volume para 50mL. O boro nessa solução foi quantificado pelo método da Azometina-H.

A quantidade de boro adsorvido em cada solo foi obtida pela diferença entre a concentração de B na solução inicial e o B remanescente na solução de equilíbrio, após a agitação e centrifugação. Foi descontado o boro presente na dose zero para efeito de cálculos da quantidade de B adsorvido.

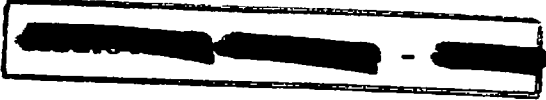
O B adsorvido, expresso em  $\mu\text{g B g}^{-1}$  de solo ( $x/m$ ), foi plotado em função do B remanescente nas soluções de equilíbrio (C) para obtenção do ajuste da curva de adsorção, nas suas formas lineares, de Langmuir [ $C/(x/m)$  em função de C] e Freundlich [ $\log(x/m)$  em função de  $\log C$ ].

### **3.3 Delineamento experimental e condução do experimento**

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras – DCS/UFLA – Lavras - MG.

O experimento foi arranjado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 6: 4 classes de solos de várzea ( A, GP, GH e O) e seis doses de boro (0,0; 0,25; 0,50; 1,50; 3,00 e  $6,00\text{mg dm}^{-3}$ ), com quatro





repetições. Cada unidade experimental foi constituída de um vaso plástico com capacidade de três  $\text{dm}^3$  em sistema fechado. Os vasos foram submetidos a um rodízio semanal em sua posição na casa de vegetação.

A correção da acidez dos solos e o fornecimento de Ca e Mg foram realizados conforme descrito no item 3.2. As parcelas experimentais foram incubadas, em sacos plásticos, por um período de 30 dias, com a umidade correspondente a 60% do Volume Total de Poros (VTP) (Freire et al., 1980).

Após a incubação com o corretivo, as amostras de solo foram secas. Aplicaram-se as doses de B dos tratamentos, usando  $\text{H}_3\text{BO}_3$  como fonte, e a seguinte adubação básica com macro e micronutrientes: 70mg de N, 300mg de P, 100mg de K, 44mg de S, 1,9mg de Cu e 5,0mg de Zn  $\text{dm}^{-3}$ , na forma de sais p.a.:  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ;  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Os micronutrientes foram aplicados ao solo via líquida, enquanto que os macronutrientes por via sólida, fazendo-se uma cuidadosa homogeneização. As amostras permaneceram novamente em incubação, por 30 dias, com umidade correspondente a 60% do VTP.

Semearam-se oito sementes de rabanete cv. Vermelho Redondo Precoce por vaso desbastando-se para 4 plântulas após a emergência que foram conduzidas até o final do experimento. A umidade do solo foi mantida em torno de 60% do VTP através de pesagens diárias com adição de água destilada. Duas adubações nitrogenadas de cobertura foram realizadas aos 14 e 21 dias após semeadura com 20mg  $\text{dm}^{-3}$  de N na forma de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  p.a..

A colheita das plantas foi realizada aos 28 dias após semeadura quando as raízes atingiram o ponto comercial, ou seja, globulares, de tamanho médio, cor vermelho escarlata e polpa branca. Após a colheita o material vegetal foi lavado em água deionizada e em água destilada. As plantas foram separadas em parte aérea e raiz, deixadas ao ar livre para perda do excesso de umidade,

acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação de ar forçada na temperatura de 65 a 70°C até peso constante. Determinou-se o peso seco do material vegetal, que após moído separadamente em moinho tipo Willey, provido de peneira de aço inoxidável com malha de 0,42mm, foi guardado em recipientes plásticos livre de B para análises químicas.

### **3.4 Análises químicas de B nos solos e nas plantas**

Para análise dos teores de B na planta, 0,2g de material vegetal sofreram digestão por via seca em forno de mufla a 550°C (incineração), quantificando-se o seu conteúdo através da técnica da Azometina-H 0,45% segundo Malavolta et al. (1997).

A extração do B disponível nos solos deu-se através da metodologia da água quente (Berger e Truog, 1939) e quantificado através da técnica da Azometina-H 0,9% (Wolf, 1974). O cálculo dos teores de B no solo foram realizados com base na equação de regressão obtida da leitura da absorbância de soluções padrões.

### **3.5 Análises estatísticas**

Todas as variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância e estudos de regressão. As equações de regressão foram ajustadas às médias de produção de matéria seca de raízes pelo rabanete (MSR) em função das doses de B aplicadas. Através dessas equações obtiveram-se as estimativas das doses de B para produção máxima, 90% da máxima e àquela acima da máxima suficiente para promover uma redução de 10% na MSR. Substituindo-se esses valores nas equações, que relacionam o B disponível pelo extrator água quente como variável dependente das doses de B aplicadas, obtiveram-se os níveis críticos inferior (90% da MSR máxima) e superior (redução de 10% da MSR máxima) de B disponível nos diferentes solos para a cultura do rabanete. Da

mesma forma, os níveis críticos inferior (para 90% da MSR máxima) e superior (para redução de 10% da MSR máxima) de B na parte aérea da planta foram estimados, pela substituição das doses de B correspondentes, nas equações de regressão que relacionam as doses de B aplicadas aos solos com seus teores na parte aérea do rabanete.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos dos solos

A análise química dos solos (Tabela 1) mostra que além de uma grande heterogeneidade, os solos de várzea possuem uma natureza predominantemente ácida e um caráter distrófico ( $V < 50\%$ ). Os solos GP e o GH também mostram um caráter álico ( $m > 50\%$ ). De acordo com Raij et al. (1996) os teores da maioria dos nutrientes presentes nos solos estudados são considerados insuficientes para um desenvolvimento normal da cultura. Os teores disponíveis de B nos solos naturais estão abaixo da faixa considerada crítica por Lopes e Carvalho (1988) entre 0,40 e 0,60mg dm<sup>-3</sup> (água quente) e classificados como classe de fertilidade média, entre 0,21 a 0,60mg dm<sup>-3</sup> (água quente) segundo Raij et al. (1996). Observa-se entre eles uma tendência de menor disponibilidade em relação ao maior conteúdo de matéria orgânica, o que indica que a mesma pode indisponibilizar B através da formação de complexos (Marschner, 1995).

Os resultados da análise granulométrica (Tabela 1) mostram uma grande variação textural entre os solos estudados indicando que um maior teor de matéria orgânica no GH implicou em um solo de menor densidade (Ds) e alta superfície específica.

A caracterização da mineralogia dos solos (Tabela 1) se reveste de grande importância, já que as características químicas e físicas dos solos mostram-se estreitamente relacionadas aos seus minerais constituintes. Desta forma, a compreensão e previsão do comportamento da adsorção de B pelos solos é, na maioria das vezes, explicada pelos seus atributos. O resultado da análise mineralógica mostra que solos A, GP e O possuem mineralogia mais caulinitica em contraste com o solo GH, o qual possui mineralogia mais

gibbsítica. Os valores de  $Fe_2O_3$  e  $Fe_d$  para os solos GP e GH mostram a baixa quantidade de ferro total e ferro livre no sistema, característica principal dos solos Glei que possuem um ambiente de intensa redução de ferro e cores neutras da matriz do solo (Oliveira et al., 1992). Os valores observados para o índice  $K_i$ , menores que 2,0, além de mostrar a presença de gibbsita, indicam que os materiais que formaram esses solos possuem alto estágio de meteorização (Moniz, 1972).

Os difratogramas de Raios X obtidos da fração argila (Figura 2), após o tratamento com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), revelaram a presença de caulinita e gibbsita nos horizontes A de todos os solos estudados, manifestado pela presença dos picos 7,14 e 3,57Å para a caulinita e 4,8Å para a gibbsita. O melhor reflexo para caulinita foi obtido para os solos A, GP e O, fato confirmado pelo ATD (Tabela 1).

#### 4.2 Adsorção de B pelos solos

As quantidades de B adsorvido aumentaram com as quantidades adicionadas e a porcentagem de B adsorvido em relação ao B adicionado foi maior na primeira dose para todos os solos (Tabela 3). No entanto, o aumento foi relativamente menor à medida que as soluções ficaram mais concentradas concordando com Correa et al. (1985) e Valladares et al. (1998), em solo GP.

A partir dos dados de B adsorvido ( $\mu g\ g^{-1}$ ) e B remanescente na solução de equilíbrio ( $\mu g\ mL^{-1}$ ), foram obtidas as equações lineares das isotermas de Langmuir e Freundlich (Tabela 4) com o objetivo da obtenção das constantes  $k$  e  $b$ .

**TABELA 3. Quantidades de B adsorvido e percentagem de adsorção em quatro solos de várzea sem e com calagem em função de B adicionado**

B adc $\mu\text{g g}^{-1}$	A		GP		GH		O	
	B ads	B ads	B ads	B ads	B ads	B ads	B ads	B ads
	$\mu\text{g g}^{-1}$	%	$\mu\text{g g}^{-1}$	%	$\mu\text{g g}^{-1}$	%	$\mu\text{g g}^{-1}$	%
<b>Sem calagem</b>								
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	7,45	74	4,12	41	4,76	48	4,58	46
20	8,80	44	9,10	45	12,38	62	9,20	46
40	12,81	32	13,06	33	16,67	41	10,60	26
60	11,83	20	16,16	27	18,84	31	12,50	21
80	13,02	16	17,55	22	24,14	30	15,86	20
120	16,33	14	19,40	16	23,73	20	15,56	14
160	19,89	12	21,30	13	27,55	17	17,89	11
<b>Com calagem</b>								
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	2,86	29	7,43	74	7,26	73	3,57	36
20	7,09	35	8,31	41	16,38	82	6,94	35
40	10,07	25	10,40	26	15,01	37	8,55	21
60	10,29	17	11,60	19	15,26	25	9,76	16
80	12,48	16	14,36	18	19,72	25	9,97	12
120	12,92	11	14,02	12	23,04	19	13,58	11
160	13,36	8	15,81	10	22,85	14	13,81	9

**B adc, B ads – Boro adicionado e Boro adsorvido (%) em relação ao Boro adicionado, respectivamente**

As constantes  $k$  e  $b$  das isotermas de Langmuir e Freundlich, obtidas pelos coeficientes das equações apresentadas na Tabela 4, encontram-se na Tabela 5.

TABELA 4. Equações de regressão para as isotermas de Langmuir e Freundlich obtidas a partir de oito doses de boro em  $\text{CaCl}_2$  0,01mol  $\text{L}^{-1}$

Solo	Equação			
	Langmuir	$R^2$	Freundlich	$R^2$
Sem calagem				
A	$Y = 0,121 + 0,055^{**} X$	0,93	$Y = 0,907 + 0,219^{**} X$	0,86
GP	$Y = 0,141 + 0,044^{**} X$	0,96	$Y = 0,893 + 0,309^{**} X$	0,94
GH	$Y = 0,159 + 0,032^{**} X$	0,94	$Y = 0,662 + 0,629^{**} X$	0,93
O	$Y = 0,168 + 0,054^{**} X$	0,96	$Y = 0,753 + 0,345^{**} X$	0,88
Com calagem				
A	$Y = 0,198 + 0,068^{**} X$	0,97	$Y = 0,767 + 0,263^{**} X$	0,83
GP	$Y = 0,112 + 0,063^{**} X$	0,98	$Y = 0,895 + 0,195^{**} X$	0,84
GH	$Y = 0,087 + 0,042^{**} X$	0,97	$Y = 0,899 + 0,336^{**} X$	0,96
O	$Y = 0,304 + 0,064^{**} X$	0,97	$Y = 0,713 + 0,286^{**} X$	0,94

\*\* significativo a 1%

A capacidade máxima de adsorção de B (CMAB) (constante  $b$  de Langmuir) para os quatro solos estudados, sem e com calagem, foi em ordem decrescente:  $\text{GH} > \text{GP} > \text{O} > \text{A}$  (Tabela 5). Nota-se, para todos os solos, uma diminuição da CMAB quando se aplicou o calcário. Essa diminuição, em termos relativos, foi de aproximadamente 19, 30, 23 e 26% para os solos A, GP, GH e O, respectivamente. Tal fato deve-se, possivelmente, à oxidação da

matéria orgânica do solo pela prática da calagem, liberando B para a solução do solo, causando uma diminuição na adsorção de B como verificado por Olson e Berger (1946) e Mezuman e Keren (1981).

TABELA 5. Constantes de Langmuir e Freundlich obtidas a partir dos resultados verificados pela linearização das respectivas isotermas.

Solo	Langmuir		Freundlich	
	k	b (CMAB)	k	
A	S Cal	0,4545	18,1818	8,0723
	C cal	0,3434	14,7059	5,8479
GP	S Cal	0,3121	22,7272	7,8163
	C cal	0,5625	15,8730	7,8523
GH	S Cal	0,2012	30,9597	4,5919
	C cal	0,4827	23,8095	7,9250
O	S Cal	0,3214	18,5185	5,6623
	C cal	0,2105	15,6248	5,1642

CMAB – capacidade máxima de adsorção de B

Apesar do valor do pH ter aumentado para todos os solos após a calagem (Tabela 2), o valor da adsorção não aumentou, como era esperado, pois os valores encontrados não chegaram na faixa alcalina. Nessa faixa há uma maior concentração de  $B(OH)_4^-$  e esse composto tem maior afinidade com os óxidos de Fe e Al (Goldberg e Glaubig, 1985) e matéria orgânica (Yermiyahu et al., 1995). De qualquer forma, a adsorção de B pelos óxidos e mesmo pela matéria orgânica são também influenciados pelo pH, sendo essa adsorção efetivamente relevante a pH na faixa alcalina (Evans, 1987).



Os valores estimados pela CMAB (Tabela 5) foram maiores que os observados ao aplicar a maior dose de B para todos os solos, à exceção do solo A sem calagem (Tabela 3). Os valores da CMAB super ou subestimados pelo modelo de Langmuir foram encontrados em diversos trabalhos com diferentes solos. Mas, segundo Cunha (1989) torna-se difícil a comparação entre os resultados obtidos, pois deve-se considerar o aspecto qualitativo dessa estimativa somente quando se comparam solos de uma mesma região que não se difere em relação à sua mineralogia.

A adsorção de B pelo solo é grandemente afetada pelos seus atributos (Keren et al., 1985). Essa interação solo-boro pode ser verificada quando se fazem correlações entre o B adsorvido e seus atributos para predizer seu comportamento. Os coeficientes de correlação simples entre alguns atributos dos solos e as constantes de Langmuir e Freundlich (Tabela 6), mostram um maior número de correlações significativas para a CMAB.

Os valores estimados da CMAB não se correlacionaram significativamente com o pH dos solos. Tal fato deve-se, provavelmente, aos valores atingidos de pH mesmo com a calagem (Tabela 2), abaixo da faixa alcalina. Na faixa ácida há uma predominância de  $H_3BO_3$  que não é afetado pela reação de adsorção (Gu e Lowe, 1990). Entretanto, a adsorção pode ocorrer sob condições ácidas, como mostradas neste trabalho, e pode ser atribuída a uma adsorção molecular do ácido (Alleoni, 1996).

A correlação positiva altamente significativa da matéria orgânica do solo com a CMAB mostra que a matéria orgânica é um dos sítios mais ativos de adsorção de B (Parks e White, 1952). Nesse trabalho, a aplicação de calcário fez com que parte da matéria orgânica se oxidasse e uma menor CMAB foi também observada. Tal fato pode ser possível graças a ocupação dos sítios de adsorção da matéria orgânica por  $Ca^{+2}$  onde havia  $H^+$ . Segundo Gu e Lowe (1990) o cátion  $H^+$  é mais eficiente em adsorver B em pH menores que 6,5.

Com relação à superfície específica, a correlação positiva e significativa mostra que quanto maior a superfície específica do solo, maior a afinidade desse solo pelo B. Para os solos estudados a superfície específica é bastante afetada pelo teor de matéria orgânica e sua fração mineralógica com composição oxidica (Tabela 1).

**TABELA 6. Coeficientes de correlação linear simples entre as constantes de Langmuir e Freundlich com alguns atributos dos solos**

Atributos	Langmuir		Freundlich
	k	b (CMAB)	k
pH (água)	0,31 ns	-0,42 ns	0,06 ns
Areia fina	0,40 ns	-0,03 ns	0,56 ns
Silte	-0,39 ns	-0,41 ns	-0,52 ns
Argila	-0,27 ns	-0,14 ns	-0,41 ns
Matéria orgânica	-0,9 ns	0,82**	-0,16 ns
Superf. específica	-0,22 ns	0,76*	-0,31 ns
Fed	0,03 ns	-0,52 ns	-0,03 ns
Feo	0,24 ns	0,47 ns	0,35 ns
Caulinita	-0,11 ns	-0,71*	-0,16 ns
Gibbsita	-0,44 ns	0,09 ns	-0,59*
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,40 ns	-0,31 ns	-0,53 ns
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,04 ns	-0,49 ns	-0,11 ns
Al	-0,29 ns	0,65 *	0,12 ns

**\*\***, \* e ns - significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

A correlação entre a CMAB e o teor de caulinita nos solos pode ser explicada através de adsorção específica. Segundo Goldberg et al. (1993) a adsorção de B pela caulinita se dá pela formação de um complexo de esfera interna.

Uma correlação positiva entre o teor de alumínio e a CMAB mostra que o composto  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , formado pelo elemento após aplicação da calagem, pode, provavelmente, ser responsável pela quantidade de B adsorvido (Hatcher et al., 1967).

#### 4.3 Produção de matéria seca

A produção de matéria seca de raiz (MSR) do rabanete foi influenciada pelas doses de B e mostrou diferenças significativas ( $p < 0,01$ ) entre os solos, tratamentos e interação solo x tratamento (Tabela 1A).

A produção de MSR foi inferior para todos os solos na ausência da aplicação de boro confirmando a baixa capacidade destes solos em suprir o micronutriente no seu estado natural. A Figura 3 mostra que o rabanete respondeu significativamente à aplicação de boro com elevados incrementos na produção da MSR nas doses mais baixas do micronutriente, levando a um ajuste raiz quadrada entre as variáveis para todos os solos. O decréscimo observado na produção de MSR nas doses mais altas, indica um possível efeito tóxico do micronutriente. Embora as doses zero e  $6\text{mg dm}^{-3}$  tenham proporcionado as menores produções de MSR, nenhum sintoma visual típico de deficiência ou toxidez, respectivamente, foi observado, com exceção do solo GH, na dose zero, onde a parte aérea e a raiz das plantas apresentaram um desenvolvimento bastante reduzido. Galvão et al. (1984) avaliando em casa de vegetação, efeito de calcário, S, Cu, Zn, B e Mo na produção da matéria seca da soja em dez solos de várzeas da região dos cerrados afirmaram que o B foi o

que apresentou maior resposta na produção de matéria seca quando comparado aos outros elementos estudados. Galrão (1990), estudando o efeito da aplicação a lanço de micronutrientes e calcário no rendimento de três cultivos de soja em um solo GH franco-argiloso, observou que a aplicação de B aumentou a produção nos três cultivos. Paula et al. (1990), avaliando a fertilidade de um solo de várzea (GP) para a cultura do arroz, concluíram que a omissão de B não causou redução da produção de matéria seca de raiz (MSR) e matéria seca da parte aérea (MSPA), justificando que o B disponível pela mineralização da matéria orgânica foi suficiente para suprir as necessidades da planta.

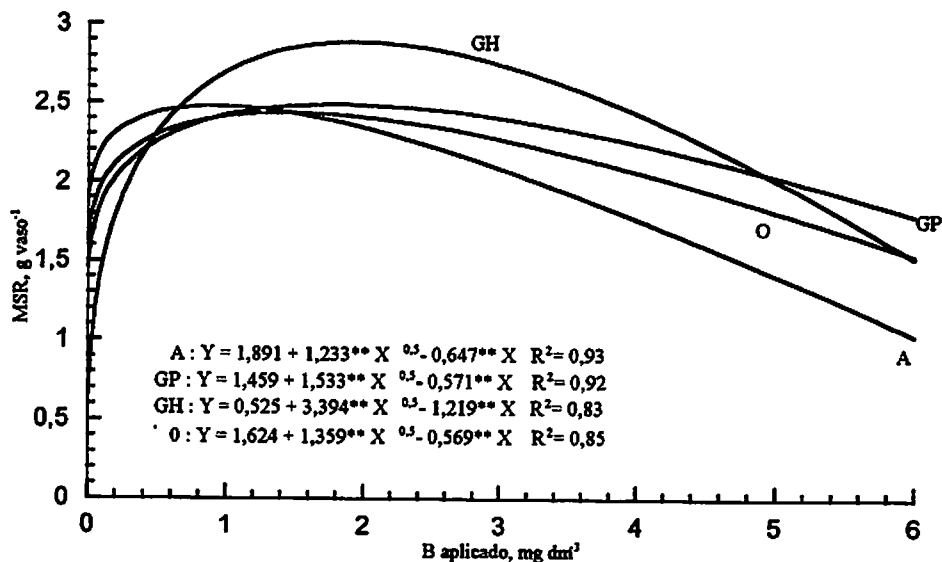


FIGURA 3. Produção de matéria seca de raiz (MSR) pelo rabanete em quatro solos de várzea em função da doses de boro aplicadas (\*\* - significativo a 1%).

Andrade (1997), avaliando a eficiência de macro e micronutrientes no crescimento e produção do feijoeiro, cultivado em solos de várzea do sul de

Minas Gerais, concluiu que, em todos os solos estudados, a maior limitação sobre a produção de grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem, foi observada no tratamento em que o B foi omitido da adubação. Mariano (1998), comparando quatro solos de várzea quanto ao potencial para produção de grãos de feijão, em casa de vegetação, estabeleceu a seguinte ordem decrescente, relativa à resposta das plantas a doses de B aplicadas: GH>A=O>GP.

Além da obtenção da produção máxima da MSR, as funções obtidas na Figura 3 também foram utilizadas para estimar as doses de B que corresponderam a 90% da produção máxima (zona de deficiência) de MSR e redução de 10% da máxima (zona toxidez) (Tabela 7). No índice de 90% da produção máxima, estima-se representar a máxima eficiência econômica (Alvarez V. et al., 1988)

**TABELA 7.** Produção estimada de matéria seca de raízes pelo rabanete (MSR) correspondente à produção máxima e 90% da máxima e os teores de B estimadas para promover essas produções e redução de 10% da máxima

Solo	Prod. MSR, g vaso <sup>-1</sup>		Doses de B, mg dm <sup>-3</sup>		
	90%	Máxima	90%	Máxima	- 10%
A	2,23	2,48	0,11	0,91	2,46
GP	2,24	2,49	0,47	1,80	4,00
GH	2,60	2,89	0,82	1,94	3,53
O	2,19	2,44	0,29	1,43	3,43

A máxima produção de raízes (MSR) foi, para cada solo, conseguida com doses bastante diferentes que variaram entre 0,91 a 1,94mg dm<sup>-3</sup> de B

(Tabela 7). Para atingir 90% da produção máxima de MSR, as doses de B foram bastante variadas, chegando o solo GH a exigir uma dose 7 vezes maior que o solo A (Tabela 7). A dose para redução de 10% da produção máxima de MSR (zona de toxidez) foi maior no solo GP, se mostrando 1,6 vezes maior que o solo A. Dessa forma, o solo A exigiu menores aplicações de B para atingir tanto a zona de deficiência quanto a zona de toxidez devido à maior disponibilidade de B nesse solo. Essa disponibilidade pode ser atribuída ao valor da superfície específica que chega a ser 2,4 vezes menor no solo A quando comparada ao solo GH e ao teor de matéria orgânica que contribuiu para os diferentes valores da CMAB estimada para esses solos (Tabela 5 e 6).

Os dados da Tabela 7 e Figura 3 mostram que, apesar da mesma tendência de resposta entre os solos à aplicação de doses de B, a produção de MSR pelo rabanete foi diferente entre eles. O solo GH proporcionou maiores quantidades de MSR seguida pelos solos GP, A e O, que apresentaram valores semelhantes. O maior teor de matéria orgânica apresentado pelo solo GH, promovendo uma menor densidade do solo, oferece também menor resistência ao crescimento das raízes do rabanete. Esses fatores em conjunto, oferecendo melhores condições físicas, provavelmente, contribuíram para seu melhor potencial produtivo. Mariano (1998), estudando a resposta do feijoeiro ao B em solos de várzea, também observou para o solo GH uma maior produção de matéria seca de grãos. O autor atribuiu esse resultado ao teor de matéria orgânica que propiciou melhores condições para o desenvolvimento de raízes e estabeleceu uma ordem decrescente de produção  $GH > A = O > GP$ , ligeiramente diferente da encontrada neste trabalho.

Durante o cultivo, sempre que necessário, realizou-se em todos os solos o processo de amontoa para que as raízes não ficassem expostas. Os solos A e O, devido ao seu alto teor de silte, apresentavam-se com rachaduras e finas

crostas exigindo um manejo diferenciado, principalmente, com relação à infiltração de água.

Os valores estimados das doses para 90% da produção máxima (zona de deficiência), produção máxima e redução de 10% da produção máxima (zona de toxidez), fazem parte de critérios que permitem uma recomendação de adubação mais segura do nutriente. Segundo Bataglia (1991), a definição local desses três valores estabelece a máxima eficiência econômica e maior relação custo/benefício da adubação sem chegar à região de consumo de luxo (valores entre 90% e -10% da produção máxima). Os valores médios obtidos representam bem a variação das doses estimadas para cada solo, indicando que um manejo de suprimento de B diferenciado deve ser específico para cada um deles.

#### **4.4 Níveis críticos de B nos solos**

A Tabela 8 mostra que os teores de B disponível (água quente) nos solos foram crescentes com as doses aplicadas do micronutriente. Observa-se que o solo A, dentro de cada dose aplicada, à exceção da dose mais elevada, mostra-se com valores de B disponível mais altos que os demais, provavelmente pela sua menor CMAB (Tabela 5).

Na Tabela 9 são apresentadas as equações que relacionam o boro disponível para cada solo (água quente) e as doses aplicadas do micronutriente. Nota-se uma relação linear crescente da ordem de 0,62; 0,68; 0,46 e 0,60mg dm<sup>-3</sup> de B no solo, para os solos A, GP, GH e O, respectivamente. A cada 1mg dm<sup>-3</sup> de B aplicado, o extrator mostra capacidade distinta de recuperação do nutriente no solo. No solo GH o extrator mostrou uma menor capacidade de recuperação do B aplicado. A maior ou menor recuperação do micronutriente é devido, principalmente, à interação solo-boro que determinará uma parte do B que ficará na solução e outra que será fixada pelas partículas do solo (Gupta et

al., 1985). Nesse caso a menor recuperação de B do solo GH pode ser melhor explicada pela sua maior superfície específica e teor de matéria orgânica (Tabela 1) que promoveram uma maior adsorção do micronutriente nesse solo (Tabelas 3 e 5).

**TABELA 8.** Teores disponíveis (água quente) de B nos solos, após aplicação dos tratamentos e incubação, antes da semeadura do rabanete

Solo	Doses de B					
	0	0,25	0,50	1,50	3,00	6,00
	-----mg dm <sup>-3</sup> -----					
A	0,56	0,85	0,97	1,40	2,72	4,32
GP	0,37	0,44	0,51	1,41	2,39	4,36
GH	0,34	0,61	0,85	1,15	1,85	3,24
O	0,28	0,49	0,71	1,16	1,82	4,04

**TABELA 9.** Equações de regressão para os teores de B disponíveis ( $Y = \text{mg dm}^{-3}$ ) como variável dependente das doses de B aplicadas ( $X = \text{mg dm}^{-3}$ ) e os níveis críticos de B (água quente) estimados nos solos de várzea para o rabanete, correspondentes a 90% da produção máxima (inferior) e redução de 10% da máxima (superior)

Solo	Equação	R <sup>2</sup>	Níveis críticos, mg dm <sup>-3</sup>	
			inferior	superior
A	$Y = 0,628 + 0,623^{**}X$	0,99	0,69	2,16
GP	$Y = 0,299 + 0,682^{**}X$	0,99	0,62	3,03
GH	$Y = 0,480 + 0,461^{**}X$	0,99	0,86	2,11
O	$Y = 0,285 + 0,598^{**}X$	0,99	0,46	2,34

\*\* significativo a 1%



Paula (1995) também verificou aumento na concentração de B no solo mediante sua aplicação encontrando amplitudes de 0,30 a 0,53mg dm<sup>-3</sup> (água quente) em solos aluviais e hidromórficos sob arroz inundado. Mariano (1998) verificou faixa de recuperação de B aplicado entre 0,53 a 0,61mg dm<sup>-3</sup> (água quente) em quatro solos de várzea, das mesmas classes dos estudados no presente trabalho.

Os níveis críticos inferiores (deficiência) e superiores (toxidez) de B nos solos foram obtidos substituindo-se nas equações da Tabela 9, as doses de B que corresponderam a 90% da produção máxima e àquelas que promoveram uma redução de 10% da produção máxima de MSR (Tabela 7).

O nível crítico inferior de B estimado para o solo O, com baixo teor de matéria orgânica e composição textural mais grosseira (Tabela 1), ficou próximo do nível considerado como baixo estabelecido por Lopes e Carvalho (1984), o que não era esperado, devido o menor poder de reposição desse nutriente pela fase sólida. Já para o solo GH esperaria-se um nível crítico inferior mais baixo, devido ao seu alto teor de matéria orgânica (Tabela 1) que, provavelmente, supriria a solução do solo garantindo um suprimento adequado à planta.

O estabelecimento de níveis tóxicos de nutrientes nos solos e plantas é pouco comum no Brasil. Nesse trabalho foram estimados em uma faixa entre 2,11 a 3,03mg dm<sup>-3</sup> (Tabela 9). Apesar do teor disponível nos solos na maior dose (Tabela 8) ter ultrapassado os níveis críticos superiores (Tabela 9), não foi visualizado nenhum sintoma de toxidez, mas apenas uma diminuição da produção de MSR. Por outro lado, o estabelecimento de níveis tóxicos através da análise de solo não prediz com exatidão a relação entre a quantidade disponível de B e o crescimento de plantas, mesmo em solos que contenham altos teores do micronutriente (Nable et al., 1997). O mesmo autor, no entanto,

considera que valores maiores que 5 a 8mg dm<sup>-3</sup> de B disponível no solo (água quente) requer cuidados especiais para a implantação de qualquer cultura.

#### 4.5 Níveis críticos de B na planta

As concentrações de B na parte aérea do rabanete na colheita, aumentaram linearmente com as doses aplicadas (Tabela 10). Observa-se valores distintos no teor foliar, em cada solo, dados pelos coeficientes lineares das equações, na dose zero, mostrando uma capacidade diferenciada de cada solo em suprir B em seu estado natural. Nessa condição, os solos A e O foram os que proporcionaram menores teores foliares, concordando com Paula (1995) em solos de várzea sob arroz inundado. No entanto, esses mesmos solos (A e O) apresentaram maiores coeficientes angulares, mostrando uma maior absorção de B pelas plantas para cada 1mg B dm<sup>-3</sup> aplicado.

TABELA 10. Equações de regressão ajustadas para os teores foliares de B (Y= mg kg<sup>-1</sup>) na época da colheita, como variável dependente das doses de B aplicadas (X= mg dm<sup>-3</sup>) e níveis críticos inferior (para 90% da MSR máxima) e superior (para redução de 10% da MSR máxima)

Solo	Equação	R <sup>2</sup>	Níveis críticos, mg kg <sup>-1</sup>	
			inferior	superior
A	Y = 11,8696 + 18,3937** X	0,98	13,89	57,12
GP	Y = 21,7380 + 12,9108** X	0,97	27,81	73,38
GH	Y = 19,1417 + 12,5998** X	0,97	29,47	63,62
O	Y = 14,9015 + 19,5194** X	0,99	20,56	81,85

\*\* significativo a 1%

Substituindo-se nas equações da Tabela 10, para cada solo, as doses de B correspondentes a 90% da MSR máxima e àquelas que promoveram uma redução de 10% da MSR (Tabela 7), estimaram-se os níveis críticos de B inferiores e superiores da parte aérea do rabanete.

A variação nos níveis críticos para as plantas, estabelecida em cada solo, demonstra que seus atributos químicos, físicos e mineralógicos influenciam a disponibilidade de B para as plantas, confirmando observações de Ryans et al. (1977) de que a planta responde principalmente à concentração de B na solução do solo.

O requerimento de B varia com a espécie da planta (Marschner, 1995; Mills e Jones Jr, 1996). Nas espécies monocotiledôneas a faixa crítica de deficiência situa-se entre 1 a 6mg kg<sup>-1</sup> (gramíneas entre 5-10mg kg<sup>-1</sup>), nas dicotiledôneas entre 20 a 70mg kg<sup>-1</sup> ou mesmo podendo chegar entre 80 a 100mg kg<sup>-1</sup> em algumas culturas como beterraba, couve-flor, girassol e até algumas leguminosas. Essa diferença pode ser observada quando se comparam os resultados obtidos por Paula (1995), na cultura de arroz, cujos níveis críticos ficaram entre 17 e 35mg kg<sup>-1</sup>, com aqueles obtidos para a cultura do feijoeiro em que os valores ficaram entre 44,2 e 68,1mg kg<sup>-1</sup> (Mariano, 1998).

Segundo Marschner (1995), as dicotiledôneas apresentam maior exigência de B devido a maior proporção de compostos com configuração cis-diol na composição da parede celular, como a lignina e celulose, para os quais o H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> apresenta grande afinidade de complexação.

Apesar de ser uma dicotiledônea, o rabanete apresentou níveis críticos inferiores entre 13,89 a 29,47mg kg<sup>-1</sup>, abaixo portanto da faixa preconizada por Marschner (1995) para essa espécie. Mills e Jones Jr (1996) citam como adequado para o rabanete, teores de B entre 25 a 125mg kg<sup>-1</sup>, nas folhas colhidas no seu maior desenvolvimento; para Rajj et al. (1996) esta faixa está

entre 25 a 175mg kg<sup>-1</sup>. Ressalta-se que nenhum desses autores mencionaram a época de cultivo, o clima, a cultivar ou mesmo o tipo de solo cultivado.

Dessa forma, a comparação dos dados de níveis críticos encontrados neste trabalho, com alguns apresentados na literatura, fica dificultada, já que a maioria deles utiliza somente as folhas para análise e não a matéria seca da parte aérea (Buzetti et al., 1990). Além disso, a grande variação entre culturas específicas, partes das plantas e épocas de amostragem podem ser responsáveis por essa diferenciação (Bataglia, 1991). Faquin et al. (1995) complementam que essa diferença pode estar ligada à época de cultivo, método utilizado, interação com outros nutrientes aplicados, idade da planta amostrada bem como as condições de cultivo, se a campo ou controlada.

A diferenciação das plantas no requerimento de B também conduz a dados de tolerância variáveis entre as espécies. Segundo Nable et al. (1997), essa tolerância pode ser conferida por variação genética inter ou intra-espécies, por mecanismos de exclusão ou mesmo por mecanismos de tolerância interna. Tal afirmativa pode ser confirmada pelos níveis críticos superiores obtidos nesse trabalho para o rabanete, na faixa de 57,12 a 81,85mg kg<sup>-1</sup>, para o feijoeiro, entre 143,6 a 199,1mg kg<sup>-1</sup> (Mariano, 1998); para o eucalipto, entre 64 a 120mg kg<sup>-1</sup> (Ferreira, 1992) e em arroz onde a aplicação de 2,0mg B dm<sup>-3</sup> proporcionou um teor de 51mg kg<sup>-1</sup> sem a observação de sintoma de toxidez, mas redução da produção de matéria seca (Paula, 1995).

Os dados obtidos neste trabalho, juntamente com os encontrados em diversos trabalhos na literatura (Cartwright et al., 1983; Ruy, 1986; Buzetti et al., 1990; Mariano, 1988, entre outros), permitem inferir que não existe um nível crítico de B único para todos os solos e culturas devido à grande diversidade dos atributos químicos, físicos e mineralógicos de cada solo estudado, das exigências e tolerância de cada espécie e da grande diversidade das condições climáticas do cultivo. Essa variação mostra, também, que sua

utilização deve ser criteriosa valorizando-se dados mais específicos e localizados.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que:

A capacidade de adsorção de B nos solos, em ordem decrescente, foi Glei Húmico, Glei Pouco Húmico, Orgânico e Aluvial, sendo a matéria orgânica e a superfície específica os atributos dos solos que se correlacionaram diretamente com a adsorção.

Os solos estudados mostraram respostas significativas do rabanete à aplicação de B, embora pequenas doses do micronutriente fossem suficientes para promover 90% da produção máxima da cultura.

O potencial produtivo dos solos para o rabanete foi Glei Húmico > Glei Pouco Húmico = Aluvial = Orgânico.

Os níveis críticos inferior e superior de B nos solos extraído pela água quente variaram de 0,46 a 0,86mg dm<sup>-3</sup> e de 2,11 a 3,03mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente.

Os níveis críticos inferior e superior de B na parte aérea do rabanete variaram de 13,89 a 29,47mg kg<sup>-1</sup> e de 57,12 a 81,85mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEONI, L. R. F. Adsorção de boro em Podzólico e Latossolos paulistas. Piracicaba: ESALQ/USP. 1996. 127p. (Tese - Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas)
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F. de; BRAGA, J. M.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; RIBEIRO, A. C.; DEFELIPO, B. V. Avaliação da fertilidade do solo: metodologia. SIMPÓSIO DA PESQUISA NA UFV, 1., 1988. Viçosa. Resumos... Viçosa: UFV, 1988, p.68-69.
- ANDRADE, C.A. de B. Limitações de fertilidade e efeito do calcário para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solos de várzea do sul de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 1997. 107p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- BATAGLIA, O. C. Análise química de plantas. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da. SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., Jaboticabal, 1988. Anais... Piracicaba: POTAFOS/CNPq, c.5, p.113-130, 1991.
- BERGER, K. C.; TRUOG, E. Boron determination in soils and plants. *Industrial and Engineering Chemistry, Washington*, v.11, p.540-545, 1939
- BERGER, K.C. Boron in soils and crops. In: NORMAN, A.G. (Ed.). *Advances in Agronomy*. Vol.I. New York: Academic Press, 1949.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K. H. Bulk 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, cap.30, p.374-390, 1965.
- BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Levantamento do teor de boro em alguns solos do estado de São Paulo. Piracicaba: ESALQ/USP, 1965. 135p. (Livre - Docência)
- BROWN, P.H.; HU, H. Phloem mobility of boron is species dependent: evidence phloem mobility in sorbitol-rich species. *Annals of Botany*. New York, v.77, n.5, p.497-505, MAY/1996.

[REDACTED]

BROWN, P.H.; SHELP, B.J. Boron mobility in plants. **Plant and Soil**, The Hague, v.193, n.1-2, p.85-101, JUN/1997

BUZETTI, S.; MURAOKA, T.; SÁ, M.E.de. Doses de boro na soja, em diferentes condições de acidez do solo: I. Produção de matéria seca e de grãos e nível crítico no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.2, p.157-161, MAI/AGO 1990.

CAKMAK, I.; KURZ, H.; MARSCHNER, H. Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. **Physiologia Plantarum**. Denmark, v.95, n.1, p.11-18, SEP/1995.

CARTWRIGHT, B.; TILLER, K.G.; ZARCINAS, B.A.; SPOUNCER, L. R. The chemical assessment of the boron status of soils. **Australian Journal Soil Research**. Victoria, v.21, p.321-332, 1983.

CHESWORTH, W. Geochemistry of micronutrients. In: MORTVEDT, J.J. et al. (Ed.) **Micronutrients in Agriculture**. Madison: SSSA. p.1-30, 1991.

COOK, R. L.; MILLAR, C. E. Some soil factors affecting boron availability. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.4, n.3, p.297-301, 1939

CORREA, A. E.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. Aplicação de boro no solo e respostas do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, p.177-181, 1985.

CUNHA, R. C. A. **Retenção e movimento de zinco em solos do Estado de São Paulo**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1989. 115p. (Tese - Mestrado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas)

CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D. P. Solos de várzea de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte: EPAMIG, v.13, n.152, p.3-13, MAR/1988.

DANTAS, J.P. Boro. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da (Ed.). **SIMPOSIÓ SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA**, 1., Jaboticabal 1988. Piracicaba: POTAFOS/CNPq. 1991. **Anais...** cap. 5. p.113-130.

- DAY, 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, cap.13, p. 545-566, 1965.
- DE BUSSETI, S.G.; FERREIRO, E.A.; HELMY, A.K. Sorption of boron by hydrous Al-oxide. **Clays and Clay Mineralogy**, New York, v.43, p.58-62, 1995
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos e análises de solos**, 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 1997. 212p. (Documentos 1)
- EMSLEY, J. **The elements**. 3.ed.. Oxford: Oxford University Press. 1998. 295p.
- ERALSHIDI, M.A.; O'CONNOR, G.A. Boron sorption and desorption in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, n.1, p.27-31, JAN/FEB 1982.
- EVANS, L. J. Repentino of boron by agricultura soils foram Contraio. **Canadiana Journal of Soil Science**, Ottawa, v.67, n.1, p.33-42, 1987.
- FAQUIN, V.; HOFFMANN, C.R.; EVANGELISTA, A.R.; GUEDES, G.A.A. O potássio e o enxofre no crescimento da braquiária e do colômbio em amostras de um Latossolo da região noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.87-94, JAN/ABR 1995
- FAQUIN, V.; ANDRADE, C. A. B.; FURTINI NETO, A. E.; ANDRADE, A. T.; CURI, N. Resposta do feijoeiro à aplicação de calcário em solos de várzea do Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, n.4, p.651-660, OUT/DEZ 1998
- FERREIRA, R.M.A. **Crescimento de *Eucalyptus citriodora* cultivado em dois Latossolos sob influência de níveis de boro e umidade.** Lavras: ESAL, 1992. 133p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- FREIRE, J. C.; RIBEIRO, M. A. V.; BAHIA, V. G.; LOPES, A. S.; AQUINO, L. H. Resposta do milho em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, p.5-8, 1980.



- GALRÃO, E. Z.; SOUSA, D. M. G.; PERES, J. R. R.** Caracterização de deficiências nutricionais em solos de várzeas da região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.9, p.1091-1101, SET/1984.
- GALRÃO, E. Z.** Aplicação de micronutrientes e calcário no rendimento da soja em solo de várzea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.3, p.381-384, SET/DEZ 1990.
- GOLDBERG, S. e GLAUBIG, R. A.** Boron adsorption on aluminium and iron oxide minerals. **Soil Science Society America Journal**, v.49, p.1374-1379, 1985.
- GOLDBERG, S.; FOSTER, H. S.; HERCK, E. L.** Boron adsorption mechanisms on oxides, clay minerals and soils inferred from ionic strength effects. **Soil Science Society America Proceedings**, Madison, v.57, n.3, MAY/JUN 1993.
- GOLDBERG, S.; FORSTER, H. S.; LESCH, S. M. e HEICK, E. L.** Influence of anion competition on boron adsorption by clays and soils. **Soil Science**, Baltimore, v.161, n.2, p.99-103, FEB/1996.
- GOLDBERG, S.** Reactions of boron with soils. **Plant and Soil**, The Hague, v.193, n.1-2, p.35-48, JUN/1997.
- GU, B.; LOWE, L.E.** Studies on the adsorption of boron on humic acids. **Canadian Journal Soil Science**. Ottawa, v.70, n.3, p.305-311, AUG/1990.
- GUPTA, V. C.** Boron nutrition of crops. In: **Advances in Agronomy**. New York, V. 31, p. 273-307, 1979.
- GUPTA, U.C.; JAME, Y.W.; CAMPBELL, C.A.; LEYSHON, A.J.; NICHOLAICHUK, W.** Boron toxicity and deficiency: a review. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.65, n.3, p.381-409, AUG/1985.
- HATCHER, J. T.; BOWER, C. A. e CLARK, M.** Adsorption of boron by soils as influenced by hydroxy aluminium and surface area. **Soil Science**. Baltimore, v.104, n.6, p.422-426, 1967.

- HEILMAN, M.D.; CARTER, D.L.; GONZALES, C.L. The ethylene glycol monoethyl ether (EMEG) technique for determining soil surface area. *Soil Science*, Baltimore, v.100, p.409-413, 1965.
- HU, H. e BROWN, P. H. Absorption of boron by plant roots. *Plant and Soil*, The Hague, v.193, n.1-2, p.49-58, JUN/1997.
- HU, H.; PENN, S. G.; LEBRILLA, C. B.; BROWN, P. H. Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants. *Plant Physiology*, Rockville, v.113, n.2, p.649-655, FEB/1997.
- Jl, G.L. Eletrostatic adsorption of anions. In: YU, T.R. *Chemistry of variable charge soils*. New York: Oxford University Press, c.4, p.112-139, 1997
- KEREN, R.; MEZUMAN, U. Boron adsorption by clay minerals using a phenomenological equation. *Clays and Clay Mineralogy*. New York, v.29, p.198-203, 1981.
- KEREN, R.; BINGHAM, F.T.; RHOADS, J.D. Plant uptake of boron as affected by boron distribution between liquid and solid phases in soil. *Soil Science America Journal*, Madison, v.49, n.2, p.297-302, MAR/APR, 1985.
- KOBAYASHI, M.; MATOH, T.; AZUMA, J.I. Two chains of rhamnogacturonan. II are cross-linked by borate-diol ester bonds in higher plant cell walls. *Plant Physiology*, Rockville, v.110, n.3, p.1017-1020, APR/1996.
- LOPES, A. S. Uso eficiente de fertilizantes com micronutrientes. SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA. Brasília, 1984. Anais... Brasília: EMBAPA-DEP, 1984 (Documentos, 14).
- LOPES, A.S.; CARVALHO, J.G.de. Micronutrientes: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: BORKER, C.M.; LATMANN, A. (eds.) *Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira*. Londrina: EMBRAPA-CNPSo/IAPAR/SBCS, 1988. p.133-178.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 215p.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.**
- MARIANO, E. D. Resposta, níveis críticos e eficiência de extratores para boro em feijoeiro cultivados em solos de várzea Lavras: UFLA, 1998, 82p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)**
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants 2. ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.**
- MATOH, T.; ISHIGAKI, K.; MIZUTANI, M.; MATSUNAGA, W.; TAKABE, K. Boron nutrition of cultured tobacco by 2 cells. I: Requirement for and intercellular localization of boron.. *Plant Cell Physiology*, v.33, n.8, p.1135-1141. DEC/1992.**
- McBRIDE, M.B. Environmental chemistry of soils. New York: Oxford University Press, 1994. 406p.**
- MEHRA, O.P.; JACKSON, N.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, Clarkson, v.3, p.317-327, 1960.**
- MEZUMAN, U.; KEREN, R. Boron adsorption by soils using a phenomenological adsorption equation. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.45, p. 722-726, 1981.**
- MILJKOVIC, N.S.; MATHEUS, B. C.; MILLER, M.H. The available boron content of the genetic horizon of some Ontario soils. I: the relationship between water-soluble boron and other soil properties. *Canadian Journal Soil Science*, Ottawa, v.46, p.133-145, 1966.**
- MILLS, H. A.; JONES JR, J. B. Plant analysis: Handbook II. Athens-Georgia: MicroMacro Publishing, Inc, 1996. 422p.**
- MONIZ, A. C. Mineralogia do solo In: MONIZ, A. C. ed. *Elementos de Pedologia*. São Paulo: Polígono/USP, cap.33, p.391-408, 1972**
- NABLE, R. O.; BAÑUELOS, G. S.; PAULL, J. G. Boron toxicity. *Plant and Soil*. The Hague, v.193, n.1-2, p.181-198, JUN/1997.**

- OKAZAKI, E.; CHAO, T. T. Boron adsorption and desorption by some hawaiian soils. *Soil Science*, Baltimore, v.105, n.4, p.255-259, 1968.
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.; CAMARGO, M.N. *Classes de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento*, 2. ed., Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.
- OLSON, R.V.; BERGER, K. C. Boron fixation as influenced by pH, organic matter content and other factors. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v. 11, p. 216-220, 1946.
- PARKS, W. L. e WHITE, J. L. Boron retention by clay and humus systems saturated with various cations. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.16, p.298-330, 1952
- PARR, A. J. e LOUGHMAN, B.C. Boron and membrane functions in plants. In: *Metals and micronutrients: uptake and utilization by plants. Annals Proceedings Phytochemistry Society*. London: Academic Press, 1983. p.87-107.
- PAULA, M. B. de; CARVALHO, J. G. de; SOARES, A. A.; NOGUEIRA, F. D. Avaliação da fertilidade de um solo de várzea (Glei Húmico) para a cultura do arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.25, n.4, p.571-577, ABR/1990.
- PAULA, M. B. de. *Eficiência de extratores e níveis críticos de boro disponível em amostras de solos aluviais e hidromórficos sob a cultura do arroz inundado*. Lavras: UFLA, 1995. 69p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- POWER, P. P.; WOODS, W. G. The chemistry of boron and its speciation in plants. *Plant and Soil*. The Hague, v.193, n.1-2. p.1-13, JUN/1997
- PRASAD, M. Extent of boron adsorption and its relationship to soil properties in some west indian soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.9, p. 203-214, 1978.
- RAIJ, B. van; 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, 170p.

- RAIJ, B van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.N.C. (eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- RAVEN, J.A. Short and long-distance transport of boric acid in plants. *New Phytologist*. Cambridge, v.84, p.231-249, 1980.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. de; CORRÊA, G.F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**, 2. ed., Viçosa: NEPUT, 1997. 367p..il.
- RHOADES, J.D.; INGVALSON, R.D.; HATCHER, J. T. Adsorption of boron by ferromagnesian minerals and magnesium hydroxide. *Soil Science America Proceedings*. Madison. v.34, n.6, p.938-941, NOV/DEC 1970
- RUY, V. de M. **Contribuição para o estudo de boro disponível em solos**. Piracicaba: CENA, 1986. 104p. (Tese – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)
- RYANS, J.; MIYAMOTO, S.; STROEHLEIN, J. L. Relation of soluble and sorbed boron to the boron hazard in irrigation water. *Plant and Soil: The Hague - Netherlands* , v. 47, p.253-256, 1977.
- SAH, R. N. e BROWN, P. H. Techniques for boron determination and their application to the analysis of plant and soil samples. *Plant and Soil*, The Hague, v.193, n.1-2, p.15-33, JUN/1997.
- SANTOS, H. dos; LARACH, J.O.I.; MOTHCI, E.P. Símbolos e convenções para identificação de classes de solos. *Boletim Informativo Campinas: SBCS*, v.21, n.3, p.119-123, SET/DEZ 1996.
- SHELP, B. J.; PENNER, R.; ZHU, Z. Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cultivar response to boron deficiency. *Canadian Journal of Plant Science*. Ottawa, v.72, p. 883-888, JUL/1992.
- SHORROCKS, V. M. The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil*, The Hague, v.193, n.1-2, p. 121-148, JUN/1997.

- SHUMWAY, J. S. e JONES, J. P. Boron adsorption isotherm: a method to estimate boron fertilizer requirement. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.3, p.477-485, 1972
- SIMS, J.R.; BINGHAM, F.T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials; II. Sesquioxides. In: **Soil Science Society of America Proceedings**. Madison, v.32, n.3. p.364-369, 1968.
- SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. Blacksburg, Virginia: AID/USDA/SMSS. 1996. 7. ed., 306p. (Soil Management Support Technical Monograph, 19).
- STUMM, W. **Chemistry on the solid-water interface**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1992, 428p.
- SU, C.; SUAREZ, D.C. Coordination of adsorbed boron: a FTIR spectroscopic study. **Environmental Science Tecnology**, v.29, p.302-311, 1995
- TISDALE, S.L., NELSON, W.L.; BEATON, J.D. Micronutrients and other beneficial elements in soil and fertilizers. In: —, **Soil fertility and fertilizers**. 5.ed. New York: Macmillan Publishing Company. cap.9, p.305-363, 1993.
- VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G. e ALVES, G. C. Aplicação de duas isotermas de adsorção de boro em solos de baixada do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.2, 361-365, ABR/JUN 1998.
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
- WEAR, J. I.; PATTERSON, R.M. effect of soil pH and texture on the availability of water-soluble boron in the soil. **Soil Science Society America Proceedings**, Madison, v.26, n.5, p.344-346, SEP/OCT 1962.
- WOLF, B. Improvement in the azomethine-H method for the determination of boron. **Communications Soil Science Plant Analysis**. New York, v. 5, p.39-44, 1974.

**YERMIYAHU, U.; KEREN,R.; CHEN, Y. Boron sorption by soil in the presence of composted organic matter. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 59, p. 405-409, MAR/APR 1995.**

ANEXO

TABELA 1A. Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da produção de matéria seca de raízes pelo rabanete (MSR), teor de boro no solo (BS) e teor de boro na planta (BP) em função das doses de B e solos estudados

Causas de variação		Quadrado Médio		
G.L.		MSR	BS	BP
Dose de B	5	4,598**	31,005**	2188,29**
Solo	3	0,043**	2,109**	312,604**
Dose X solo	15	0,553**	0,653**	404,461**
Resíduo	72			
TOTAL	95			
C.V. (%)		4,967	5,740	10,004

\*\* , significativo a 1%