

BORO TOTAL, DISPONÍVEL E CARACTERÍSTICAS DE SORÇÃO EM SOLOS  
DO ESTADO DO CEARÁ.

Mary Nice de Magalhães e Silva

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM AGRONOMIA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS  
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA - 1984

Esta Dissertação foi apresentada como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas - outorgada pela Universidade Federal do Ceará e em cuja Biblioteca Central se encontra à disposição dos interessados.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

---

Mary Nice de Magalhães e Silva

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 16/02/84

---

Fernando Felipe Ferreyra Hernandez  
Orientador

---

Mardônio Aguiar Coelho

---

José Nelson Espíndola Frota

---

Elder Gurgel Souza Moreira

Aos meus pais,  
pelos sacrifícios e estímulo

Aos meus irmãos,  
com gratidão

Ao meu marido,  
pela compreensão e ajuda

Aos meus filhos, GABRIELA e ALEXANDRE  
pelo tempo que lhes exigei

D E D I C O

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Professor Visitante Fernando Felipe Ferreyra Hernandez, Orientador da Dissertação, pela valiosa colaboração e incentivo apresentados durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao Professor Mardônio Aguiar Coelho, Coordenador do Curso, pela atenção e compreensão dispensada.

Aos Professores, pela transmissão de conhecimentos.

Aos Funcionários do Departamento de Ciências do Solo, em particular, ao amigo Antonio Luiz de Oliveira e a colega Fátima Rego da Silva, pelo auxílio prestado nas análises laboratoriais.

À todos aqueles que, de algum modo, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xii
1 - <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2 - <u>REVISÃO DE LITERATURA</u> .....	3
2.1 - <u>Boro no Solo</u> .....	3
2.2 - <u>Adsorção de Boro</u> .....	7
2.2.1 - Teoria da adsorção .....	7
2.2.2 - Adsorção de boro pelo solo .....	10
3 - <u>MATERIAL E MÉTODO</u> .....	14
3.1 - <u>Levantamento do Teor de Boro no Solo</u> .....	14
3.1.1 - Seleção de solos e amostragem .....	14
3.1.2 - Classificação e localização dos solos .....	14
3.1.3 - Caracterização física e química .....	15
3.2 - <u>Distribuição do Boro no Perfil</u> .....	19
3.2.1 - Solos e amostragem .....	19
3.2.2 - Características físicas e químicas dos perfís. .....	19
3.3 - <u>Sorção de Boro</u> .....	29
3.3.1 - Solos .....	29
3.3.2 - Procedimento experimental .....	29
3.3.2.1 - Teste preliminar .....	29
3.3.2.2 - Procedimento analítico .....	30
3.3.2.3 - Determinação das constantes de sorção .....	30
3.4 - <u>Métodos de Determinação de Boro</u> .....	31
3.4.1 - Boro solúvel ou "disponível" .....	31
3.4.2 - Boro total .....	31

4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> .....	33
4.1 - <u>Levantamento dos Níveis de Boro no Solo</u> .....	33
4.1.1 - Boro total e disponível .....	33
4.1.2 - Relações entre teor de boro e características do solo .....	36
4.2 - <u>Distribuição de boro no perfil</u> .....	39
4.3 - <u>Sorção de Boro pelo Solo</u> .....	43
5 - <u>CONCLUSÕES</u> .....	55
6 - <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela		página
1	Classificação e localização das amostras dos 15 solos estudados no Estado do Ceará .....	16
2	Características físicas das amostras de 15 solos estudados no Estado do Ceará .....	20
3	Características químicas das amostras de 15 solos estudados no Estado do Ceará .....	22
4	Classificação, formação geológica e material originário dos quatro perfis estudados .....	24
5	Características físicas e químicas dos perfis de solos estudados .....	25
6	Boro total, boro disponível e relação boro total/boro disponível em amostras de 15 solos no Estado do Ceará .....	34
7	Coefficientes de correlação e equações de regressão linear do boro disponível (y) com diversas propriedades do solo (x) .....	37
8	Boro total, boro disponível e relação boro total/boro disponível dos quatro perfis de solos no Estado do Ceará .....	40
9	Concentração de B na solução de equilíbrio (C. µgB/ml), B sorvido pelo solo (q. µg/g de solo). Capacidade de sorção (C/q, g/ml) e Coeficiente de distribuição (Kd = q/c, ml/g), para solo Aluvial Eutrófico, Ae-3. (Ap: 0 - 20cm, pH 6,0) município de Limoeiro do Norte...	44

## Tabela

## página

10	Concentração de B na solução de equilíbrio ( $C$ , $\mu\text{gB/ml}$ ), B sorvido pelo solo ( $q$ , $\mu\text{g/g}$ ), Capacidade de sorção ( $C/q$ , $\text{g/ml}$ ) e Coeficiente de distribuição ( $K_d = q/c$ , $\text{ml/g}$ ), para solo Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico, Pe-1 (Ap: 0-20cm, pH 4,9) município de Morada Nova .....	45
11	Equação de regressão de B nas soluções de equilíbrio ( $C$ , $\mu\text{g/ml}$ ) versus relação de B em equilíbrio para o B sorvido ( $C/q$ ), sorção máxima ( $b$ ), energia de retenção ( $K$ ) e coeficiente de regressão, para solos equilibrados em soluções de concentração variando de 0-16ppm a pH 5,0 e 6,5 .....	50
12	Valores dos parâmetros de ajuste e constantes da isoterma de Langmuir de duas fases, para a sorção de boro nos dois solos estudados .....	53

## LISTA DE FIGURAS

Figura		página
1	Estado do Ceará: Zonas Fisiográficas e indicação aproximada dos locais de exames de perfis e coleta de amostras de solos .....	18
2	Distribuição do boro disponível e matéria orgânica com a profundidade, no perfil .....	42
3	Efeito do pH na sorção de boro, usando solução de $H_3BO_3$ de 5ppm de B .....	46
4	Isoterma de sorção de Langmuir para sorção de boro no Solo Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico (Pe-1) .....	48
5	Isoterma de sorção de Langmuir para sorção de boro no solo Aluvial Eutrófico (Ae-3) .....	49
6	Coefficiente de distribuição versus quantidade de boro sorvido para o solo Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico (Pe-1) .....	51
7	Coefficiente de distribuição versus quantidade de boro sorvido para o Solo Aluvial Eutrófico (Ae-3) .....	52

## RESUMO

Em amostras de quinze solos representativos do Estado do Ceará, coletadas em duas profundidades (0-20 e 20-40cm) e nos horizontes de quatro perfis, foram avaliadas quanto ao teor de boro total e disponível, correlacionando-se os resultados obtidos com outras propriedades físicas e químicas dos mesmos.

Em amostras da camada superficial de dois solos, Aluvial Eutrófico e Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico, foram estudadas as características de sorção de boro, empregando-se soluções de  $H_3BO_3$  nas concentrações: 0.0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 10, 12, 16  $\mu gB/ml$  na proporção de 5g solo/20ml de solução ajustadas ao pH do solo com HCl 0,1N e NaOH 0,1N; com tempo de equilíbrio de 24h e agitação de 30min, a cada 6h. O boro sorvido foi estimado pela diferença entre o boro aplicado e o boro no sobrenadante após o equilíbrio. Os dados obtidos foram ajustados a equação de Langmuir de uma e de duas fases.

Os resultados mostraram que os solos estudados possuem baixos níveis de boro total e disponível, apresentando em média 6,09 e 0,22ppm respectivamente. Correlações positivas estatisticamente significantes foram obtidas entre boro disponível e matéria orgânica e argila, que mostraram ser os responsáveis pela distribuição de boro disponível através dos perfis. Outras propriedades como,  $Al^{3+}$  e  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  trocáveis, pH, CE, V entre outras não apresentaram correlações com o boro disponível. Não houve correlação entre boro total e boro disponível.

O solo Aluvial Eutrófico, a baixas e altas concentrações, apresentou maior sorção de boro (2,53 e 41,79  $\mu g/g$  solo, respectivamente) que o Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente

Eutrófico (0,71 e 2,80  $\mu\text{g/g}$ , respectivamente). A isoterma simples de Langmuir mostrou, no presente estudo, ser aplicável somente a baixas concentrações.

## ABSTRACT

In samples of fifteen soils, collected at the 0-20 and 20-40cm depths and in four profiles, each one representing existing classes in the State of Ceará, have been evaluated in relation to the content of total and available boron, and the results have been correlated with other soil physical and chemical properties.

In sample of a superficial layer of two soils, Eutrofical Equivalent Red-Yellow Podzolic, Eutrofic Alluvial the sorption characteristics of boron have been studied, utilizing solutions of  $H_3BO_3$  with the concentrations of 0.0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 10, 12, 16 $\mu$ gB/ml on the proportion of 5g soil to 20ml of solution corrected to the pH of soil with HCl 0,1N and NaOH 0,1N, with time of equilibrium of 24h and stirring for 30 minutes each 6 hours. The quantity of sucked boron was estimated by the difference between the used boron and of that one remaining on the upper part of the solution, after the equilibrium. The obtained data were adjusted to the Langmuir equation of one and two phases.

The results have shown that these soils have a low level of total and available boron, presenting on an average 6,09 and 0,22ppm respectively. Positive correlations statistically significant, have been obtained between the available boron and organic matter and clay, which have demonstrate to be the responsible by the distribution of the available boron in the profiles. Other properties such as  $Al^{3+}$  and  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  exchangeable, pH, CE, V, among others did not present correlation with the available boron. There was no correlations between the total and the available boron.

The Eutrophic Alluvial soil in low and high levels of

concentrations have produced bigger sorption of boron (2,53 and 41,79 $\mu\text{g/g}$  soil, respectively) in relation to the Eutrofical Equivalent Red Yellow Podzolic (0,71 and 2,80 $\mu\text{g/g}$ , respectively). The simple Langmuir isotherm has shown to be applicable to low concentrations, only.

## 1 - INTRODUÇÃO

A agricultura moderna exige o conhecimento da capacidade de suprimento dos nutrientes do solo às plantas, de modo a mantê-la em níveis necessários a obtenção de altas produtividades. Dentre os nutrientes o boro é um micronutriente essencial às plantas, cuja deficiência, ocorre com maior frequência nos cultivos agrícolas.

O boro, de modo similar a outros micronutrientes, possui uma função catalizadora em diversos processos fisiológicos, sendo sua presença indispensável nos locais onde se verifica uma ativa divisão celular, encontrando-se em maiores concentrações nos ápices vegetativos, flores e tecidos de condução. Além disso, tem sido comprovada sua importância na germinação do pólen, formação de flores, frutos e raízes, na absorção de cátions, transporte de produtos assimilados e metabolismo de carboidratos. O boro também é considerado essencial no processo de nodulação e fixação de nitrogênio em leguminosas.

Nos solos, o boro geralmente apresenta-se em pequenas quantidades, devido ao baixo teor do mesmo nos materiais de origem e porque a maioria dos seus compostos é facilmente solúvel e conseqüentemente de fácil lixiviação. A turmalina, embora seja um mineral bastante resistente ao intemperismo, é a principal fonte de boro dos solos, que a longo prazo é intemperizado tornando-se disponível às plantas. A disponibilidade de boro está frequentemente associada as propriedades dos solos, tais como, teor de matéria orgânica, teor de argila, teor de  $Fe^{3+}$  e  $Al^{3+}$ , entre outras. Pequenas variações no teor de boro disponível podem levar a estados de deficiência ou toxicidade afetando sensivelmente o desenvolvimento normal das plantas.

Quando se adiciona boro aos solos, parte deste pode ser adsorvida ou fixada e outra permanecerá na solução, existindo equilíbrio entre ambas as frações. Os estudos de sorção possuem uma importante significação agrônômica por fornecerem dados úteis a estimativa da quantidade requerida de nutrientes para o melhor desenvolvimento das culturas.

Apesar da comprovada essencialidade do boro à nutrição vegetal, são escassas as informações existentes relacionadas com este elemento, em solos do Nordeste brasileiro e especificamente em solos do Estado do Ceará. Visando a obtenção de informações que forneçam subsídios a agricultura do Estado, foi realizado o presente estudo cujo objetivo foi o levantamento do boro total e disponível, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm em quinze solos representativos e o estudo de sua distribuição e características de sorção em amostras selecionadas.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 - Boro no Solo

O boro é um micronutriente essencial ao desenvolvimento das plantas, e do mesmo modo que o N, P e S é absorvido pelas mesmas, principalmente em forma anionica ( $H_2BO_3^-$ ).

O conteúdo total deste elemento no solo depende principalmente daquele existente no material que dá origem ao solo e ainda do que é adicionado através da água das chuvas e de irrigação, e dos fertilizantes aplicados (TERMAN e BROWN, 1958; MALAVOLTA, 1967 e FASSBENDER, 1975). Os teores médios de boro estão em torno de 15ppm nas rochas ígneas ácidas, 10ppm nas rochas ígneas básicas e 12ppm nas rochas sedimentares, mas podem variar consideravelmente de acordo com a quantidade de minerais ricos em boro existentes nas mesmas; assim, certos compostos de bauxita e caolinita juntamente com carbonatos são normalmente baixos em boro (< 3ppm), enquanto que sedimentos marinhos argilosos possuem comumente altos teores de boro (20 a 300ppm) (BERGER, 1949 e HOGDSON, 1963).

O boro entra na constituição de aproximadamente 56 minerais que em sua maioria é altamente solúvel. Nos solos de regiões úmidas, praticamente o único e mais distribuído mineral de boro é a turmalina-borossilicato com quantidades variáveis de Fe, Al, Mn, Ca, Li, Na e K, de alta dureza e muito resistente ao intemperismo (BERGER, 1949). O teor de boro total, em solos de regiões úmidas, segundo BEAR (1965) varia entre 40 e 200 libras/acre. Segundo JACKSON (1965) a quantidade total de boro nos solos varia entre 4 e 98ppm, indicando 30ppm como valor médio, e que em solos de regiões úmidas os valores variam de 30-60ppm, podendo em solos arenosos chegar a 2ppm. Segundo Suine e Steward citados por SILVA et alii (1975), o

teor de boro total no solo é de 2 a 200ppm verificando-se valores mais elevados nas proximidades do mar. De acordo com MALAVOLTA (1980), o teor de boro total, em solos brasileiros, está na faixa de 30 a 60ppm.

Do boro total existente no solo somente uma pequena fração está disponível às plantas. BERGER e TRUOG (1940) indicam que o boro assimilável, extraído em água fervente durante 5 minutos, constitui uma fração inferior a 5% do boro total do solo. BRASIL SOBRINHO (1965), estudando os principais Grandes Grupos de Solos do Estado de São Paulo, verificou que o boro disponível constituía entre 0,04 e 0,6% do boro total, e baseado nas variações encontradas em sua relação, indicou que o boro disponível nem sempre depende do boro total.

O conteúdo de boro disponível é geralmente baixo em solos úmidos sob regime de altas precipitações pluviométricas e mais alto em solos neutros e alcalinos sob baixa condição pluviométrica (WEAR, 1965). De acordo com BERGER (1949) o teor de boro disponível nos solos varia entre 0,1 e 2,5ppm, resultando quase totalmente da decomposição da matéria orgânica. Segundo JACKSON (1965), o teor de boro disponível nos solos minerais de regiões úmidas é, em geral, de 0,2 a 1,5ppm; em solos que contenham esterco, 2ppm ou mais e em solos arenosos de boa fertilidade em torno de 0,2ppm. Os solos de regiões semi-áridas, ocasionalmente podem conter de 10 a 40ppm ou mais. Segundo FOX (1968), solos da costa Sul do Perú contém mais de 3ppm de boro disponível, e em algumas áreas valores tão elevados como 1.000ppm, foram encontrados.

De acordo com MALAVOLTA (1980) o teor médio de boro disponível nos solos brasileiros, varia de 0,06 a 0,5ppm. Valores entre 0,01 a 0,32ppm foram encontrados por BRASIL SOBRINHO (1965) na realização de um levantamento deste nutriente em solos do Estado de São Paulo. Já HOROWITZ e DANTAS (1973), encontraram valores entre 0,58 a 4,34ppm em solos do litoral pernambucano.

O baixo teor do boro disponível que normalmente se

apresenta nos solos está associado a grande solubilidade da maioria dos seus compostos, o que facilita sua perda por lixiviação a qual ocorre com maior intensidade em regiões úmidas. KUBOTA et alii (1948) estudando o movimento do boro em solos arenoso e franco siltoso, indicaram que imediatamente após a aplicação de bórax, o sódio contido no produto intervém em reações de troca com o solo deslocando por ação de massas, outros cations como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  e  $\text{H}^{+}$ . Sugerem ainda, que o boro move-se mais rapidamente quando associado a alguns deles. Referidos pesquisadores verificaram também que a taxa de movimentação de boro disponível está primeiramente relacionada com a textura, sendo maior em solos de textura arenosa, e que elevando o pH destes solos acima de 7,0 pela adição de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a taxa de movimentação de boro é retardada. Por outro lado, PARKER e GARDNER (1982) analisando solos do Oeste de Oregon não observaram influência do pH, na faixa de 5,4 a 7,5, sobre o movimento do boro. Em alguns casos pode ocorrer elevações nas concentrações de boro que chega a causar efeitos tóxicos às plantas. Este acúmulo geralmente ocorre em áreas limitadas e esparsas em regiões áridas e semi-áridas, sendo frequentemente associado a solos com problemas de salinidade (REEVE et alii 1955; RICHARDS, 1974).

O teor de boro disponível nos solos é dependente do teor de matéria orgânica, da reação do solo, da presença de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$  trocáveis, da textura e de outros fatores intrínsecos do solo. Dentre as prováveis reações que ocorrem com o boro na solução e fase sólida do solo, consideram-se, a adsorção como íon borato ou ácido bórico molecular, a formação de complexos orgânicos e as precipitações como borato de alumínio e silício (PARKS e WHITE, 1952). Estudando solos cultivados e virgens, BERGER e TRUOG (1945) encontraram um coeficiente de correlação positivo e altamente significativo entre teor de matéria orgânica e boro disponível, na camada superficial de solos ácidos virgens e cultivados; e uma correlação parcial negativa altamente significativa entre pH e boro disponível, em solos cultivados alcalinos, com teor de matéria

orgânica constante, indicando também que no caso de solos alcalinos o pH exerce maior influência do que a matéria orgânica na disponibilidade do boro, contrariamente ao que ocorre em solos ácidos. PAGE e PADEN (1954) estudando o poder de suplementação de boro em 19 séries de solos de importância agrícola na Carolina do Sul, observaram que em solos ácidos. não cultivados, o teor de matéria orgânica teve efeito mais pronunciado sobre a concentração de boro disponível que a textura ou o pH do solo. Estes pesquisadores sugerem ainda que, permanecendo constantes outros fatores, os solos de textura mais argilosa provavelmente manterão sua taxa de liberação de boro por um maior período de tempo que os solos arenosos. Correlações significativas entre boro disponível e matéria orgânica também foram mencionadas por GUPTA (1968) em podzois do Canadá; BRASIL SOBRINHO (1965) em solos do Estado de São Paulo; HOROWITZ e DANTAS (1973) em solos da zona Litoral-Mata de Pernambuco.

De acordo com FASSBENDER (1975) o boro encontrado nos solos pode ser de natureza orgânica e inorgânica. Na forma orgânica encontra-se constituindo ésteres do ácido bórico com componentes hidroxílicos e outros polissacarídeos que se originam durante o processo de transformação da matéria orgânica, e para tornarem-se disponível às plantas precisam ser mineralizados.

As variações climáticas estacionais constituem outro fator que determina a disponibilidade de boro. WINSOR (1952) constatou que em solos cultivados e virgens da Flórida houve um aumento no teor de boro disponível de 73 e 171%, em determinações realizadas sob condições de inverno seco e verão úmido, respectivamente, e concluiu que na amostragem de solos para determinação de boro é necessário considerar as condições climáticas.

## 2.2 - Adsorção de Boro

### 2.2.1 - Teoria da adsorção

Adsorção é um fenômeno de superfície que em sistema sólido-líquido, diz respeito a concentração de uma substância (íon ou molécula) na superfície da partícula sólida. O equilíbrio entre ambas as fases, mantendo-se a temperatura constante, é descrito por isotermas de adsorção que relacionam as quantidades da substância adsorvida por unidade de massa ou de superfície do adsorvente e a concentração de equilíbrio da mesma na fase líquida, localizadas na ordenada e abcissa, respectivamente, de um sistema de eixos coordenados. São diversos os tipos de isotermas existentes, sendo a mais simples, aquela em que a quantidade do adsorvido aumenta com a concentração rapidamente de início para logo diminuir, quando a superfície se encontra coberta com moléculas de adsorvido (PONS MUZZO, 1973). Este tipo de isotermas é descrito pelas equações de Freundlich e de Langmuir, as quais foram desenvolvidas e aplicadas inicialmente no estudo de adsorção de gases por sólidos e posteriormente foram adaptadas para o estudo da adsorção de íons pelo solo, principalmente de anions.

A equação de Freundlich foi obtida de modo puramente empírico e é dada pela expressão:

$$m = KC^{1/n} \quad (1)$$

onde  $m$  é a quantidade de substância adsorvida por unidade de massa do adsorvente,  $C$  é a concentração da substância adsorvida na solução de equilíbrio e  $K$  e  $n$  são constantes.

Por outro lado, a equação de Langmuir tem sido deduzida a partir de considerações teóricas e da suposição de que a substância adsorvida forma uma camada monomolecular que rodeia o sólido, sendo dada pela expressão:

$$q(C) = \frac{KbC}{1 + KC} \quad (2)$$

onde  $q(C)$  é a quantidade de substância (íon ou molécula) sorvida na fase sólida e  $C$  sua concentração na fase aquosa,  $K$  e  $b$  são parâmetros constantes (CASTELLAN, 1974).

Em estudos de sorção de íons pelo solos, frequentemente, as constantes  $K$  e  $b$ , da isoterma simples de Langmuir, são interpretadas como parâmetros de "afinidade" (energia de retenção) e "capacidade" (adsorção máxima), que de acordo com VEITH e SPOSITO (1977), somente é aplicável quando se tem a certeza que a única interação química existente é o fenômeno de adsorção e que a linearidade estatística, comumente obtida ao plotar os dados experimentais pela equação de Langmuir não devem ser empregadas para inferir a natureza de interação íon-solo. Apesar desta limitação a equação de Langmuir continua sendo importante como modelo matemático das reações entre soluto e solo (Ryden e Pratt, Travis e Etnier, citados por SPOSITO, 1982).

Em diversas pesquisas se tem observado dificuldades para descrever as isotermas de sorção (adsorção e/ou precipitação) pelas variações de forma que frequentemente apresentam, tendo-se proposto diversas equações para sua descrição. Uma destas equações é a indicada por HOLFORD, 1978, na descrição de adsorção de fosfatos em 41 solos diferentes, consistindo na equação de Langmuir de duas fases, dada pela expressão:

$$q(C) = \frac{b_1 K_1 C}{1 + K_1 C} + \frac{b_2 K_2 C}{1 + K_2 C} \quad (3)$$

na qual  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $K_1$  e  $K_2$  são parâmetros constantes.

SPOSITO (1982), demonstra matematicamente, que em condições gerais, algumas isotermas de sorção,  $q(C)$ , podem ser representadas por uma equação de Langmuir de duas fases (equação 3). Na solução emprega a transformação de STIELTJES e,

com base em considerações teóricas, introduz outros parâmetros constantes de ajuste dados pelas quatro equações que seguem:

$$b_1 K_1 + b_2 K_2 = \alpha_0 \quad (4a)$$

$$b_1 K_1^2 + b_2 K_2^2 = -\alpha_1 \quad (4b)$$

$$b_1 + b_2 = \beta_0 \quad (4c)$$

$$(b_1/K_1) + (b_2/K_2) = -\beta_1 \quad (4d)$$

e também define as novas variáveis:

$$Y \equiv K_1 + K_2, \quad X \equiv K_1 K_2 \quad (5)$$

que em termos de  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ ,  $\beta_0$  e  $\beta_1$  são representadas pelas equações:

$$Y = \frac{\alpha_0 \beta_0 - \alpha_1 \beta_1}{\beta_0^2 + \alpha_0 \beta_1} \quad (6a)$$

$$X = \frac{\alpha_1^2 + \alpha_1 \beta_0}{\beta_0 + \alpha_0 \beta_1} \quad (6b)$$

Estas variáveis são empregadas para a resolução dos parâmetros constantes da equação de Langmuir (Equação 3) nas seguintes expressões:

$$K_1 = |1/2 Y + (Y^2 - 4X)^{1/2}| \quad (7)$$

$$K_2 = |1/2 Y - (Y^2 - 4X)^{1/2}| \quad (8)$$

$$b_1 = \frac{\beta_0 K_1 + \beta_1 X}{K_1 - K_2} \quad (9)$$

$$b_2 = \frac{-\beta_0 K_2 - \beta_1 X}{K_1 - K_2} \quad (10)$$

Também há necessidade da determinação experimental dos parâmetros  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ ,  $\beta_0$  e  $\beta_1$ , o que pode realizar-se plotando os dados de sorção na forma  $q/C$  versus  $q$  ( $q/C \equiv K_d$  que frequentemente é chamado de coeficiente de distribuição da reação de sorção) e por inspeção dos pontos, pode-se determinar a aplicabilidade da equação de Langmuir para duas fases, que acontece quando se obtém uma isoterma de sorção concava onde os extremos tendem a assintoticidade com o sistema de eixos coordenados. A hipérbole obtida pode ser decomposta matematicamente em duas retas assintóticas aos respectivos eixos coordenados, sendo que uma forma simples de se fazer é pela observação visual da distribuição dos pontos, e uma outra forma é através do ajuste dos dados experimentais, a modelos estatísticos existentes. Nessa figura a pendente da reta assintótica obtida a baixos valores de  $q$  proporciona  $\alpha_1/\alpha_0$  e seu intercepto com o eixo  $q$  proporciona  $\alpha_0^2/(-\alpha_1)$ . Na outra reta assintótica, a valores altos de  $q$ , a pendente  $\beta_0/\beta_1$  e seu intercepto com o eixo  $q$ , dá  $\beta_0$  que representa o valor  $b$  ou máximo valor de  $q(C)$ .

Nos casos particulares em que  $K_1 \gg K_2$  e  $b_1 \ll b_2$  os parâmetros  $K_1$  e  $K_2$  da equação de Langmuir podem ser obtidos diretamente da figura  $K_d$  versus  $q$  usando as aproximações:

$$|\alpha_1|/\alpha_0 \simeq K_1 \quad (11)$$

$$\beta_0/\beta_1 \simeq K_2 \quad (12)$$

Um exame mais detalhado incluindo as demonstrações e passos intermediários para obtenção das equações aqui resumidas podem ser encontradas em SPOSITO (1982).

### 2.2.2 - Adsorção de boro pelos solos

Tem sido constatado que para variações limitadas de concentração, o fenômeno adsorptivo pode ser expresso aproxima

damente pela equação de Langmuir. Estudando solos com baixa concentração de boro, ELRASHIDI e O'CONNOR (1982) e SINGH (1964) concluíram que a equação de Langmuir é válida somente para faixas limitadas de concentrações de boro na solução de equilíbrio. Uma aplicação exata desta equação será conveniente para estimar as quantidades a aplicar, como fertilizantes, em casos de deficiências, assim como para prognosticar os danos causados pelo boro quando os solos são irrigados com água contendo elevados teores de boro e para determinar a quantidade de de lixiviação necessária para reduzir a concentração de boro a níveis satisfatórios (SINGH, 1964).

A sorção de boro pelas partículas coloidais pode ser influenciada pelo pH do solo, textura, mineralogia da argila, teor de  $Al^{3+}$  e  $Fe^{3+}$  extraível, teor de matéria orgânica, e ainda pelo tempo, temperatura e concentração da solução usada para o equilíbrio; o que determina que a sorção de boro varie de solo para solo. BINGHAM *et alii* (1971) em solos do Hawai e México derivados de depósitos vulcânicos, encontraram uma média de sorção (valor b) de 2,6 a 5,3 mM B/100g de solo, valores considerados elevados quando comparados a solos de regiões áridas. Em latossolos do Estado de Minas Gerais, RIBEIRO e BRAGA (1974) observaram que a capacidade máxima de adsorção destes solos variaram de 5,3 a 35mgB/kg de solo.

A reação do solo influencia o processo de sorção, ocorrendo maior fixação em condições alcalinas. OKAZAKI e CHAO (1967) verificaram uma relação direta entre capacidade de sorção de alguns latossolos do Hawai e pH das suspensões de solos, com sorção máxima ocorrendo sob condições alcalinas. O mesmo foi verificado por RIBEIRO e BRAGA (1974) em latossolos do Estado de Minas Gerais e GUPTA e MACLEOD (1980) em podzois do Canadá. BINGHAM *et alii* (1971) constataram em solos vulcânicos de Hawai e México que a sorção máxima ocorreu somente sob condições alcalinas, a aproximadamente pH 8 e 9; sob condições ácidas, abaixo de pH 5, a sorção decresceu. Observaram ainda, uma correlação positiva e significativa entre sorção

de boro e  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; o coeficiente de correlação mais alto foi obtido entre sorção de boro e o teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , enquanto que para  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  as correlações não foram significativas. SIMS e BINGHAM (1967) encontraram uma correlação positiva significativa entre sorção de boro e  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , indicando também que a sorção de boro é favorecido pela calagem de solos ácidos que promove a precipitação de  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Em outro trabalho, SIMS e BINGHAM (1968a) constataram uma maior retenção de boro pelo hidróxido de alumínio que pelo hidróxido de ferro, o que explicam pela ocorrência de maior quantidade de grupos hidroxilas no  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , em relação ao hidróxido de ferro, que pode apresentar-se sob a forma de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ou como óxido parcialmente hidratado ( $\text{FeOOH}$ ). Segundo SIMS e BINGHAM (1968b) a retenção de boro pela caolinita saturada de alumínio e pela montmorilonita saturada de ferro e alumínio foi significativamente maior que a retenção pelas argilas dispersas, concluindo que o hidróxido de ferro e alumínio dentro das camadas de silicatos dominam sobre as espécies de argila mineral, determinando a retenção característica de boro que pode estar condicionada a espécie de argila mineral.

SINGH (1964) verificou que a capacidade de sorção máxima aumentou com a finura da textura dos solos, encontrando valores máximos de 31,64 e 10mgB/kg de solo, para solos de textura pesada e leve, respectivamente. Resultados similares foram obtidos por MEHTA e PALIWAL (1977) estudando o efeito da concentração de cloreto de sódio sobre sorção de boro pelos solos; foi também observada por KUBOTA et alii (1948), PARKS e WHITE (1952) entre outros. RHOADES et alii (1970) ao estudarem solos de zonas áridas, encontraram uma apreciável capacidade de retenção de boro nas frações de silte, areia e argila, indicando que a sorção está localizada sobre grupos de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  presentes sobre superfícies intemperizadas de minerais ferromagnesianos (olivina, augita, hornblenda) assim como no espaço entre as camadas de minerais silicatados (clorita, muscovita, vermiculita e biotita).

O efeito da matéria orgânica na sorção de boro tem sido demonstrado por PARKS e WHITE (1952), que trabalhando com sistema de Humus saturado de cálcio e hidrogênio, indicaram que existe uma afinidade química entre humus e o boro e que o humus saturado com hidrogênio retém aproximadamente duas vezes mais boro que quando saturados com cálcio, o que atribui a formação de complexos entre o boro e compostos orgânicos di-hidroxilados. ELRASHIDI e O'CONNOR (1982), estudando solos de deserto e de áreas cultivadas do Novo México, encontraram uma alta correlação positiva entre o boro sorvido e boro nativo e de outras propriedades com o teor de carbono orgânico. Por outro lado, PARKER e GARDNER (1982) indicaram que a matéria orgânica retarda a lixiviação do boro quando este é aplicado como fertilizante. Correlações negativas também tem sido reportadas por RIBEIRO e BRAGA (1974), que atribuíram as condições distróficas e a estreita faixa de valores de matéria orgânica apresentadas pelos solos por eles estudados.

### 3 - MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 - Levantamento do Teor de Boro no Solo

##### 3.1.1 - Seleção de solos e amostragem

Para o levantamento do teor de boro foram selecionados quinze solos representativos do Estado, com base no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará (JACOMINE *et alii*, 1973) e em relatórios de levantamentos detalhados e semi-detalhados de solos em áreas isoladas no município de Pentecoste (COELHO, 1971; MOTA, 1980), no município de Caucaia (LIMA, 1980), Região de Ibiapaba (SUDEC, 1978), conforme a Tabela 1.

Após identificação das unidades de classificação, no campo, procedeu-se a coleta de amostras nas profundidades de 0-20 e 20-40cm, as quais foram identificadas, acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório para análises.

##### 3.1.2 - Classificação e localização dos solos

Os solos amostrados estão localizados nas seguintes zonas fisiográficas: Litoral (município de Caucaia), Sertão Centro Norte (município de Pentecoste e Sobral), Sertão do Baixo Jaguaribe (municípios de Limoeiro do Norte e Morada Nova), Ibiapaba (município de Ubajara) e Sertão Central (Quixadá e Quixeramobim). A maioria destes solos está localizada em área de relevo plano, clima tipo Aw' (Litoral e Sertão Centro Norte), Bsw'h' (Sertão do Baixo Jaguaribe e Sertão Central) e

Aw' e Amw' (Ibiapaba) segundo a classificação de Koeppen. A média anual de precipitação pluviométrica varia de 1000 - 1500mm nas zonas fisiográficas do Litoral e Ibiapaba e de 500 - 1000mm nas demais zonas fisiográficas. Em todas se apresenta uma vegetação principalmente hiperxerófila (JACOMINE et alii, 1973).

A classificação e localização dos solos selecionados estão indicados na Tabela 1, e os respectivos locais de amostragem constam na Figura 1.

### 3.1.3 - Caracterização física e química

Para a caracterização física e química das amostras procedeu-se as análises das mesmas, em terra fina seca ao ar (TFSA), usando os métodos empregados nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, relacionados a seguir: A composição granulométrica foi determinada pelo método da pipeta, utilizando-se hidróxido de sódio como dispersante, e a classificação textural obtida de acordo com EMBRAPA, (1979). O pH foi determinado potenciométricamente, empregando-se uma relação solo-água 1:2,5 e a condutividade elétrica (CE) determinada no extrato de saturação e medida em ponte salina solubridge (RICHARDS, 1974). A matéria orgânica foi obtida através da oxidação do carbono orgânico multiplicada pelo fator 1,724, de acordo com VETTORI (1969); os cátions trocáveis foram extraídos com acetato de amônia normal pH 7, determinando-se o cálcio e magnésio por titulação com EDTA e sódio e potássio por fotometria de chama (USDA, 1967); hidrogênio e alumínio trocáveis, extraídos com acetato de cálcio normal pH 7 e titulada a acidez resultante com NaOH 0,1N, usando-se fenolftaleína como indicador. O  $H^+$  foi obtido por diferença do  $Al^{3+}$  do  $H^+ + Al^{3+}$ . Valor T (capacidade de troca de cátions) obtida pela somatória dos cátions trocáveis; valor V (satura

TABELA 1 - Classificação e localização das amostras dos 15 solos estudados, no Estado do Ceará.

Solos	Classificação	Localização
Ae-1	ALUVIAL EUTRÓFICO A fraco textura média fase caatinga hiperxerófila relevo plano.	Área do Perímetro Irrigado da Fazenda Experimental do Vale do Curu. Município de Pentecoste, CE.
Ae-2	ALUVIAL EUTRÓFICO A fraco textura média/argilosa fase caatinga hiperxerófila relevo plano.	Município de Quixadá-Açude do Cedro, CE Uso atual - frutícolas, milho, hortaliças
Ae-3	ALUVIAL EUTRÓFICO A fraco textura média/argilosa fase floresta ciliar de carnaúba e caatinga hiperxerófila relevo plano.	Município de Limoeiro do Norte, CE. Uso atual - frutícolas e milho
Ae-4	ALUVIAL EUTRÓFICO A fraco textura média/argilosa fase caatinga hiperxerófila relevo plano.	Área do Perímetro Irrigado da Fazenda Experimental do Vale do Curu. Município de Pentecoste, CE.
AQ	AREIA QUARTZOSA A fraco fase caatinga hipoxerófila e floresta de caatinga relevo suave ondulado.	Estrada Chorozinho/Quixadá distando 4km do Triângulo. Vegetação-cajueiros de aprox. 4 anos.
LI-1	LITÓLICO EUTRÓFICO A fraco textura média/argilosa - fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo plano.	Estrada Quixadá/Quixeramobim, distando aproximadamente 10 km de Quixadá.
LI-2	LITÓLICO EUTRÓFICO A fraco textura média com cascalho fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo ondulado.	Município de Sobral.
Lvd	LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO A moderada textura média fase floresta subperenifólia relevo plano e suave ondulado.	Estação Experimental da EPACE, Município de Uajara, CE.

TABELA 1 - (continuação)

Solos	Classificação	Localização
NC	BRUNO NÃO CÁLCICO fase pedregosa relêvo suave ondulado A fraco fase caatinga hiperxerófila.	Fazenda Experimental do Vale do Curu, Município de Pentecoste, CE.
NCv	BRUNO NÃO CÁLCICO v <sup>er</sup> tico textura média/argilosa fase pedregosa caatinga hiperxerófila relêvo suave ondulado.	Município de Sobral
Pe-1	PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EQUIVALENTE EUTRÓFICO abruptico textura argilosa cascalhenta fase relêvo suave ondulado.	Estrada Quixadá/Morada Nova distando 23km da primeira.
PS	PIANOSSOLO SOLÓDICO textura arenosa média fase relêvo suave ondulado.	Estrada Quixadá/Quixeramobim distando 15km da primeira. Uso atual cultura algodão.
SS-1	SOLONETZ SOLODIZADO A fraco textura média fase caatinga hiperxerófila relêvo plano.	Fazenda Experimental do Vale do Curu, Município de Pentecoste, CE.
SS-2	SOLONETZ SOLODIZADO A fraco textura média/argilosa cascalhenta fase pedregosa caatinga hiperxerófila relêvo plano.	Município de Sobral.
V	VERTISSOLO A fraco e moderado fase caatinga hiperxerófila relêvo plano.	Estrada Chorozinho/Quixadá - áreas restritas com afloramentos rochosos; uso - pastoreio extensivo.



FIGURA 1 - Estado do Ceará: Zonas Fisiográficas e indicação aproximada dos locais de exame de perfis e coleta de amostras de solos.

ção de bases), calculada pela fórmula  $V = S \times 100/T$ .

Os resultados das análises físicas e químicas dos solos estudados, nas duas profundidades consideradas, são apresentadas nas Tabelas 2 e 3.

### 3.2 - Distribuição do Boro no Perfil

#### 3.2.1 - Solos e amostragem

O estudo da distribuição do boro no perfil foi realizado em quatro solos: Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico (Pe), do município de Caucaia; Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVd) e Latossolo Acinzentado Distrófico (LAd), do município de Ubajara e Bruno não cálcico (NC), do município de Sobral.

A coleta de amostras dos perfis foi realizada de acordo com o Manual de Métodos de Trabalho de Campo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (1976).

#### 3.2.2 - Características físicas e químicas dos perfis

As análises físicas e químicas das amostras dos perfis foram realizadas nos laboratórios de Solo do Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, seguindo a mesma metodologia indicada no item 3.1.3.

As características de classificação, formação geológica e material originário dos solos dos perfis estudados são apresentados na Tabela 4 e os resultados das análises físicas e químicas na Tabela 5.

TABELA 2 - Características físicas das amostras de 15 solos estudados, no Estado do Ceará.

Solos	Profundidade	Composição Granulométrica			Classificação Textural
		Areia (2,0-0,05mm)	Silte (0,05-0,002mm)	Argila (< 0,002mm)	
	cm	%			
Ae-1	0-20	77,0	13,1	9,9	Franco Arenoso
	20-40	79,9	9,9	10,2	Franco Arenoso
Ae-2	0-20	77,7	16,8	5,5	Areia Franca
	20-40	66,9	19,3	13,8	Franco Arenoso
Ae-3	0-20	10,6	59,6	29,8	Franco Argilo Siltoso
	20-40	12,9	57,3	29,8	Franco Argilo Siltoso
Ae-4	0-20	9,8	51,6	38,6	Franco Argilo Siltoso
AQ-1	0-20	92,7	3,2	4,1	Areia
	20-40	66,7	4,7	8,6	Areia Franca
LI-1	0-20	81,0	0,9	19,9	Franco Arenoso
LI-2	0-20	60,1	26,0	13,9	Franco Arenoso
	20-40	53,4	32,4	14,2	Franco Arenoso
LVD	0-20	78,7	9,2	12,1	Franco Arenoso
NC	0-20	78,6	10,8	10,6	Franco Arenoso
	20-40	75,5	4,9	19,6	Franco Arenoso
NCv	0-20	40,0	27,0	33,0	Franco Argiloso
	20-40	41,0	33,0	26,0	Franco

TABELA 2 - (continuação)

Solos	Profundidade	Composição Granulométrica			Classificação Textural
		Areia (2,0-0,05mm)	Silte (0,05-0,002mm)	Argila (< 0,002mm)	
	cm	%			
Pe-1	0-20	67,4	18,8	13,8	Franco Arenoso
	20-40	38,4	8,5	53,1	Argila
PS	0-20	51,8	39,6	8,6	Franco
	20-40	77,5	19,9	2,6	Areia Franca
SS-1	0-20	60,3	33,2	6,5	Franco Arenoso
	20-40	49,1	42,8	8,1	Franco
SS-2	0-20	78,5	15,0	6,5	Areia Franca
	20-40	57,0	18,8	24,2	Franco Argilo Arenoso
V	0-20	12,6	41,2	46,2	Argila
	20-40	11,9	37,8	50,3	Argila

TABELA 3 - Características químicas das amostras dos 15 solos estudados, no Estado do Ceará.

Solos	Profundidade	pH H <sub>2</sub> O	CE a 25°C Ext. Sat.	Mat. Org.	Complexo Sortivo							V
					Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	T	
	cm		mmhos/cm	%	meq/100g							%
Ae-1	0-20	7,0	1,41	0,88	5,0	2,7	0,99	0,30	0,0	0,0	8,99	100
	20-40	7,6	0,75	0,67	5,5	3,2	1,35	0,19	0,0	0,0	10,24	100
Ae-2	0-20	7,8	1,80	0,89	5,1	5,3	0,37	0,36	0,0	0,0	11,13	100
	20-40	7,6	1,50	0,67	7,0	4,1	0,65	0,41	0,0	0,0	12,16	100
Ae-3	0-20	6,0	0,34	2,05	14,1	4,8	0,15	0,17	2,89	0,08	22,19	87
	20-40	5,9	0,14	1,19	13,4	5,5	0,14	0,45	2,39	0,08	21,96	89
Ae-4	0-20	6,7	0,62	2,74	8,0	9,8	1,36	0,34	1,97	0,01	21,48	90
AQ-1	0-20	5,2	0,28	0,42	1,0	1,6	0,03	0,04	0,92	0,23	3,82	70
	20-40	4,7	0,05	0,16	0,5	0,5	0,01	0,01	0,33	0,49	1,84	55
LI-1	0-20	5,0	0,38	0,96	3,3	3,5	0,04	0,19	1,43	0,05	8,51	83
LI-2	0-20	5,5	0,14	0,46	4,7	1,1	0,20	0,10	3,63	1,18	9,73	62
	20-40	5,7	0,18	0,41	4,8	4,2	0,36	0,08	3,30	1,28	12,74	74
LVd	0-20	4,9	0,21	2,27	1,0	1,0	0,10	0,07	6,37	0,73	9,27	23
NC	0-20	6,0	0,22	0,83	6,7	4,2	0,18	0,29	2,09	0,05	13,51	84
	20-40	5,6	0,16	0,63	10,0	7,0	0,29	0,23	2,18	0,13	19,83	88
NCv	0-20	6,4	0,23	1,14	19,5	9,7	0,24	0,29	1,79	0,03	31,55	94
	20-40	6,3	0,21	0,69	16,9	14,2	0,29	0,14	1,60	0,05	33,18	95

TABELA 3 - (continuação)

Solos	Profundidade	pH H <sub>2</sub> O	CE a 25°C Ext. Sat.	Mat. Org.	Complexo Sortivo							V
					Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	T	
	cm		mmhos/cm	%	meq/100g							%
Pe-1	0-20	4,9	0,24	1,67	1,8	1,1	0,04	0,13	2,06	0,08	5,21	59
	20-40	4,8	0,26	0,90	1,7	4,9	0,06	0,20	2,58	0,88	10,32	66
PS	0-20	4,9	1,92	1,55	2,8	0,7	0,41	0,42	2,37	0,43	7,13	61
	20-40	7,0	0,29	0,28	0,8	0,7	0,13	0,03	0,0	0,0	1,66	100
SS-1	0-20	5,5	0,26	0,91	2,0	1,0	0,14	0,35	6,91	0,18	10,58	33
	20-40	5,6	0,23	0,51	1,8	1,0	0,17	0,26	1,91	0,33	38,30	94
SS-2	0-20	6,1	0,19	0,32	1,0	1,0	0,11	0,18	1,32	0,13	3,61	63
	20-40	7,4	2,54	0,15	8,7	5,0	5,35	0,07	0,0	0,0	19,15	100
V	0-20	5,6	11,08	0,93	17,2	20,2	3,83	0,26	2,10	0,04	43,63	95
	20-40	6,2	10,04	0,74	16,8	16,5	4,00	0,16	1,40	0,08	38,94	96

TABELA 4 - Classificação, formação geológica e material originário dos quatro perfis estudados.

Solos	Classificação	Formação Geológica	Material Originário
Pe	PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EQUIVALENTE EUTRÓFICO abruptico plinthico A fraco textura arenosa média fase caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado.	Terciário Grupo Barreiras	Arenito
LVD	LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO A moderado textura média fase floresta subperenifolia relevo plano e suave ondulado.	Siluriano-Devoniano inferior. Formação Serra Grande	Arenito
LAd	LATOSSOLO ACINZENTADO DISTRÓFICO A fraco textura média fase subperenifolia relevo plano e suave ondulado.	Siluriano-Devoniano inferior. Formação Serra Grande	Arenito
NC	BRUNO NÃO CÁLCICO fase pedregosa suave ondulado A fraco fase caatinga hiperxerófila.	Precambiano A migmatítico.	Gnaiss e migmatito

TABELA 5 - Características físicas e químicas dos perfis de solos estudados.

Solo: Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico (Pe)

Horizonte		Composição Granulométrica			Classificação Textural
Simbolo	Profundidade	Areia (2,0-0,05mm)	Silte (0,05-0,002mm)	Argila (< 0,002mm)	
	cm	%			
A <sub>11</sub>	0- 18	91,7	2,3	6,0	Areia
A <sub>12</sub>	18- 35	90,6	1,5	7,9	Areia
A <sub>2</sub>	35- 52	88,8	5,1	6,1	Areia
B <sub>1</sub>	52- 74	86,8	1,7	11,5	Areia Franca
B <sub>21tpl</sub>	74-100	66,5	5,2	28,3	Franco Argilo Arenoso
B <sub>22tpl</sub>	100-120	65,7	4,1	30,2	Franco Argilo Arenoso

Horizonte		pH H <sub>2</sub> O	CE a 25°C		Mat. Org.	Complexo Sortivo						V
Simbolo	Profundidade		Ext.	Sat.		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	
	cm	mmhos/cm		%	meq/100g						%	
A <sub>11</sub>	0- 18	7,1	1,54	0,30	0,50	0,70	0,66	0,08	0,0	0,0	1,94	100
A <sub>12</sub>	18- 35	5,1	0,96	0,17	0,20	0,60	0,27	0,07	0,43	0,23	1,80	63
A <sub>2</sub>	35- 52	5,1	0,58	0,17	0,50	0,70	0,22	0,08	0,33	0,33	2,16	69
B <sub>12</sub>	52- 74	5,3	0,39	0,19	0,20	0,50	0,16	0,08	0,31	0,18	1,43	66
B <sub>21tpl</sub>	74-100	5,3	0,41	0,22	1,00	1,50	0,22	0,24	0,91	0,08	3,95	75
B <sub>22tpl</sub>	100-120	5,2	0,29	0,19	1,00	1,50	0,18	0,15	0,94	0,38	3,95	66

TABELA 5 - (continuação)

Solo: Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVd)

Horizonte		Composição Granulométrica			Classificação Textural
Simbolo	Profundidade	Areia (2,0-0,05mm)	Silte (0,05-0,002mm)	Argila (< 0,002mm)	
	cm	%			
A <sub>p</sub>	0- 15	88,6	0,7	10,7	Areia Franca
B <sub>1</sub>	15- 47	82,0	3,9	14,1	Areia Franca
B <sub>21</sub>	47- 67	77,7	4,7	17,6	Franco Arenoso
B <sub>22</sub>	67-100	71,1	5,4	23,5	Franco Argilo Arenoso

Horizonte		pH, CE a 25°C			Complexo Sortivo							T	
Simbolo	Profundidade	pH H <sub>2</sub> O	Ext.	Sat.	Mat. Org.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>		T
	cm	mmhos/cm			%	meq/100g							%
A <sub>p</sub>	0- 15	7,0	0,75	0,83	0,83	2,60	2,60	0,15	0,26	0,0	0,0	5,61	100
B <sub>1</sub>	15- 47	5,7	1,51	0,65	0,65	2,20	1,70	0,15	0,22	1,90	0,08	6,25	68
B <sub>21</sub>	47- 67	5,2	0,91	0,59	0,59	0,50	0,60	0,12	0,21	2,19	0,28	3,90	37
B <sub>22</sub>	67-100	4,5	0,61	0,36	0,36	0,90	0,90	0,12	1,61	1,61	0,78	4,39	46

TABELA 5 - (continuação)

Solo: Latossolo Acinzentado Distrófico (LAd)

Horizonte		Composição Granulométrica			Classificação Textural
Símbolo	Profundidade	Areia (2,0-0,05mm)	Silte (0,05-0,002mm)	Argila (< 0,002mm)	
	cm	%			
A	0- 10	82,3	5,0	12,7	Areia Franca
A <sub>3</sub> <sup>P</sup>	10- 28	77,2	6,1	16,7	Franco Arenoso
B <sub>3</sub>	28- 46	74,7	4,0	21,3	Franco Argilo Arenoso
B <sub>1</sub>	46- 91	71,4	4,2	24,4	Franco Argilo Arenoso
B <sub>21</sub>	91-131	67,4	5,2	27,4	Franco Argilo Arenoso
B <sub>22</sub>	131-151 <sup>+</sup>	70,3	4,6	25,1	Franco Argilo Arenoso
B <sub>23</sub>					

Horizonte		pH H <sub>2</sub> O	CE a 25°C		Mat. Org.	Complexo Sortivo						V
Símbolo	Profundidade		Ext.	Sat.		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	
	cm	mmhos/cm		%		meq/100g						-%
A	0- 10	6,0	0,94	1,15	2,0	2,0	0,12	0,34	1,90	0,08	6,44	69
A <sub>3</sub> <sup>P</sup>	10- 28	4,8	2,36	1,07	1,0	1,0	0,23	0,48	3,02	0,28	6,01	45
B <sub>3</sub>	28- 46	4,6	0,77	0,96	0,50	0,50	0,17	0,33	3,67	0,93	6,10	24
B <sub>1</sub>	46- 91	4,3	0,82	0,72	0,90	0,50	0,16	0,22	4,58	0,37	6,73	26
B <sub>21</sub>	91-131	4,2	1,00	1,26	0,20	0,30	0,15	0,20	0,13	2,28	9,26	9
B <sub>22</sub>	131-151 <sup>+</sup>	4,3	0,98	0,37	0,20	0,60	0,17	0,20	1,61	1,03	3,81	31
B <sub>23</sub>												

TABELA 5 - (continuação)

Solo: Bruno Não Cálcico (NC)

Horizonte		Composição Granulométrica			Classificação Textural
Símbolo	Profundidade	Areia (2,0-0,05mm)	Silte (0,05-0,002mm)	Argila (< 0,002mm)	
	cm	%			
A <sub>11</sub>	0- 6	66,0	20,0	14,0	Franco Arenoso
A <sub>12</sub>	6- 24	66,0	21,0	13,0	Franco Arenoso
B <sub>2</sub>	24- 60	34,0	8,0	58,0	Argila
B <sub>3</sub>	60-100	50,0	26,0	24,0	Franco Argilo Arenoso

Horizonte		pH H <sub>2</sub> O	CE a 25°C		Mat. Org.	Complexo Sortivo						V
Símbolo	Profundidade		Ext.	Sat.		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	
	cm	mmhos/cm		%	meq/100g						%	
A <sub>11</sub>	0- 6	7,0	0,12	4,45	17,9	4,1	0,14	1,02	0,0	0,0	23,16	100
A <sub>12</sub>	6- 24	6,2	0,32	0,92	4,8	2,4	0,09	0,34	1,18	0,18	9,61	79
B <sub>2t</sub>	24- 60	5,1	0,13	0,70	5,4	9,8	0,18	0,15	4,01	0,28	19,82	78
B <sub>3</sub>	60-100	5,6	0,17	0,14	2,8	12,6	0,26	0,11	1,16	0,33	17,26	91

### 3.3 - Sorção de Boro

#### 3.3.1 - Solos

O estudo de sorção foi realizado em amostras das camadas superficiais (0 - 20cm) de apenas dois solos representativos: Aluvial Eutrófico, localizado no município de Limoeiro do Norte (Ae - 3) e Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico, localizado no município de Morada Nova (Pe - 1). As análises físicas e químicas destes solos são indicados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

#### 3.3.2 - Procedimento experimental

##### 3.3.2.1 - Teste preliminar

Antes de iniciar os estudos de sorção realizou-se um teste preliminar com o objetivo de verificar o efeito do pH na sorção do boro pelo solos utilizando-se amostras da camada superficial do solo Ae - 3 (de pH 6 e sem Alumínio trocável) e do horizonte B<sub>21</sub> de um Podzólico do Estado do Acre (de pH 4,3, alumínio trocável 8,73 meq/100g e textura argilosa). Para o equilíbrio empregou-se uma única solução de boro de 5ppm, na forma de ácido bórico, na proporção de 5g de solo para 20ml de solução usando-se os valores de pH: 3, 4, 5, 6, 7 e 8 regulados com NaOH 0,1N e HCl 0,1N.

Considerando os resultados obtidos, optou-se pelo uso do mesmo pH do solo, para todas as suspensões solo-solução, no estudo da adsorção de boro nos solos Ae - 3 e Pe - 1.

### 3.3.2.2 - Procedimento analítico

Para a determinação da sorção de boro, 5g de TFSA e 20ml de solução de ácido bórico nas concentrações de: 0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 12, 16 $\mu$ gB/ml foram mantidas em contato por 24h, para atingir o equilíbrio, à temperatura ambiente do laboratório ( $27 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ), recebendo a cada 6h agitação de 30min., em agitador horizontal. De início, todas as suspensões solo-solução usadas, foram ajustadas ao pH dos solos com NaOH 0,1N e HCl 0,1N. Após o tempo de equilíbrio, as suspensões foram centrifugadas e filtradas, acondicionando-se os extratos em frascos de plástico até o momento da determinação de boro. Foram tomadas alíquotas de 1 ml do sobrenadante para determinar a concentração de boro, seguindo o método da curcumina utilizando-se espectrofotometro a 540 $\mu$ m. (JACKSON, 1965).

As quantidades de boro sorvido pelos solos, para cada solução de equilíbrio, foi obtida pela diferença entre a quantidade de boro na solução de equilíbrio e a quantidade de boro adicionado, expressando o resultado em microgramas por grama de solo ( $\mu\text{g/g}$ ).

### 3.3.2.3 - Determinação das constantes de sorção

Para a determinação dos parâmetros constantes de sorção usou-se os dados experimentais de sorção adaptados às equações simples e de duas fases de Langmuir. Na isoterma de duas fases a separação dos pontos realizou-se de acordo com o agrupamento dos mesmos, seguindo a equação proposta por HOLD FORD et alii 1974 e HOLDFORD, 1978 calculando-se os respectivos parâmetros conforme indicado por SPOSITO (1982).

### 3.4 - Métodos de Determinação de Boro

#### 3.4.1 - Boro solúvel ou "disponível" - Método da Curcumina (JACKSON, 1965).

Sub-amostras de 20g de TFSA foi transferida para balão de vidro de 200ml, adicionou-se 40ml de água destilada, levando-se a um condensador de refluxo e procedendo-se a fervura da suspensão solo-solução durante 5 minutos. Depois de fria, a suspensão foi centrifugada durante 15 min, a 3000rpm, filtrada e o extrato obtido acondicionado em frascos de plástico até a determinação do boro. Foi tomada uma alíquota de 1 a 4ml do extrato, que foi transferida para copos de plástico de 30ml, adicionando-se 4ml de solução de curcumina - ácido oxálico e evaporado em estufa a  $\pm$  55°C. Após secagem adicionou-se ao conteúdo dos copos, 25ml de etanol de 95%, filtrou-se e procedeu-se a leitura no fotocolorímetro a 540 $\mu$ m.

As determinações de boro foram realizadas em séries de 10-15 amostras, em cada uma das quais foram feitas provas em branco e uma curva de calibração com soluções padrão das seguintes concentrações: 0.2, 0.4, 0.6, 1.0, 1.5, 2.0, 4.0 e 6.0  $\mu$ gB/ml.

#### 3.4.2 - Boro total - fusão com carbonato de sódio, colorimetria, método da curcumina (JACKSON, 1965).

Transferiu-se 0,5g de TFSA para cadinho de platina e adicionou-se 3g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  anidro, procedendo-se a fusão a uma temperatura aproximada de 1000°C. Após resfriamento colocou-se o cadinho em uma cápsula de porcelana de 250ml, contendo 50ml de água destilada com a cápsula parcialmente tampada, juntou-se 14ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  4N para eliminar o carbonato, adicio

nou-se água destilada ( $\pm$  100ml) e transferiu-se para balão volumétrico de 500ml. Verificou-se o pH da solução (pH 6,5) utilizando-se uma gota de azul de bromotimol como indicador externo. Adicionou-se álcool etílico à solução e uma quantidade de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  suficiente para tornar a solução ligeiramente alcalina: agitou-se e completou-se o volume com álcool etílico. Colocou-se uma alíquota de 400ml numa cápsula de porcelana adicionando-se 80ml de água destilada e evaporando à secura. O resíduo foi retomado com 5,0ml de HCl 0,1N constituindo o extrato de boro total. Tomou-se uma alíquota de 1 a 4ml do extrato e colocou-se em copinhos de plástico, adicionando 4ml de curcumina e evaporado em estufa a  $\pm$  55°C. Após a evaporação, juntou-se 25ml de álcool etílico, agitou-se com bastões de plástico e filtrou-se; realizando-se a leitura do filtrado em fotocolorímetro a 540 $\mu\text{m}$ .

#### 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1 - Levantamento dos Níveis de Boro no Solo

###### 4.1.1 - Boro total e disponível

Os resultados das determinações de boro total e disponível (extraído em água fervente), e valores da relação boro total: boro disponível nos solos estudados, são apresentados na Tabela 6.

Observando-se a Tabela 6 nota-se que na camada superficial (0-20cm) dos solos estudados, o valor de boro total variou de 1,25 a 15,10ppm com média de 5,53ppm, e na camada subsuperficial (20-40cm) estes valores variaram de 1,31 a 11ppm com média de 6,78ppm. Estes resultados aproximam-se dos indicados por HOGDSON (1963), em trabalho detalhado acerca de micronutrientes, através do qual concluiu que o conteúdo médio deste elemento nos solos geralmente se encontra entre 3 e 10ppm. No entanto, são baixos, quando comparados os determinados em solos do Estado de São Paulo, por MALAVOLTA (1980) que indicou teores de boro total variando de 30 a 60ppm e por BRASIL SOBRINHO (1965) que encontrou, em perfis representativos do Estado de São Paulo valores variando de 18,7 a 67,5ppm.

Comparando os solos estudados, verifica-se que na maioria destes, o teor de boro total foi maior nas camadas superficiais, no entanto, em certos casos, pode-se observar uma tendência de acúmulo do nutriente na camada subsuperficial. Os solos que apresentaram maior teor de boro total na camada subsuperficial foram: Ae-1, Ae-2, Ae-3, LI-2 e Pe-1, os quais apresentam a característica comum de serem cultivados. Este

TABELA 6 - Boro total, boro disponível e relação boro total/boro disponível em amostras de 15 solos no Estado do Ceará.

Solos	Profundidade (cm)	Boro Total	Boro Disponível (ppm)	Relação B.Total/B.Disponível
Ae-1	0-20	3,25	0,17	19,1
	20-40	11,11	0,10	111,1
Ae-2	0-20	3,44	0,23	14,9
	20-40	10,03	0,26	39,6
Ae-3	0-20	2,90	0,41	7,1
	20-40	11,00	0,27	49,7
Ae-4	0-20	4,80	0,77	6,2
AQ-1	0-20	15,10	0,24	62,9
	20-40	10,05	0,14	71,8
LI-1	0-20	1,25	0,15	8,3
LI-2	0-20	1,74	0,06	29,0
	20-40	4,31	0,06	71,8
LVd	0-20	10,28	0,13	79,1
NC	0-20	9,97	0,31	32,2
	20-40	4,99	0,23	21,8
NCv	0-20	2,38	0,31	7,7
	20-40	1,69	0,15	11,3
Pe-1	0-20	1,94	0,29	6,7
	20-40	6,56	0,43	15,2
PS	0-20	3,16	0,12	26,3
	20-40	2,54	0,07	36,3
SS-1	0-20	9,09	0,12	75,7
	20-40	9,20	0,06	153,3
SS-2	0-20	3,58	0,10	35,8
	20-40	1,31	0,16	8,2
V	0-20	10,12	0,25	40,5
	20-40	8,64	0,40	21,6

comportamento provavelmente está associado com a retirada de boro através das colheitas, e a lixiviação de boro disponível das camadas superficiais com acúmulo e fixação do mesmo nas camadas inferiores, onde geralmente existe maior teor de argila e óxidos de  $Fe^{3+}$  e  $Al^{3+}$  (HATCHER *et alii*, 1967 e SIMS e BINGHAM, 1967) favorecido ainda pela mineralização mais intensa da matéria orgânica que ocorre nos solos cultivados. Deve-se considerar ainda que os solos aluviais, são formados por sedimentos provenientes de diferentes áreas e depositados em diferentes épocas.

Os solos NCV, LI-2 e SS-2, localizados no município de Sobral e o solo LI-1, do município de Quixadá, foram os que apresentaram menor teor de boro total, em relação aos demais solos estudados, admitindo-se influência do teor de boro no material de origem. Segundo JACOMINE *et alii* (1973) a zona fisiográfica de Sobral apresenta uma predominância de rochas metamórficas, gnaiss e migmatitos, enquanto que o material originário dos solos das demais zonas fisiográficas é o arenito.

Na camada superficial (0-20cm) o teor de boro disponível variou de 0,06 a 0,77ppm, nos solos LI-2 e Ae-4, respectivamente, com valor médio de 0,19ppm e nas camadas subsuperficiais (20-40cm) de 0,06 a 0,43ppm, nos solos LI-2 e Pe-1, respectivamente, com valor médio de 0,22ppm. Estes resultados concordam com os indicados por MALAVOLTA (1980) para solos brasileiros, cuja faixa de boro disponível situa-se entre 0,06 a 0,5ppm. Também está em concordância com BRASIL SOBRINHO (1965) que encontrou teores de boro disponível variando de 0,06 a 0,32ppm, em solos do Estado de São Paulo; e com valores entre 0,3 a 0,7ppm encontrado por OKAZAKI e CHAO (1967) em solos do Hawai. Os teores de boro disponível encontrados são baixos quando comparado com resultados obtidos por HOROWITZ e DANTAS (1973), em solos da zona Litoral-Mata de Pernambuco, cujos valores variaram de 0,58 a 4,34ppm nas camadas superficiais destes solos e com GUPTA (1968) que encontrou valores entre 0,38 a 4,67ppm em podzois do Canadá.

Através da Tabela 6, observa-se que os teores mais elevados de boro disponível situam-se nas camadas superficiais dos solos, com exceção dos Pe-1, V e SS-2, onde ocorreu um acúmulo na camada subsuperficial.

Verificou-se ainda que os solos estudados apresentaram uma disponibilidade de boro, de baixa a média, quando considerados como limites críticos o requerimento de boro disponível nos solos, por plantas pouco exigentes, medianamente exigentes e exigentes (baixo < 0,1ppm, médio entre 0,1 a 0,5ppm e alto > 0,5ppm) indicados por BERGER (1949).

Com a finalidade de observar melhor o comportamento dos solos no suprimento de boro disponível foi estabelecida uma relação entre boro total e boro disponível, apresentada também na Tabela 6. De acordo com os resultados, verifica-se que a relação variou de conformidade com o solo. Os solos Ae-4, Pe-1 e Ae-3, seguido do NCV, LI-1 e SS-2 foram os que apresentaram menor relação, significando maior facilidade de suprimento de boro disponível a partir do total e, as relações mais altas encontradas nos solos Ae-1 e SS-1 significam possivelmente, maiores obstáculos a transformação de boro total para a forma assimilável. De modo geral, verifica-se que as relações aumentaram nas camadas subsuperficiais o que é explicado pelo menor acúmulo de matéria orgânica observado nesta profundidade. No entanto, esta relação não deve ser interpretada como um índice de capacidade de fornecimento de boro para as plantas, uma vez que um solo de baixo teor de boro total e disponível pode apresentar também uma baixa relação.

#### 4.1.2 - Relação entre teor de boro disponível e características do solo

Na Tabela 7 são apresentados o coeficiente de correlação e a equação de regressão linear resultantes das relações entre boro disponível com diversas propriedades dos solos. De

TABELA 7 - Coeficiente de correlação e equações de regressão linear do boro disponível (y) com diversas propriedades do solo (x).

Propriedade	Equação	r
Boro Total (ppm)	$Y = 0,210 + 0,002x$	0,048ns
% Matéria Orgânica	$Y = 0,122 + 0,125x$	0,487*
% Argila	$Y = 0,130 + 0,006x$	0,492**
Ca <sup>++</sup> + Mg <sup>++</sup> trocável	$Y = 0,193 + 0,004x$	0,251ns
Al <sup>+3</sup> trocável	$Y = 0,262 - 0,098x$	0,214ns
H <sup>+</sup> + Al <sup>+3</sup> trocável	$Y = 0,252 - 0,006x$	0,073ns
pH	$Y = 0,151 + 0,112x$	0,068ns
V	$Y = 0,077 + 0,002x$	0,256ns
CE	$Y = 0,245 + 0,005x$	0,080ns

\* - Significativo ao nível de 5%;

\*\* - Significativo ao nível de 1%;

ns - Não significativo.

modo geral, pode-se observar que os coeficientes de correlação foram baixos, que pode ser atribuído a estreita faixa de valores apresentada pelas propriedades dos solos estudados, além de possuírem uma variada composição mineralógica e submetidos a diferentes condições de uso e manejo.

A matéria orgânica e o teor de argila foram as únicas propriedades que apresentaram uma correlação positiva estatisticamente significativa ao nível de 5 e 1% respectivamente. Não foi encontrada correlação entre boro total e disponível, indicando que não há dependência entre estas características provavelmente por encontrar-se o boro total, em sua maioria, na composição de minerais altamente insolúveis como a turmalina (BERGER, 1949; BEAR, 1965 e FASSBENDER, 1975). A importância da matéria orgânica na liberação de boro disponível tem sido observado por BERGER e TRUOG (1945), HOROWITZ e DANTAS (1973) e PARKER e GARDNER (1982) entre outros, que encontraram também, correlações positivas. Segundo PARKS e WHITE (1952) o boro forma um díol com carboidratos, que são responsáveis pelo vínculo do boro com a matéria orgânica do solo e evitando sua fácil lixiviação. Solos altos em matéria orgânica normalmente são também altos em boro, que na forma orgânica não é disponível às plantas, mas com o tempo pela ação da atividade microbiana pode tornar-se disponível novamente. Por outro lado, KUBOTA *et alii* (1948) ressaltam a importância da textura no retardamento da taxa de lixiviação do boro, sendo maior em solos de textura fina, podendo haver adsorção ou fixação do mesmo, por esta fração coloidal (PARKS e WHITE, 1952, WEAR e PATTERSON, 1962, SIMS e BINGHAM, 1967, 1968a, 1968b), onde provavelmente, uma parte pode ser facilmente liberada. O que explica a correlação positiva e significativa encontrada entre o boro disponível e a argila.

As outras propriedades correlacionadas com boro disponível:  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ,  $H^+ + Al^{3+}$ , pH, V e CE, não apresentaram correlações significativas, provavelmente pelas razões anteriormente expostas, embora outros pesquisadores como SIMS e

BINGHAM, 1968a, BINGHAM et alii, 1971, RIBEIRO e BRAGA, 1974, entre outros, tenham encontrado correlações significativas com algumas delas

#### 4.2 - Distribuição de Boro no Perfil

Os valores de boro total, boro disponível e da relação boro total/boro disponível, nos quatro perfis de solos estudados, são apresentados na Tabela 8.

Observando a distribuição de B total no perfil, verifica-se que os solos, Pe localizado no Município de Caucaia, LVd e LAd localizados no Município de Ubajara, foram os que apresentaram maiores teores deste micronutriente, com valores que variaram entre 1,92 a 14,24, 5,79 a 14,50 e 4,12 a 22,30ppm, respectivamente. O solo Pe apresentou no horizonte Ap, 1,92ppm, aumentando a concentração de boro nos horizontes A<sub>12</sub>, A<sub>2</sub> e B<sub>12</sub>, para logo decrescer. O LVd apresenta certa uniformidade nos tres primeiros horizontes para aumentar a concentração no horizonte B<sub>22</sub>; o LAd mostrou uma tendência a diminuir em profundidade apresentando acúmulo no horizonte B<sub>23</sub>. Segundo HOGDSON (1963), a concentração do micronutriente no horizonte B é resultado de uma translocação descendente do elemento no perfil e está associado com o teor de argila, presença de íons livres ou complexo orgânico que interceptam, em parte, a passagem do elemento através do perfil por precipitação ou adsorção. O solo NC foi o que apresentou os menores teores de boro total dentre os perfis, provavelmente devido a presença de material de origem baixo em minerais boratados, como indicado anteriormente pelos solos desta zona fisiográfica. Neste solo o maior teor de boro apresentou-se na camada superficial, que pode ser explicado pela maior quantidade de matéria orgânica nela existente, mantendo valores baixos e constantes nas demais camadas. Os solos LVd e LAd foram os que apresentaram maiores teores de boro disponível, com valores entre

TABELA 8 - Boro total, boro disponível e relação boro total / boro disponível de quatro perfis de solos no Estado do Ceará.

Solos	Horizonte		Boro Total	Boro Disponível	Relação B.Total/B.Disponível
	Simbolo	Profundidade (cm)			
Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico					
Pe	A <sub>p</sub>	0- 18	1,92	0,26	7,2
	A <sub>12</sub>	18- 35	14,24	0,10	142,4
	A <sub>2</sub>	35- 52	13,83	0,11	125,7
	B <sub>12</sub>	52- 74	12,32	0,09	129,6
	B <sub>21tpl</sub>	74-100	6,04	0,31	19,1
	B <sub>22tpl</sub>	100-120	5,40	0,32	16,6
Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico					
LVd	A <sub>p</sub>	0- 15	6,88	0,54	12,6
	B <sub>1</sub>	15- 47	6,49	0,42	15,4
	B <sub>21</sub>	47- 67	5,79	0,31	18,6
	B <sub>22</sub>	67-100 <sup>+</sup>	14,50	0,29	50,0
Latossolo Acinzentado Distrófico					
IAd	A <sub>p</sub>	0- 10	8,80	0,55	15,8
	A <sub>3</sub>	10- 28	12,30	0,40	30,3
	B <sub>1</sub>	28- 46	8,40	0,55	15,2
	B <sub>21</sub>	46- 91	6,38	0,32	19,9
	B <sub>22</sub>	91-131	4,12	0,42	9,6
	B <sub>23</sub>	131-151 <sup>+</sup>	22,30	0,47	47,4
Bruno Não Cálcico					
NC	A <sub>11</sub>	0- 6	3,52	0,58	6,0
	A <sub>12</sub>	6- 24	1,20	0,12	9,9
	B <sub>2t</sub>	24- 60	1,27	0,15	8,4
	B <sub>3</sub>	60-100	1,67	0,13	12,8

0,29 a 0,54 e 0,12 a 0,55ppm, respectivamente, indicando a presença de compostos facilmente solúveis, quando comparado aos demais solos. No solo NC o maior teor de boro disponível foi encontrado no horizonte  $A_{11}$ , provavelmente pelo maior teor de matéria orgânica verificada neste horizonte, e os teores mais baixos nos horizontes  $A_{12}$ ,  $A_2$  e  $B_{12}$  do Pe.

Comparando os solos, entre si, observa-se que não houve grandes variações no teor de boro total e que nem sempre os teores mais elevados encontram-se na camada superficial, principalmente nos solos cultivados. Também apresenta-se evidência de que não há uma relação direta entre teor de boro total e disponível, uma vez que os valores mais altos de boro total nem sempre corresponderam aos maiores valores de boro disponível, sugerindo que a disponibilidade de boro está ligada principalmente a outras propriedades do solo. A influência da matéria orgânica e da argila na disponibilidade de boro pode ser deduzida da Figura 2 que mostra a variação da matéria orgânica e boro disponível com a profundidade nos quatro perfis estudados, observando paralelismo entre ambos, sendo os desvios que se apresentam em profundidade, explicados pelo maior teor de argila existentes nestas camadas, como pode ser observado na Tabela 5.

Os solos estudados mostraram uma diminuição no teor de boro disponível com a profundidade no perfil, excetuando o Pe, que apresenta maiores teores no horizonte B, sendo justificado pela presença de maior teor de argila. Estes resultados podem ser explicados de acordo com KUBOTA *et alii* (1948) que ao estudar o movimento do boro no solo observou um acúmulo de boro disponível próximos as camadas superficiais em solos argilosos. As relações obtidas entre B total/B disponível nos perfis, em média, mostram valores concordantes aos encontrados por BERGER e TRUOG (1940) que indicam que o boro disponível constitui menos de 5% do boro total. Em geral as menores relações corresponderam as camadas superficiais com tendência a aumentar com a profundidade. As variações observadas

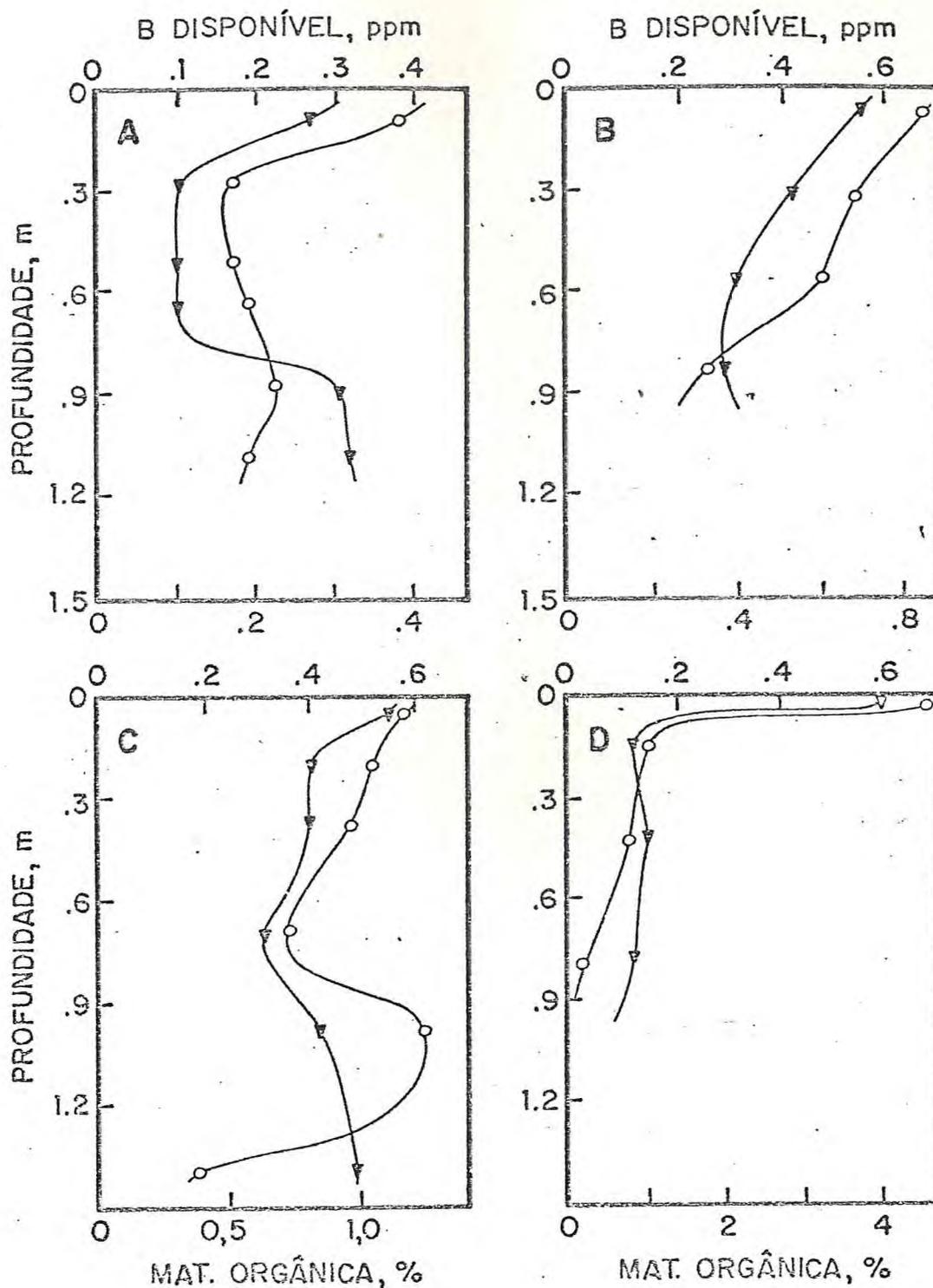


FIGURA 2 - Distribuição do boro disponível (▼) e matéria orgânica (○) com a profundidade, no Perfil. (a) Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico; (b) Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico; (c) Latossolo Acinzentado Distrófico; (d) Bruno não Cálculo.

dentro de cada perfil são justificadas com base nas propriedades do solo, matéria orgânica e textura principalmente, lixiviação do boro disponível e material de origem como mencionado em itens anteriores.

#### 4.3 - Sorção de Boro pelo Solo

O efeito do pH na adsorção de boro pelo solo Aluvial Eutrófico (Ae-3) e Podzólico do Estado do Acre está ilustrado na Figura 3. Pode-se observar que para os dois solos estudados, a curva de sorção adquiriu forma hiperbólica, com a variação do pH, onde as menores adsorções ocorreram a valores de pH entre 5 e 6. Nota-se também que a alcalinidade do meio apresentou maior efeito na adsorção de boro que a acidez.

As sorções relativamente baixas, ocorridas a pH entre 5 e 7 possivelmente seja devido ao fato que nestas condições de pH o boro na solução se encontra predominantemente na forma  $B(OH)_3$ , enquanto que, acima de pH 7 começa a predominar na forma  $B(OH)_4^-$ , pela qual, provavelmente os materiais do solo possuem maior afinidade, podendo ter contribuído a criação de superfícies ativas adicionais que acontece quando se alcaliniza o meio (BINGHAM *et alii*, 1971). O aumento da sorção observado com aumento da acidez, provavelmente esteja associado com cargas dependentes de pH, sendo que, em meio ácido as cargas positivas aumentam consideravelmente (FASSBENDER, 1975).

Comparando os dois solos não se observou diferenças notáveis de comportamento, além de um pequeno deslocamento da curva para o lado de menor pH, do podzólico em relação ao Aluvial, que provavelmente está associado com as diferenças de características apresentadas por ambos.

A sorção de Boro em função da concentração na solução de equilíbrio para os solos Ae-3 e Pe-1 são apresentados nas Tabelas 9 e 10 respectivamente. A simples observação dos da

TABELA 9 - Concentração de B na solução de equilíbrio (C,  $\mu\text{gB/ml}$ ), B sorvido pelo solo ( $q, \mu\text{g/g}$  de solo). Capacidade de Sorção ( $C/q, \text{g/ml}$ ) e Coeficiente de distribuição ( $K_d = q/c, \text{ml/g}$ ), para solo Aluvial Eutrófico, Ae-3, Município de Limoeiro do Norte, Ap: 0-20cm pH 6,0.

Concentração Inicial	C	q	C/q	Kd
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	0,37	0,51	0,73	1,38
1,0	0,84	0,64	1,31	0,76
2,0	1,69	1,24	1,36	0,73
3,0	2,61	1,55	1,68	0,59
4,0	3,60	1,60	2,25	0,44
5,0	4,44	2,22	2,00	0,50
6,0	5,33	2,69	1,98	0,50
7,0	6,20	3,21	1,93	0,52
8,0	7,12	3,52	2,02	0,50
10,0	8,96	4,17	2,14	0,46
12,0	10,65	5,38	1,97	0,50
16,0	14,42	6,31	2,28	0,44

TABELA 10 - Concentração de B na solução de equilíbrio (C,  $\mu\text{g/ml}$ ), B sorvido pelo solo (q,  $\mu\text{g/g}$  de solo). Capacidade de Sorção (C/q, g/ml) e coeficiente de distribuição ( $K_d = q/c$ , ml/g), para solo Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico, Pe-1, Município de Morada Nova, Ap: 0-20cm, pH 4,9.

Concentração Inicial	C	q	C/q	Kd
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	0,44	0,24	1,83	0,55
1,0	0,89	0,44	2,02	0,49
2,0	1,88	0,48	3,92	0,26
4,0	3,85	0,60	6,42	0,16
6,0	5,79	0,84	6,89	0,15
8,0	7,79	0,84	9,27	0,10
12,0	11,67	1,23	9,49	0,11
16,0	15,62	1,50	10,41	0,09

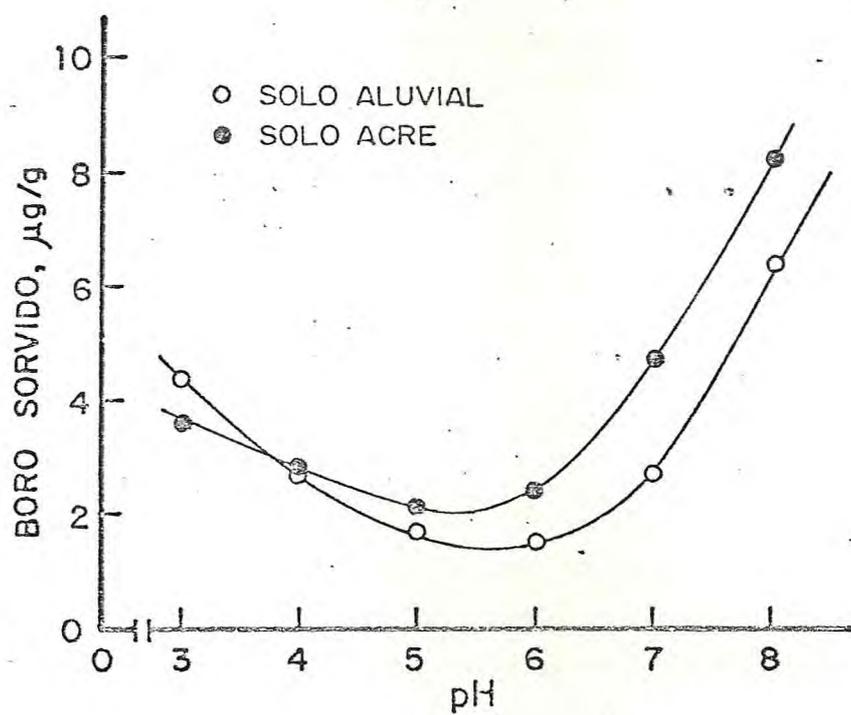


FIGURA 3 - Efeito do pH na Sorção de Boro, usando solução de  $H_3BO_3$  de 5ppm de B.

dos experimentais mostra que os dois solos estudados diferiram amplamente quanto a sorção de boro, sendo o solo Aluvial Eutrófico aquele que apresentou as maiores sorções.

Quando os dados experimentais foram graficados  $C$  versus  $C/q$ , observou-se que os mesmos se desviaram da isoterma simples de Langmuir, como se pode deduzir das Figuras 4 e 5, embora a análise de regressão linear com todos os dados apresentaram coeficientes de correlação estatisticamente significativas (Tabela 11) que pode ser atribuído a faixa relativamente ampla de concentrações usadas. Quando utilizou-se somente os dados obtidos com as menores concentrações, o ajuste e linearidade foi melhor (Tabela 11). As sorções máximas diferiram, em ambos, encontrando-se no solo Aluvial Eutrófico valores de 13,12 e 2,53  $\mu\text{g/g}$  e no Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico, de 1,74 e 0,71  $\mu\text{g/g}$  quando se utilizou todos os dados e os de baixas concentrações, respectivamente. Estes desvios do modelo de Langmuir a altas concentrações também tem sido observado por outros pesquisadores (SING, 1971 e ELRASHIDI e O'CONNOR, 1982), os quais frequentemente são interpretados como indicativos das diferentes classes de reação para altas e baixas concentrações de boro ou em termos de diferentes sítios ou mecanismos de adsorção (HATCHER e BOWER, 1958; GRIFFIN e BURAU, 1974). VEITH e SPOSITO (1977), e SPOSITO (1982) indicam que a isoterma de Langmuir embora também dê um ajuste a linearidade, as constantes apenas devem ser tomadas como parâmetros de equação e que não fornecem dados referentes ao mecanismo de sorção (adsorção, precipitação, etc.).

Com o intuito de melhorar a descrição das isotermas de sorção observadas nos dois solos estudados, os dados experimentais também se aplicaram ao modelo de Langmuir de duas fases (Equação 3 indicada no item 2.2), onde a separação das fases e equação de regressão é observada nas Figuras 6 e 7, para cada um dos solos, calculando-se os parâmetros de ajuste e constantes da equação de Langmuir das respectivas equações para altas e baixas concentrações (Tabela 12). Os resultados

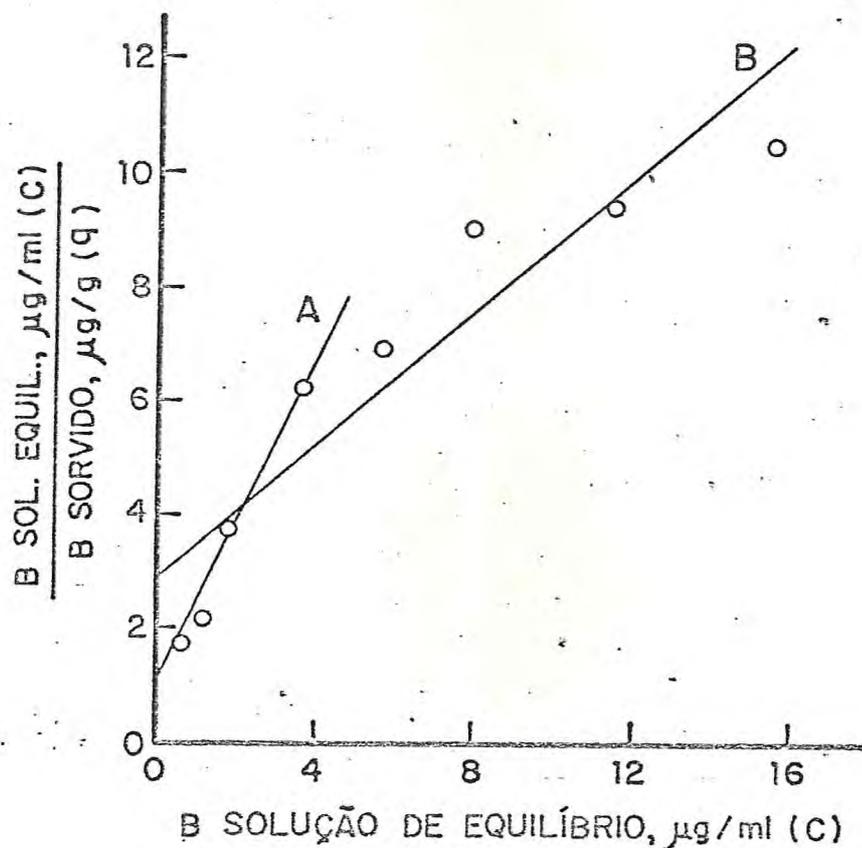


FIGURA 4 - Isotherma de Sorção de Langmuir para Sorção de Boro no Solo Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico (Pe - 1). (a) Baixas concentrações; (b) Todas as concentrações.

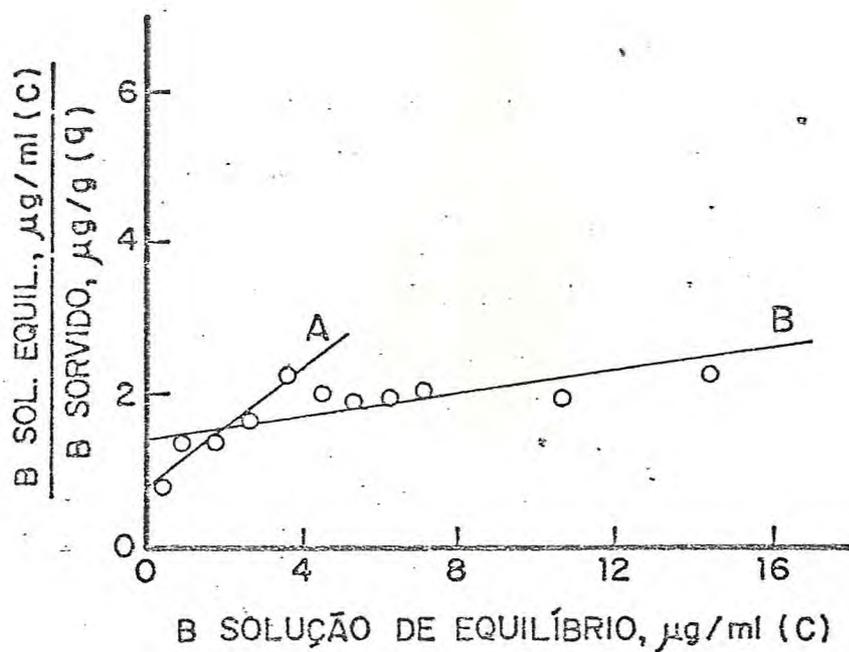


FIGURA 5 - Isotherma de Sorção de Langmuir para Sorção de Boro no Solo Aluvial Eutrófico (Ae - 3). (a) Baixas concentrações; (b) Todas as concentrações.

TABELA 11 - Equação de regressão do B nas soluções de equilíbrio (C.  $\mu\text{g/ml}$ ) versus relação de B em equilíbrio para o B sorvido (C/q), sorção máxima (b), energia de retenção (K) e coeficiente de regressão, para solos equilibrados em soluções de concentração variando de 0-16ppm de B a pH 5.0 e 6.5.

Concentrações	Equação de Regressão	b	K	r
	Podzólico Verm. Amar. Eq. Eut., Pe-1.			
todas	$Y = 2,858 + 0,576x$	1,74	0,2015	0,923
baixas	$Y = 1,074 + 1,401x$	0,71	1,304	0,994
	Aluvial Eutrófico, Ae-3			
todas	$Y = 1,3876 + 0,0762x$	13,12	0,0549	0,7263
baixas	$Y = 0,7744 + 0,3946x$	2,53	0,5095	0,9430

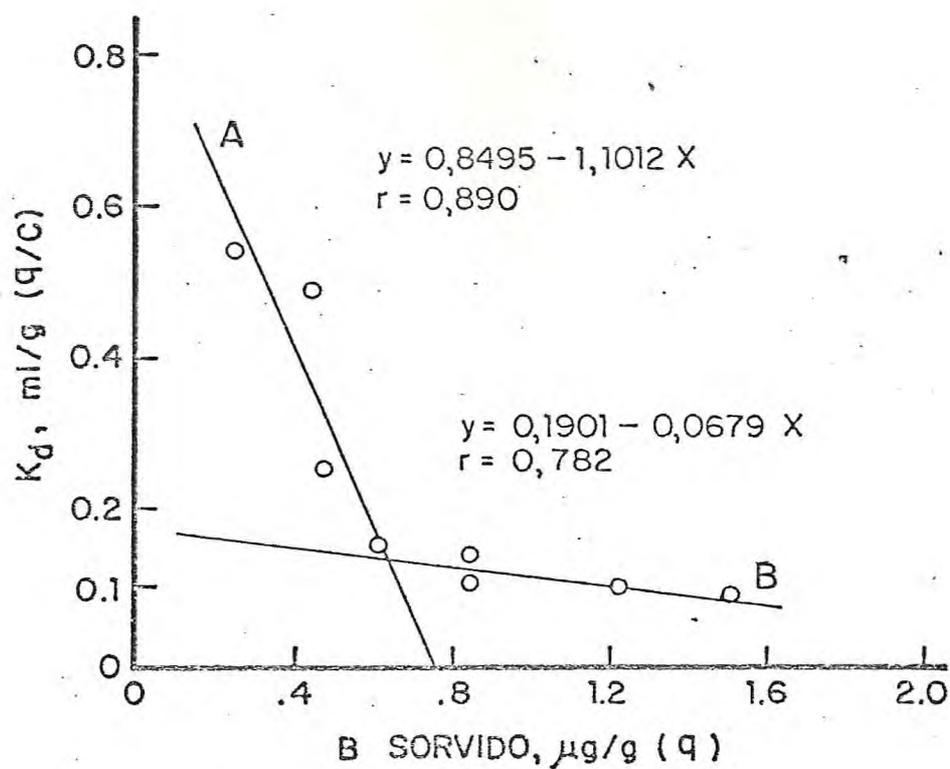


FIGURA 6 - Coeficiente de Distribuição versus Quantidade de Boro Sorvido para o Solo Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico (Pe - 1). (a) Baixas concentrações; (b) Altas concentrações.

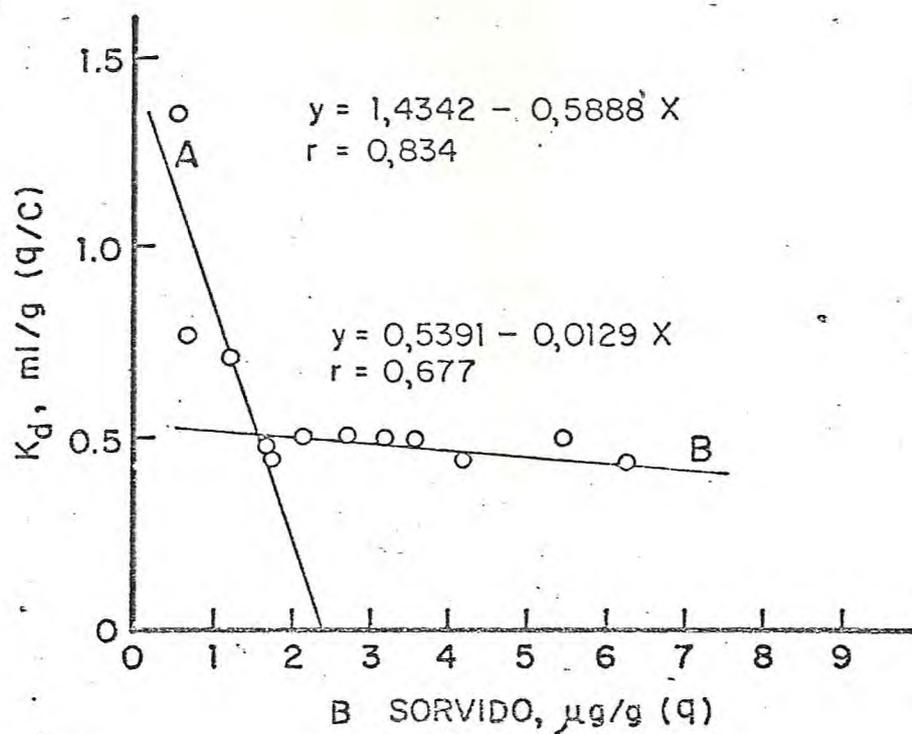


FIGURA 7 - Coeficiente de Distribuição versus Quantidade de Boro Sorvido para o Solo Aluvial Eutrófico (Ae - 3).  
 (a) Baixas concentrações; (b) Altas concentrações.

TABELA 12 - Valores dos parâmetros de ajuste e constantes da Isoterma de Langmuir de duas fases, para a sorção de boro nos dois solos estudados.

Parâmetros	Podzólico Verm. Amar. Eq. Eutrófico	Aluvial Eutrófico
Parâmetros de Ajuste		
$\alpha_0$	0.8493	1.4323
$\alpha_1$	-0.9353	-0.8433
$\beta_0$	2.7997	41.7907
$\beta_1$	-41.2326	-3239.5891
Constantes da Isoterma		
$K_1$	1.2766	0.9284
$K_2$	0.0547	0.0126
$b_1$	0.5697	0.9776
$b_2$	2.2300	40.8131

$B_0$  = Sorção máxima

também mostraram que ambos os solos possuem características diferentes de sorção, sendo o solo Aluvial aquele que mostrou maior sorção máxima ( $\beta_0 = 41.79 \mu\text{g/g}$ ) em torno a 13 vezes superior a do solo Podzólico ( $\beta = 2.80 \mu\text{g/g}$ ).

Comparando os resultados dos modelos simples e de duas fases da isoterma de Langmuir, ambas podem dar informações complementares. Assim, a baixas concentrações a forma simples da isoterma de Langmuir, pode ser aplicada, provavelmente com melhores resultados, uma vez que, na solução dos solos também existe baixas concentrações de boro que estão em equilíbrio com a fração sólida. Quando se incluem todos os dados de concentração de boro usadas neste experimento, tudo indica que o modelo de duas fases descreve melhor a isoterma de sorção, dando informação mais consistente no que se refere a sorção máxima, a concentração além daquelas que normalmente se encontra nos solos.

As diferenças de sorção entre os dois solos estudados podem ser atribuídas, também, a diferença em suas características físico-químicas e mineralógicas. O solo Aluvial, que apresentou as maiores sorções, possui também maior teor de matéria orgânica, % de argila - provavelmente do tipo 2:1, pela elevada Capacidade de Troca de Cátions, maior teor de Cálcio entre outras características, quando comparado com o Podzólico (Tabela 3). Características estas que influenciam na sorção do Boro, como tem sido reportado por diversos pesquisadores, PARKS e WHITE, 1952; HATCHER e BOWER, 1958; SINGH, 1964; HATCHER *et alii*, 1967; SING e BINGHAM, 1968a, 1968b, ELRASHIDI e O'CONNOR, 1982, entre outros.

## 5 - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

Constatou-se que os solos estudados possuem baixos teores de Boro total e disponível.

Os solos da Zona Fisiográfica do Sertão Centro Norte foram aqueles que apresentaram os menores teores de Boro total e disponível, atribuindo-se a diferença dos materiais de origem destes solos em relação aos de outras zonas fisiograficas.

Verificou-se uma correlação positiva e estatisticamente significativa entre o boro disponível e o conteúdo de matéria orgânica e de argila no solo, características estas responsáveis pela distribuição do boro disponível através do perfil. Não foi observada correlações com as outras propriedades.

Dos solos estudados, todos aqueles cultivados mostraram menor teor de Boro total na camada superficial (0-20cm) contrariamente aos solos não cultivados ou usados extensivamente.

O teor de Boro disponível foi maior nas camadas superficiais (0-20cm) com tendência a diminuir com a profundidade.

A sorção de boro foi influenciada pelo pH da solução de equilíbrio, ocorrendo as menores sorções entre pH 5 e 7, abaixo ou acima da qual, verifica-se aumentos consideráveis.

A sorção de boro pelos solos estudados foi descrita pela equação simples de Langmuir somente a baixas concentrações ( $< 4 \mu\text{gB/ml}$ ), enquanto que, com todas as concentrações consideradas (0-16  $\mu\text{gB/ml}$ ) a equação de duas fases mostrou-se aplicável, dando ambas, informações complementares.

No estudo de sorção o solo Aluvial Eutrófico, a baixas e altas concentrações apresentou maior sorção de boro (2,53 e 41,79  $\mu\text{g/g}$ , respectivamente) que o Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico (0,71 e 2,80  $\mu\text{g/g}$ , respectivamente).

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERGER, K.C. & TRUOG, E. Boron deficiencies as revealed by plant and soil tests. Agronomy Journ. 32(1):297-30. 1940.
- \_\_\_\_\_. Boron Availability in relation to soil reaction and organic matter content. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 10:113-16. 1945.
- BERGER, K.C. Boron in soils and crops. Advances in Agronomy (1):321-348. 1949.
- BEAR, F.E. Trace-Element Resources. Soils in relation to crop growth. Cap. 23:237-9. Chapman Mall., London. 1965.
- BINGHAM, F.T.; PAGE, A.L.; COLEMAN, N.T. & FLACH, K. Boron adsorption characteristics of Selected amorphous soils from Mexico and Hawaii. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35(4): 546-50. 1971.
- BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Levantamento do teor de boro em alguns solos do Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ, Tese de Livre Docente, 1965.
- CASTELLAN, G.W. Fisicoquímica. Fondo Educativo Interamericano. São Paulo. 1974. p. 428-9.
- COELHO, M.A. Características de umidade de alguns solos de aluvião: Normais Sódicos e Sódico-salinos. Rio de Janeiro. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1971. (Tese de Mestrado).
- ELRASHIDI, M.A. & O'CONNOR, G.A. Boron sorption and desorption in soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 46:27-31. 1982.
- EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Rio de Janeiro, 1979.

- FASSBENDER, H.W. Química de Suelos con énfasis em suelos de América Latina. Turrialba. Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas de La OEA, 1975 p.363-7.
- FOX, R.H. The effect of calcium and pH on boron uptake from high concentrations of boron by cotton and alfafa. Soil Sciences. 106(6):435-9. 1968.
- GRIFFIN, R.A. & BURAU, R.G. Kinetic and equilibrium studies of boron desorption from soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38:892-7. 1974.
- GUPTA, U.C. Relationship of total and B<sub>hws</sub>, and fixation of added boron to properties of Podzol soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32:45-7. 1968.
- GUPTA, U.C. & MACLEOD, J.A. Plant and soil boron as influenced by soil pH and calcium sources on Podzol soils. Soil Science (131):1. 1980.
- HATCHER, J.T. & BOWER, C.A. Equilibria and dynamics of boron adsorption by soils. Soil Sci. 85(6):319-323. 1958.
- HATCHER, J.T. BOWER, C.A. & CLARK, M. Adsorption of boron by soils as influenced by hidroxyl aluminum and surface area. Soil Sci., 104(6):422-6. 1967.
- HOGDSON, J.F. Chemistry of the micronutrient elements in soils. Advances in Agronomy, 15:119-159. 1963.
- HOLDFORD, I.C.R. Soil adsorption phenomena and the Langmuir equation. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42:986-7. 1978.
- HOLDFORD, I.C.R.; WEDDEPBURN, R.W.M. & MATTINELY, G.E.G. A Langmuir two-surface equation as a model for phosphate adsorption by soils. J. Soil Sci. 25:242-255. 1974.
- HOROWITZ, A. & DANTAS, H.S. Boro disponível nos solos da Zona Litoral - Mata de Pernambuco. Pesq. Agrop. Bras. Série Agron. 8(7):463-8. 1973.
- JACKSON, M.L. Análisis químico de suelos. Omega, Barcelona. 1965.

- JACOMINE, P.K.T.; ALMEIDA, J.C. & MEDEIROS, L.A.R. Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará. Recife, 1973. p.1-301. (Bol. Tec. 28. Série Pedologia 16).
- KUBOTA, J.; BERGER, K.C. & TRUOG, E. Boron movement in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 13:130-4. 1948.
- LIMA, F.A.M. Levantamento detalhado e interpretativo de uso dos solos da Fazenda Panan. Caucaia. In: Relatório de Pesquisas (Solos). Centro de Ciências Agrárias. Fortaleza 1980.
- MALAVOLTA, E. Elementos de Nutrição Mineral de Plantas. Ceres, São Paulo. 1980.
- \_\_\_\_\_. Manual de Química Agrícola - Adubos e Adubação. Ceres. São Paulo. 1967.
- MEHTA, K.K. & PALIWAL, K.V. Effect of NaCl concentration on boron adsorption by three soils of Rajasthan. Ann. Arid. Zone Arid. Zone Res. Assoc. India, 16(1):165-8. 1977.
- MOTA, F.O.B. Classificação dos Solos da Fazenda Experimental do Vale do Curu - Parte Alta. Cien. Agron. 10(1):53-5. Fortaleza. 1980.
- OKAZAKI, E. & CHAO, T.T. Boron adsorption and desorption by some Hawaiian soils. Soil Sci. 106(4):225-9. 1967.
- PAGE, N.R. & PADEN, W.R. Boron supplying power of several South Carolina soils. Soil Sci. 77(6):427-434. 1954.
- PARKER, D.R. & GARDER, E.H. Factors affecting the mobility and plant availability of boron in some western Oregon soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 46:573-78. 1982.
- PARKS, W.L. & WHITE, J.L. Boron retention by clay and humus systems saturated with various cations. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 16:298-300. 1952.
- PONS MUZZO, G. Fisicoquímica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, 1973 p.473-481.

- REEVE, R.C.; PILLISBURY, A.F. E WILCOX, L.V. Reclamation of a saline and high boron soil in the Coachella Valley of California. Hilgardia, 24(4):69-91. 1955.
- RHOADES, J.D.; INGVALSON, R.D. & HATCHER, J.T. Adsorption of boron by ferromagnesium minerals and magnesium hidroxide. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34(6):938-941. 1970.
- RIBEIRO, A.C. & BRAGA, J.M. Adsorção de boro pelo solo. Experientiae. 17(12). 1974.
- RICHARDS, L.A. Diagnóstico y Rehabilitacion de Suelos Salines y Sódicos. Limusa, México. 1974.
- SILVA, A.A.; ALVIM, A.J.S. & SANTOS, M.J. Métodos de Análise desolos, plantas e águas. Pedologia 10(3):199-200. Oeiras, Estação Agronomica Nacional, 1975.
- SING, M. Equilibrium adsorption of boron in soils and clays. Geoderma. 5:209-217. 1971.
- SINGH, S.S. Boron adsorption equilibrium in soil. Soil Sci. 98(6):383-7. 1964.
- SPOSITO, G. On the use of the Langmuir equation in the interpretation of "adsorption" phenomena: II. The "two-surface" Langmuir equation. Soil Sci. Soc. Amer. J. 46:1147-1152. 1982.
- SIMS, J.R. & BINGHAM, I.T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials: I - Layer silicates. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 31(6):728-32. 1967.
- \_\_\_\_\_. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials: II - Sesquioxides. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32(3):364-9. 1968a.
- \_\_\_\_\_. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials: III - Iron and aluminum-coated layer silicates and soil materials. Soil Sci. Amer. Proc. 32(3):369-73. 1968b.

- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Manual de Métodos de Trabalho de Campo. Campinas. São Paulo. 1976. 36p.
- SUDEC. Levantamento de Reconhecimento Semi-detalhado dos Solos da Região Natural da Ibiapaba. Superintendência de Desenvolvimento do Estado do Ceará. Fortaleza, 1978. 333p.
- TERMAN, G.L. & BROWN, B.A. Crop Response to Boronated Fused Tricalcium Phosphates, Soil Sci. 86(1):47-53. 1958.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, SOIL CONSERVATION SERVICE. Soil Survey Laboratory methods and procedures for collecting soil samples. Soil Survey Investigations Report. 1. Washington, D.C. 1967.
- VETTORI, L. Métodos de Análises de Solos. Rio de Janeiro. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Ministério da Agricultura. 1969. 24p. (Bol. Téc. 7).
- VEITH, J.A. & SPOSITO, G. On the use of the Langmuir equation in the interpretation of "adsorption" phenomena. Soil Sci. Soc. Amer. J. 41:697-702. 1977.
- WINSOR, H.W. Variations in soil boron with cultivation and season. Soil Sci. 74(5):359-364. 1952.
- WEAR, J.I. & PATTERSON, R.M. Effect of soil pH and texture on the soil availability of Water-soluble boron in the soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26(4):344-6. 1962.
- WEAR, J.I. Boron. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis. part. 2. Chemical and microbiological properties. Am. Soc. of Agronomy, Madison, 1965.