

# O BORO EM SOLOS DO MUNICÍPIO DE PIRACICABA

JOSÉ CARLOS CASAGRANDE  
EMBRAPA

**Orientador:** Moacyr de Oliveira Camponez do Brasil Sobrinho

Dissertação apresentada à Escola Superior de  
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universi-  
dade de São Paulo, para obtenção do título de  
Mestre em Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Junho, 1978

A meus pais

e esposa

DEDICO e OFEREÇO

## A G R A D E C I M E N T O S

- A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" por ter tornado possível a realização deste curso.
- A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária pela oportunidade oferecida.
- Ao Prof. Dr. Moacyr de Oliveira Camponez do Brasil Sobrinho pela orientação deste trabalho.
- A Engenheira Agrônoma Clarice Garcia Borges Demétrio pela valiosa ajuda nas análises estatísticas.
- Ao Prof. Dr. Toshiaki Kinjo pelas facilidades oferecidas ao uso do laboratório.
- Ao Prof. Dr. José Luiz Ioriati Demattê pela colaboração na localização e caracterização dos solos estudados.
- Ao Engenheiro Agrônomo Antonio Lourenço Guidoni pela colaboração nas análises estatísticas.
- Ao Prof. Dr. Zilmar Ziller Marcos pela versão do resumo ao ingles.

Aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## Í N D I C E

	Página
1 - RESUMO.....	1
2 - INTRODUÇÃO.....	4
3 - REVISÃO DE LITERATURA.....	7
3.1 - Boro em rochas e minerais.....	7
3.2 - Distribuição de boro no solo.....	10
3.2.1 - Boro total.....	10
3.2.2 - Boro solúvel em ácido fosfórico 85%.	13
3.2.3 - Boro solúvel em água em ebulição....	13
3.3 - Fatores que afetam a disponibilidade de bo ro no solo.....	16
3.3.1 - pH.....	16
3.3.2 - Matéria orgânica.....	20
3.3.3 - Textura e lixiviação.....	22
3.3.4 - Compostos de ferro e alumínio.....	25
4 - MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1 - Solos.....	27
4.1.1 - Série Quebra Dente.....	28
4.1.2 - Série Paredão Vermelho.....	28
4.1.3 - Série Lajeado.....	29
4.1.4 - Série Iracema.....	32
4.1.5 - Série Monte Olimpo.....	32
4.2 - Amostragem e preparo do solo.....	33
4.3 - Determinação química de boro no solo.....	34



	Página
4.3.1 - Determinação de boro total: Método da curcumina (DIBLE <i>et alii</i> , 1954).....	34
4.3.2 - Determinação de boro solú- vel em H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 85% Método da curcumina (BAKER, 1971).....	36
4.3.3 - Determinação de boro solú- vel em água: Método da cur- cumina (DIBLE <i>et alii</i> , 1954 e DEL RID e BORNEMISZA, 1962).....	37
4.4 - Determinação de óxido de ferro.....	38
4.5 - Outras análises.....	38
4.5.1 - Análises químicas.....	38
4.5.2 - Análises físicas.....	38
4.6 - Determinação de boro no solo pelo método biológico do girassol ( <i>He- lianthus annuus</i> , L.).....	38
4.6.1 - Preparo do solo.....	39
4.6.2 - Recipientes.....	39
4.6.3 - Variedade de girassol usada.....	40
4.6.4 - Técnica experimental.....	40
4.6.5 - Coleção de padrões.....	42
4.6.6 - Medidas utilizadas.....	43
4.6.6.1 - Valor-idade (COLWELL, 1943)...	43
4.6.6.2 - Altura.....	44
4.6.6.3 - Matéria seca.....	44

	Página
4.7 - Desenvolvimento do ensaio.....	44
4.8 - Análise estatística.....	45
4.8.1 - Teste biológico do girassol.....	45
4.8.2 - Distribuição de boro no perfil.....	45
4.8.2.1 - Teste de Friedman.....	45
4.8.2.2 - Comparações múltiplas.....	48
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
5.1 - Boro total.....	50
5.1.1 - Influência do material de origem e da pedogênese na distribuição do boro nas séries de solos.....	50
5.1.2 - Distribuição de boro no solo.....	52
5.2 - Boro solúvel em ácido fosfórico 85%.....	61
5.3 - Boro solúvel em água em ebulição.....	66
5.4 - Boro disponível pelo método bioló- gico do girassol ( <i>Helianthus annuus</i> , L.)....	73
5.4.1 - Valor-idade.....	73
5.4.2 - Altura.....	77
5.4.2.1 - Sem adição de boro.....	77
5.4.2.2 - Doses crescentes de boro.....	86
5.4.3 - Matéria seca.....	91
5.4.3.1 - Sem adição de boro.....	91
5.4.3.2 - Doses crescentes de boro.....	98

	Página
5.5 - Correlações estudadas.....	103
X 5.5.1 - Boro total e boro solúvel em água e teor de argila.....	103
5.5.2 - Boro solúvel em água e pH.....	103
5.5.3 - Boro solúvel em água e matéria orgânica.....	104
5.5.4 - Boro solúvel em água e % $Fe_2O_3$ livre.....	105
5.5.5 - Boro solúvel em água e altura do girassol.....	106
5.5.6 - Boro solúvel em água e matéria seca.....	107
6 - CONCLUSÕES.....	108
7 - SUMMARY.....	110
8 - LITERATURA CITADA.....	113

## LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 - Análises químicas dos solos estudados.....	30
TABELA 2 - Análises mecânicas dos solos estudados.....	31
TABELA 3 - Quantidades de boro adicionadas à coleção de padrões.....	42
TABELA 4 - Teores de boro total, solúvel em ácido fosfórico 85% e solúvel em água quente e porcentagem de boro solúvel em ácido fosfórico e em água em relação ao teor de boro total.....	55
TABELA 5 - Classificação dos teores de boro total dos solos estudados, para a aplicação do teste de Friedman.....	58
TABELA 6 - Classificação dos teores de boro solúvel em ácido fosfórico dos solos estudados, para a aplicação do teste de Friedman.....	65
TABELA 7 - Classificação dos teores de boro solúvel em água dos solos estudados, para a aplicação do teste de Friedman.....	69
TABELA 8 - Resultados obtidos para o teste de Friedman quando $n = 3$ e $K = 4$ .....	60

	Página
TABELA 9 - Resultados obtidos para o teste de Friedman quando $n = 3$ e $K = 6$ .....	60
TABELA 10 - Dados referentes ao valor-idade, altura e matéria seca, obtidas através da coleção de padrões, submetidas a doses crescentes de boro.....	74
TABELA 11 - Dados referentes ao valor-idade, altura e matéria seca, obtidos a partir dos diversos horizontes de cada perfil, sem adição de boro.....	75
TABELA 12 - Classificação das séries de solos em função do valor-idade médio.....	77
TABELA 13 - Análise de variância das alturas médias obtidas nos horizontes de cada solo, sem adição de boro.....	82
TABELA 14 - Alturas médias (cm) obtidas a partir dos horizontes dos diversos solos, sem adição de boro, aos 54 dias de idade. Comparações entre horizontes.....	84
TABELA 15 - Alturas médias (cm) obtidas a partir dos horizontes dos diversos solos, sem adição de boro, aos 54 dias de idade. Comparações entre solos.....	85

TABELA 16 - Classificação das séries de solos em função da altura média dos dois horizontes superficiais.....	86
TABELA 17 - Alturas (cm) de girassol aos 54 dias, em horizontes superficiais ( $A_1$ ) de séries de solos do Município de Piracicaba e em areia lavada, submetidos a doses crescentes de boro.....	87
TABELA 18 - Análise de variância das alturas médias dos horizontes superficiais ( $A_1$ ), submetidos a doses crescentes de boro.....	89
TABELA 19 - Equações de regressões quadráticas e coeficientes de determinação ( $R^2$ ), relacionando doses crescentes de boro com a altura atingida pelo girassol nos horizontes superficiais ( $A_1$ ) dos diferentes solos e areia, onde $y$ = altura atingida pelo girassol e $x$ = doses de boro.....	90
TABELA 20 - Altura atingida pelo girassol (cm), calculada a partir das equações de regressão da tabela 19.....	90
TABELA 21 - Análise de variância das produções médias de matéria seca obtidas nos horizontes de cada solo, sem adição de boro.....	93

TABELA 22 - Produções médias de matéria seca (g) obtidas a partir dos horizontes dos diversos solos, sem adição de boro, aos 54 dias de idade. Comparações entre horizontes.....	94
TABELA 23 - Produções médias de matéria seca (g) obtidas a partir dos horizontes dos diversos solos, sem adição de boro, aos 54 dias de idade. Comparações entre solos .....	95
TABELA 24 - Classificação das séries de solos em função da produção média de matéria seca dos dois horizontes superficiais .....	97
TABELA 25 - Peso de matéria seca (g) de girasol aos 54 dias, em horizontes superficiais ( $A_1$ ) de séries de solos do Município de Piracicaba e em areia lavada, submetidos a doses crescentes de boro .....	99
TABELA 26 -Análise de variância das produções médias de matéria seca dos horizontes superficiais ( $A_1$ ), submetidos a doses crescentes de boro .....	100

TABELA 27 - Equações de regressões quadráticas e coeficientes de determinação ( $R^2$ ), relacionando doses crescentes de boro com a produção de matéria seca atingida pelo girassol nos horizontes superficiais ( $A_1$ ) dos diferentes solos e areia, onde $y$ = matéria seca produzida e $x$ = doses de boro.....	102
TABELA 28 - Matéria seca (g) produzida pelo girassol, calculada a partir das equações de regressão da tabela 27.....	102



## LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - Distribuição de boro total nos perfis das cinco séries de solos estudadas.....	54
FIGURA 2 - Distribuição de boro solúvel em ácido fosfórico nos perfis das cinco séries de solos estudadas.....	62
FIGURA 3 - Distribuição de boro solúvel em água nos perfis das cinco séries de solos estudadas.....	67
FIGURA 4 - Desenvolvimento em altura do girassol nos horizontes superficiais ( $A_1$ ) das cinco séries de solos estudadas.....	79
FIGURA 5 - Desenvolvimento do girassol em altura nos horizontes dos perfis das séries de solos estudadas.....	81

## 1 - RESUMO

Foram feitas determinações de boro total, solúvel em ácido fosfórico 85% e solúvel em água em ebulição, além do teste biológico do girassol (*Helianthus annuus*, L) em casa de vegetação, nos vários horizontes dos perfis de cinco séries de solos do Município de Piracicaba: Paredão Vermelho, Quebra Dente, Lajeadozinho, Iracema e Monte Olimpo.

As determinações químicas de boro, total, solúvel em ácido fosfórico e em água, foram realizadas de acordo com o método da curcumina.

Montou-se o ensaio biológico do girassol em casa de vegetação com 3 repetições para cada horizonte, num total de 19, dos 5 solos estudados. Todos os horizontes receberam solução nutritiva completa de macro e micronutrientes, sendo o boro aplicado em doses crescentes: 0,0 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5 e 1,0 ppm. Paralelamente instalou-se coleções de pa-

drões em sílica 2 mm, as quais receberam os mesmos tratamentos dados às amostras de solos. O ensaio teve a duração de 54 dias e durante esse período fez-se observações sobre o aparecimento e evolução dos sintomas de deficiência de boro apresentados pelas plantas de girassol, com a finalidade de se estabelecer o valor-idade para cada horizonte estudado, além das determinações de altura durante várias fases de seu ciclo e também matéria seca, no final do ensaio.

Foram estabelecidas correlações entre as diversas formas de boro determinadas com propriedades e características dos solos, além da altura e produção de matéria seca do girassol.

Com exceção da série Iracema, a distribuição de boro total não variou ao longo do perfil, sendo o solo Paredão Vermelho aquele que apresentou os teores mais baixos.

As séries Iracema e Paredão Vermelho apresentaram, respectivamente, aumento e diminuição de boro solúvel em ácido fosfórico ao longo do perfil, sendo o solo Monte Olimpo o mais bem suprido.

Quanto ao boro solúvel em água, houve aumento no teor em relação à profundidade na série Paredão Vermelho e diminuição na série Iracema e Monte Olimpo, sendo o solo Paredão Vermelho o que apresentou valores mais baixos.

As classes obtidas através do valor-idade e da altura do girassol melhor refletiram as faixas de teores de boro solúvel em água presentes nos solos.

Houve correlações entre boro total e argila; entre boro solúvel em água com argila, matéria orgânica,  $Fe_2O_3$  e com alturas do girassol e produção de matéria seca. Não se verificou correlação de boro solúvel em água com pH do solo, e nem de boro solúvel em ácido fosfórico com as propriedades e características mencionadas.

## 2 - INTRODUÇÃO

Embora o boro já tenha sido utilizado como fertilizante há 400 anos atrás, somente em 1915 foi sugerido como sendo essencial às plantas, sugestão esta feita por Mazé como resultado de seu trabalho com milho em solução nutritiva. No entanto, foi Warington, em 1923, quem forneceu a primeira prova conclusiva de que o B era um elemento essencial (RUSSEL, 1957).

Embora a essencialidade do B tenha sido provada há mais de meio século, ainda não é bem conhecido o seu exato papel no metabolismo vegetal, não tendo sido mostrado, até o presente, um sistema enzimático no qual ele participe (JAKSON e CHAPMAN, 1975), o que o leva a satisfazer apenas o critério indireto de essencialidade aos vegetais.

Dada a importância do B, a literatura mundial é bastante extensa, relatando um sem número de trabalhos, principalmente sob o ponto de vista de suas relações com as plantas. Em nosso país pesquisas sobre B são escassas, não são em relação às plantas como também em relação aos solos. Maiores estudos são necessários, haja visto que, segundo MALAVOLTA (1976,p.112), já foram constatadas deficiências de B em onze Estados brasileiros para diversas culturas de real interesse econômico: cana-de-açúcar, cafeeiro, hortaliças, pinus, algodoeiro, batatinha, laranja e videira.

Estudos desenvolvidos por BRASIL SOBRINHO (1965) revelaram a existência de solos pobres em B, pertencentes a grandes grupos de solos do Estado de São Paulo e a séries de solos do Município de Piracicaba, evidenciando ainda mais a necessidade, não só de se estimar o potencial do solo em B, mas também o estabelecimento de níveis críticos, através de ensaios em casa de vegetação e ensaios de campo.

As sêries de solos estudados foram diferentes daquelas já pesquisadas por BRASIL SOBRINHO (1965), além de envolver o estudo de um novo extrator e a tentativa de associação da distribuição de B nos diversos perfis com os processos pedogenéticos a que estiveram submetidos.

O presente trabalho teve por objetivo determinar a distribuição do B total e de outras tres formas solúveis (solúvel em água em ebulição, solúvel em  $H_3PO_4$  85% e extraído pelo método biológico do girassol) nos perfis das sêries de solos estudadas do Município de Piracicaba; correlação dos teores de B obtidos por esses métodos com propriedades e características dos referidos solos, ou seja, pH, matéria orgânica, textura, material de origem e processos de gênese, além da altura e matéria seca do girassol, obtidas através do ensaio biológico em casa de vegetação.

### 3 - REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 - Boro em rochas e minerais

Segundo PARKS e SHAW (1941) muitos autores consideram a turmalina um silicato básico complexo com proporções variáveis de Al e B como sendo a principal fonte de B nos solos minerais. MORTVEDT e CUNNINGHAM (1971) também afirmam ser a turmalina o principal mineral contendo B encontrado no solo.

Embora o B seja componente de cerca de 56 minerais, nas regiões úmidas apenas a turmalina é o mineral comumente encontrado contendo B. A turmalina é um borossilicato com quantidades variáveis de Fe, Al, Mg, Mn, Ca, Li, Na e K, tendo ge-



almente a fórmula  $M_{20}B_2Si_4O_{21}$ , na qual M representa os vários cátions relacionados (BERGER, 1949).

GRAHAM (1957) estudando a liberação de B por vários minerais verificou que aquele contido na turmalina é indisponível às plantas, devido à extrema estabilidade do mineral.

A turmalina, (RANKAMA e SAHAMA, 1968, p 487), com 9 a 11,5%  $B_2O_3$ , é o mais importante e o mais abundante mineral contendo B. Rochas básicas não contêm turmalina, mas está presente nos granitos, representando o último produto do principal estágio de cristalização, sendo as turmalinas pretas, ricas em ferro, os tipos mais comuns.

Após realizar 836 determinações de B em diferentes grupos de minerais, verificou que o teor médio de B em rochas intrusivas era de 9,5 ppm e nas extrusivas 17 ppm, enquanto que a média para vários tipos de sedimentos era 85 ppm, estando o B concentrado em minerais micáceos (Harder, 1959, citado por BRADFORD, 1966).

Segundo HODGSON (1963) o teor de B em rochas ígneas é caracteristicamente baixo e uniformemente distribuído, sendo que as rochas ígneas mais ácidas têm concentrações levemente superiores de B. Esse elemento, que permanece relativamente constante nas rochas ígneas, na faixa de 5 a 10 ppm, varia de menos de 3 a mais de 300 ppm em sedimentos. Hodgson, relatando dados de outros pesquisadores, apresenta os seguintes teores de B (em ppm): crosta terrestre - 10 para Goldschmidt (1954) e 3 pa

ra Mason (1960); rochas básicas - 10, rochas ácidas - 15, sedimentares - 12 e solos - 10, segundo Vinogradov (1959) ; Swaine (1955) também encontrou 10 para solos. KRAUSKOPF (1972) citando vários autores, dá o teor de B encontrado em diversos materiais: crosta terrestre (10 ppm), granito (15 ppm), basalto (5 ppm), calcário (20 ppm), arenito (35 ppm), argilito (100 ppm) e solo (7 a 80 ppm). NORRISH (1975) apresenta os seguintes teores: crosta terrestre (3 ppm), rochas ácidas (3 ppm), rochas básicas (1-2 ppm), rochas sedimentares (100 ppm) e solos (10-20 ppm).

Segundo REISENAUER *et alii* (1973), em solos com altos teores de B de regiões alcalinas, o B adsorvido constitui o reservatório lábil, a partir do qual a concentração de boratos na solução do solo é mantida, enquanto que, em solos ácidos e com baixos teores de matéria orgânica, o principal reservatório do elemento são os minerais contendo B, os quais são vagarosamente intemperizados.

De acordo com ZYRIN e ZBORISHCHUK (1975) o B, como componente mineral de rochas sedimentares e solos, está associado principalmente com turmalina, aluminossilicatos e minerais de argila.

### 3.2 - Distribuição de boro no solo

#### 3.2.1 - Boro total

Segundo JACKSON (1965), citando Jackson (1958), o teor de B total no solo varia de 4 a 98 ppm, tendo em média cerca de 30 ppm, sendo que, solos arenosos podem ter valores tão baixos quanto 2 a 6 ppm.

De acordo com WEAR (1965) e BERGER e TRUOG (1940) devido à extrema insolubilidade de compostos nativos contendo B, o teor total desse elemento no solo é de baixo valor como índice de disponibilidade às plantas. Para BERGER e TRUOG menos que 5% do B total está na forma disponível. Por outro lado, segundo GUPTA (1968), geralmente as quantidades totais de micronutrientes não estão relacionadas às formas disponíveis do mesmo, entretanto, a significativa correlação estabelecida entre B total e B solúvel em água sugere que o B total do solo pode ser usado em alguma extensão como um índice de disponibilidade.

BRASIL SOBRINHO (1965) trabalhando com solos pertencentes a grandes grupos do Estado de São Paulo e a séries de solos do Município de Piracicaba, verificou que o teor de B variou de um solo para outro e mesmo nos diversos horizontes de um mesmo perfil. Os valores obtidos foram: horizontes  $A_p$  ou  $A_1$  - 19 a 150 ppm, horizontes B (excluindo suas subdivisões) 11,5 a 135 ppm e horizontes C - 18,7 a 114 ppm.

Segundo MITCHELL (1965) a uniformidade de distribuição de elementos traços no solo depende da uniformidade do material de origem. Quando o perfil é desenvolvido "*in situ*", seja sobre uma rocha ígnea ou sedimentar com poucas variações de minerais, tal como arenito, uma considerável uniformidade pode ser esperada.

Durante a diferenciação do perfil do solo pode-se dar:

- a) - enriquecimento superficial de elementos traços, sendo especialmente evidentes em solos com horizontes superficiais ricos em matéria orgânica;
- b) - lixiviação de elementos móveis, como o B, sendo transportados para fora do perfil ou para zona de acúmulo, com particular importância para solos tropicais de regiões úmidas;
- c) - translocação de elementos traços ligados a Fe e Al e;
- d) - translocação de argila com conseqüente transporte e acúmulo de elementos traços, presentes na mesma em maiores quantidades que nas outras frações.

Segundo o mesmo autor, a translocação de elementos traços em solos podzólicos é mais acentuada quando o material de origem é arenito. Quando o material de origem é rocha argilosa ou rocha ígnea, a proporção fixada em minerais lentamente intemperizáveis pode ser tal, que a translocação não é aparente em relação ao conteúdo total do elemento presente nos vários horizontes.

OBUKHOV (1968) estudando 68 horizontes de 17 solos tropicais de zona seca, chegando até 1,5 m de profundidade, verificou que o teor de B variou entre 17 e 120 ppm, a maioria, porém, estando entre 20 e 60 ppm aproximadamente. Segundo esse autor já é bem conhecido o fato de que o conteúdo total de microelementos no solo depende de seu teor no material de origem e das condições de formação do mesmo.

Obukhov também encontrou alto coeficiente de correlação (0,90) para solos eluviais tropicais de zona seca, entre o teor de B no solo e o teor de B no material de origem intemperizado.

Quase todos os solos estudados por Obukhov apresentaram acúmulo de argila na parte média do perfil, sendo que, as curvas de distribuição dos microelementos, dentre eles o B, em grande extensão repetiu a distribuição da fração argila, sendo provável que tenha ocorrido translocação desses elementos em solução e acúmulo dos mesmos nos horizontes iluviais, onde permaneceram adsorvidos às partículas de argila.

GYU'AKHMEDOV e PEYSAKHOV (1968) estudando 4 solos russos até 1,80 m aproximadamente, verificaram que os maiores conteúdos de B total se encontravam nos primeiros 28 cm, decrescendo gradualmente em profundidade. O teor de B variou de 23,6 a 41,6 ppm. Em outros 7 solos estudados variou de 32,5 a 42,9 ppm nos primeiros 40 cm e de 24,0 a 31,3 ppm na camada de 20 a 60 cm.

### 3.2.2 - Boro solúvel em ácido fosfórico 85%

Segundo Whetstone *et alii* (1942), citados por JACKSON (1970), o B extraído do solo com  $H_3PO_4$  85% representa aquele contido nos colóides orgânicos e nas formas precipitadas, excluindo o B presente na turmalina (3,5% de B). Ácido clorídrico e ácido sulfúrico são extratores menos satisfatórios. A análise de 20 solos, apresentou em média, 17 ppm de B solúvel em ácidos, sendo que, em solos ricos em rochas apenas uma pequena fração do B total estava presente na forma solúvel em ácidos; em muitos solos de textura fina aproximadamente a metade e uma fração ainda maior em solos ricos em colóides orgânicos e minerais.

BAKER (1971) fez determinações de B solúvel em  $H_3PO_4$  85% em quatro diferentes solos minerais e um orgânico. A partir dos dados apresentados pelo autor pode-se determinar o teor de B em ppm: 2,81 ; 6,39 ; 5,63 e 14,53, para os solos minerais e 5,94 para o solo orgânico. Os resultados encontrados por BAKER sugerem que o  $H_3PO_4$  concentrado dissolve uma grande quantidade de B da fase sólida, o qual não é facilmente utilizada pelas plantas.

### 3.2.3 - Boro solúvel em água em ebulição

Segundo Haas (1944), Coleman (1945), Burkser e Dopler (1955), Yang (1960) e outros, citados por HODGSON (1963), o B solúvel em água, na quase totalidade dos casos de solos bem dre

nados, se encontra concentrado na superfície. HOBBS e BERTRAMSON (1949), JORDAN e POWERS (1946) e MULVEHILL e MACGREGOR (1955) encontraram rápido decréscimo no teor de B a partir da camada superficial do solo.

Segundo SHAWARBI (1952, p. 129), citando diversos autores, o teor de B encontrado em solos da Polônia variou de 1 a 14 ppm, enquanto em solos Russos variou de 0,11 em solos vermelhos a 0,27 ppm em solos chernozêmicos. O teor de B mostrou tendência em diminuir com o aumento da lixiviação.

Segundo BERGER e TRUOG (1940) e WEAR (1965) o teor de B solúvel em água é normalmente aceito como o melhor índice de disponibilidade de B às plantas.

PAGE e PADEN (1954) analisando 19 solos, representativos do Estado da Carolina do Sul, verificaram que os teores de B solúvel nos horizontes A e B variaram de 0,033 a 1,315 ppm.

Dos oito tipos de solos estudados por MILJKOVIC *et alii* (1966b), todos apresentaram teores de B solúvel mais elevados nas camadas superficiais.

Os teores de B solúvel em séries de solos do Município de Piracicaba e grandes grupos de solos do Estado de São Paulo, estudados por BRASIL SOBRINHO (1965), foram superiores nas camadas superficiais, diminuindo com a profundidade. Os teores encontrados nos diversos horizontes foram:  $A_p$  ou  $A_1$  - 0,06 a 0,32 ppm; B (excluindo suas subdivisões) - 0,04 a 0,29 ppm e C - traços a 0,12 ppm.

REISENAUER (1967) coletando informações de mais de uma dezena de pesquisadores dividiu grosseiramente os solos em categorias, baseadas nos teores de B solúvel em água quente:

- a) - aqueles que apresentaram teores de B insuficiente ao desenvolvimento normal das plantas, entre 0,1 e 0,7 ppm.
- b) - aqueles que apresentaram concentrações tóxicas do elemento, geralmente de 1,0 a 5,0 ppm.
- c) - aqueles que apresentaram concentrações intermediárias e permitiram o desenvolvimento normal das plantas.

Segundo OBUKHOV (1968) a análise de 119 amostras da camada arável de solos tropicais de zona seca revelou valores compreendidos entre 0,15 e 0,8 ppm de B solúvel em água.

Em 4 solos russos, estudados por GYUL'AKHMEDOV e PEYSAKHOV (1968), até 1,80 m de profundidade aproximadamente, o teor de B solúvel em água apresentou-se mais elevado nos primeiros 28 cm, decrescendo gradualmente com a profundidade, variando de 0,36 a 0,80 ppm. A porcentagem de B solúvel em água sobre o total variou de 0,4 a 2,4%. Em outros 7 solos verificaram que nos primeiros 40 cm o teor de B solúvel variou de 0,53 a 0,88 ppm e nos 20 cm abaixo variou de 0,33 a 0,56 ppm. A porcentagem de B solúvel em água em relação ao total variou de 1 a 2%.

ROBERTSON *et alii* (1975) analisando 3 solos de 15 em 15 cm, até 1,20 m de profundidade, também verificaram que o



teor de B solúvel em água decresceu em profundidade. Os teores encontrados variaram desde traços, no subsolo, até 0,54 ppm, na superfície.

Analisando 434 amostras de solos de 0 a 15 e 15 a 30 cm de profundidade, (MACLEAN e LANGILLE, 1976), verificaram que o teor de B solúvel em água na camada superficial variou de 0,04 a 1,24 ppm, com teor médio de 0,25 ppm, enquanto que, na camada de subsuperfície variou de 0,04 a 1,71 ppm, com teor médio de 0,19 ppm.

### 3.3 - Fatores que afetam a disponibilidade de boro no solo

#### 3.3.1 - pH

NAFTEL (1937), COOK e MILLAR (1939), WOLF (1939), GUPTA (1972) e GUPTA e CUTCLIFFE (1972), além de inúmeros outros pesquisadores, relatam que o teor de B solúvel no solo decresce com a elevação do pH, devido a aplicação de calcário. NAFTEL (1937) afirma que, no caso do solo ser originalmente pobre em B, a calagem excessiva causará deficiência do mesmo às plantas superiores. MIDGLEY e DUNKLEE (1939), por sua vez, observaram que o aumento da dose de aplicação de calcário no solo aumentou a fixação de boratos. Entretanto, segundo COOK e MILLAR (1939), já foi observada deficiência de B em solos ácidos e ausência de deficiência em solos alcalinos, evidenciando, nesses casos, outros fatores mais relevantes que o pH do solo. Esse fato é apoiado pela constatação de OLSON e BERGER (1946), se

gundo a qual mesmo a valores de pH 9,5 ou superiores não mais que 40% do B adicionado ou do B nativo disponível no solo foi fixado.

OLSON e BERGER (1946), BINGHAM *et alii* (1971) e SCHALSCHA *et alii* (1973), estudando diferentes tipos de solos, são concordantes quanto ao fato da adsorção de B variar relativamente pouco quando o pH varia dentro da faixa ácida, considerada, segundo SCHALSCHA *et alii* (1973) e BINGHAM *et alii* (1971), de 4,0 a 7,0 e 5,0 a 7,0 respectivamente, sendo que um aumento paralelo na adsorção foi observado na faixa alcalina, atingindo valor máximo, para BINGHAM, entre 8,0 e 9,0.

Fazendo experimentação em vasos, (WOLF, 1940), observou que a partir de pH 7,0 aproximadamente, o rabanete apresentava deficiência de B, tornando-se mais acentuada a valores de pH mais elevados. A porcentagem e a quantidade total de B na parte aérea da planta decresceu com o aumento do pH do solo.

Quando os solos são tornados alcalinos pela aplicação de hidróxido de cálcio e consequente fixação de B, este pode ser normalmente liberado pelo abaixamento do pH do solo ao seu nível original, pela adição de ácido clorídrico, indicando ser um processo químico rapidamente reversível (OLSON e BERGER, 1946).

KUBOTA *et alii* (1948) verificaram que a elevação do pH do solo para 6,5 a 7,0, através da calagem, ajudou a conservar o B contra a lixiviação e mesmo proviu condições favoráveis para sua disponibilidade às plantas.

BERGER e TRUOG (1945) verificaram que o conteúdo de B disponível no solo aumentou com o aumento do pH de 4,7 a 6,7 e decresceu na faixa de 7,1 a 8,1. Foi observado, para solos alcalinos cultivados, correlação negativa altamente significativa entre pH e teor de B disponível, mantendo-se o teor de matéria orgânica constante, indicando que o pH exerce maior influência que a matéria orgânica, sobre a disponibilidade de B, na faixa alcalina. Para solos ácidos o inverso é verdadeiro.

PAGE e PADEN (1954) e GUPTA (1968) observaram que em solos ácidos, pH 4,5 a 6,5 para GUPTA, não houve correlação significativa entre B solúvel em água e pH.

Os solos que mais comumente apresentam deficiência de B, entre outras causas são: solos naturalmente ácidos onde o teor original de B foi removido por lixiviação (Walsh e Golden, 1952, citados por OUELLETT e LACHANCE, 1954).

Estudando alguns latossolos do Havai, (OKAZAKI e CHAO, 1968), constataram que a adsorção de B aumentou com o aumento do pH do solo. Este aumento foi mais pronunciado quando usou-se  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  em lugar de  $\text{Na}(\text{OH})$ . Esta diferença persistiu em todos os níveis de pH comparados, 4,5 a 9,0 aproximadamente, sugerindo que o cálcio deve ter sido responsável por uma maior adsorção de B.

De acordo com CATANI *et alii* (1971) ao contrário do que ocorre no solo com outros ânions, a adsorção de B pelo solo cresce com a elevação do pH, conservando-se constante a concentração da solução de equilíbrio.

Segundo SCHALSCHA *et alii* (1973) em condições de pH muito baixos ( $\leq 4,0$ ) o decréscimo na adsorção foi atribuído à dissolução parcial de minerais do solo, incluindo sítios de adsorção; em condições extremamente alcalinas ( $\text{pH} \geq 10$ ) a adsorção de B seria menor devido a substituição de  $\text{OH}^-$  do  $\text{B}(\text{OH})_4^-$  ou talvez devido a dissolução de superfícies ativas, e em condições ácidas (pH 4,0 a 7,0) a adsorção de B parece ser resultado da adsorção molecular de ácido bórico,  $\text{B}(\text{OH})_3$ , sendo que, a porção dependente de pH reflete, em adição à adsorção molecular de  $\text{B}(\text{OH})_3$ , adsorção de  $\text{B}(\text{OH})_4^-$ .

À medida que o pH do solo foi elevado de 6,3 a 9,5 pela aplicação de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , a adsorção de B pelo solo aumentou devido, provavelmente, ao aparecimento de novos sítios de adsorção (SCOTT *et alii*, 1975).

PETERSON e NEWMAN (1976) verificaram que a absorção de B nativo ou adicionado ao solo, por uma gramínea (*Festuca arundinacea*), a níveis de pH de 4,7 a 6,3, não foi afetada para um determinado nível de B aplicado. Utilizando-se o mesmo solo, constataram que a absorção foi reduzida substancialmente a pH 7,4, quando comparada com a absorção na faixa de pH de 4,7 a 6,3. Os autores também observaram que 2,5 ppm de B aplicado ao solo com pH abaixo de 7,0 foi mais eficiente, quanto à absorção pela planta, que 4,45 ppm acima de pH 7,0.

### 3.3.2 - Matéria orgânica

Segundo BERGER e TRUOG (1945) solos com teores consideráveis de matéria orgânica são frequentemente altos em B disponível, enquanto solos com pouca matéria orgânica são frequentemente baixos. Analisando solos de Wisconsin com pH abaixo de 7,3 e consideráveis conteúdo de matéria orgânica, encontraram teores de B disponível adequado ao desenvolvimento das plantas; por outro lado, todos os solos com menos de 2% de matéria orgânica e também aqueles com altos teores de carbonato de cálcio mostraram-se invariavelmente baixos em B disponível.

O teor de matéria orgânica é de importância primária como fonte de B solúvel em solos não cultivados, sendo verdade principalmente para solos arenosos (PAGE e PADEN, 1954).

Ferguson e Wriht (1940), Coleman (1945) e Woodbridge (1940), citados por BERGER (1949), encontraram teor mais elevado de B na camada superficial que no subsolo; analisando os trabalhos desses autores BERGER concluiu que em regiões úmidas o B disponível está estreitamente ligado à fração orgânica do solo.

BERGER e TRUOG (1945), BERGER (1949), PAGE e PADEN (1954), BRASIL SOBRINHO (1965) e GUPTA (1968) obtiveram significativo coeficiente de correlação entre teor de matéria orgânica e teor de B disponível, enquanto que, segundo ZYRIN e ZBORISHCHUK (1975) e ROBERTSON *et alii* (1975) o conteúdo de B total e solúvel em água, na camada arável do solo, correlacionou-se apenas levemente com o conteúdo de húmus.

Segundo OLSON e BERGER (1946) a oxidação da matéria orgânica do solo resultou em significativa liberação de B na forma disponível e causou leve decréscimo na fixação de B, sugerindo que, aparentemente a fixação de B nos solos é causada, em grande parte, por um grupo de minerais cuja atividade predomina na fração argila.

MILJKOVIC *et alii* (1966a) encontrou correlação mais estreita entre B solúvel em água com matéria orgânica e pH que apenas com matéria orgânica, indicando que a influência da matéria orgânica varia com a variação do pH.

Para Wallace (1951), citado por BRADFORD (1966), os solos que mais comumente apresentam deficiência de B, entre outras causas, são aqueles que contêm baixos teores de matéria orgânica.

Grande parte do B total do solo está preso à matéria orgânica, fazendo parte de compostos originados durante o crescimento da própria planta, sendo que, essa matéria orgânica, quando decomposta pelos microrganismos, libera B para a solução do solo, onde parte é novamente absorvido pelas plantas, parte é perdido por lixiviação e uma parte relativamente menor pode ser fixada pelas argilas (BERGER e PRATT, 1963).

MITCHEL (1965) também observou que solos com altos teores de matéria orgânica são aqueles melhor supridos em B disponível, sugerindo que o mesmo é retido pela matéria orgânica em condições ácidas, evitando perdas por lixiviação, sem no entanto, torná-lo indisponível às plantas.

Segundo MARTENS (1968), das amostras de solos estudadas, pertencentes a horizontes superficiais de 16 séries de solos da Virginia, em 15 delas foi verificado que o conteúdo de B solúvel aumentou com o aumento do conteúdo de matéria orgânica.

Correlação positiva altamente significativa entre matéria orgânica e B solúvel em água quente, baseada no estudo de mais de 100 amostras de diferentes tipos de solos, confirmam o fato de que a matéria orgânica é a principal fonte de B disponível no solo (GUPTA, 1968).

HOROWITZ e DANTAS (1973) estudando 11 solos da zona Litoral - Mata de Pernambuco, verificaram que o teor de B extraído com água quente se correlacionou muito bem com o teor de matéria orgânica do solo, mostrando clara tendência de se acumular nos horizontes superficiais.

### 3.3.3 - Textura e lixiviação

Segundo EATON e WILCOX (1939) a lixiviação de B além da zona radicular, como resultado da ação de água de chuva e água de irrigação, foi mais acentuada em solos de textura leve que textura pesada.

PARKS e SHAW (1941) verificaram que sintomas de deficiência de B podem ser observados em situações onde a combinação de clima e topografia proporcionam condições favoráveis à lixiviação ou intenso intemperismo químico.

De acordo com OLSON e BERGER (1946) o teor de B disponível nos separados do solo diminui na seguinte ordem: argila, limo e areia; o trabalho desenvolvido pelos autores sugere que a maior parte do B no solo é fixado pela fração fração limo.

Segundo KUBOTA *et alii* (1948) a textura do solo, como também verificado por WILSON *et alii* (1951), parece ser de grande importância no controle da taxa de movimentação de B no solo, sendo bastante rápida principalmente em solos arenosos.

STINSON (1953) encontrou relação entre a textura e o nível crítico de B no solo para alfafa: solos arenosos = 0,3 ppm e solos argilosos = 0,5 ppm.

Solos arenosos, segundo PAGE e PADEN (1954) e OUELLET e LACHANCE (1954), são propensos a apresentarem deficiência de B; de acordo com os primeiros autores não houve correlação entre B solúvel em água e porcentagem de argila e limo + argila. Por outro lado, (OBUKHOV, 1968), encontrou coeficiente de correlação significativo entre o teor de B e o teor de argila ( $r=0,60$ ).

BIGGAR e FIREMAN (1960) e SINGH (1964) observaram que a capacidade de adsorção de B pelo solo aumentou dos solos de textura grossa para os solos de textura mais fina, sendo que, segundo BIGGAR e FIREMAN, os solos não apenas variam em sua capacidade de fixar B, mas também quanto à energia com a qual o mesmo é retido. Esses dois fatores afetam a habilidade do solo em liberar B e a manutenção do suprimento de B na solução do solo.



WEAR e PATTERSON (1962) verificaram que a textura do solo e o pH são importantes fatores na avaliação da disponibilidade de B, concluindo que o conteúdo de B solúvel em água é um bom indicador da disponibilidade à planta, desde que sejam comparados solos de textura e pH semelhantes.

Devido ao fato de solos de textura grosseira geralmente apresentarem teor de matéria orgânica menor que solos de textura fina, segundo MILJKOVIC *et alii* (1966a), a influência da textura sobre a disponibilidade de B pode ser devido à sua influência sobre a matéria orgânica.

Segundo GUPTA (1968), na quase totalidade dos casos estudados, o teor de B total e B solúvel em água quente foi menor em solos de textura grossa e maior em solos de textura mais fina. A relação B solúvel em água quente sobre B total variou de 1,05 a 2,75, com a maior porcentagem ocorrendo em solo de textura fina. De acordo com o autor, a relação observada entre B e textura do solo pode ser atribuída ao fato de que o B está presente na forma aniônica e como tal é adsorvido pelas partículas de argila. As menores quantidades de B em solos arenosos são comumente associadas com intensa lixiviação, o que poderia também explicar o menor valor da relação B solúvel sobre B total para esses solos.

De acordo com RHOADES (1970b) o excesso de B no solo pode ser removido por lixiviação, sendo que, devido ao equilíbrio existente entre B dissolvido e adsorvido no solo, o nível tóxico pode ser regenerado na ausência de lixiviação.

### 3.3.4 - Compostos de ferro e alumínio

De acordo com SIMS e BINGHAM (1967) a baixa retenção de B pela montmorilonita livre de materiais estranhos (Fe e Al) e a relativamente alta retenção pela caulinita e vermiculita onde Fe e Al não foram removidos e a necessidade de acesso entre as lâminas dos minerais de argila 2:1 para máxima retenção, sugerem que as formas de Fe e Al presentes entre as lâminas, revestindo partículas individuais ou como impurezas, foram responsáveis pela retenção de B observada.

Segundo HATCHER *et alii* (1967) o  $Al(OH)_3$  adsorve quantidades relativamente grandes de B, sendo que, o aumento da quantidade de B adsorvida por solos ácidos que receberam calagem foi altamente relacionada com a quantidade de Al trocável que precipitou como  $Al(OH)_3$ . Os autores concluíram que  $Al(OH)_3$  e compostos semelhantes são os principais constituintes do solo causando retenção de B. Estudos de correlação de adsorção de B com superfície específica e conteúdo de  $Al(OH)_3$  indicaram que a superfície revestida por  $Al(OH)_3$  é um importante fator na adsorção.

Óxidos de Fe e Al, de acordo com SIMS e BINGHAM (1968a), são os principais constituintes do solo que adsorvem B, ocorrendo diminuição na quantidade adsorvida com o envelhecimento desses compostos. Em trabalho posterior, SIMS e BINGHAM (1968b), demonstraram claramente que hidróxido de Fe e compostos de alumínio têm marcante afinidade por B, devendo esses compostos serem considerados com prioridade quando se estudar pro -

blemas de B no solo.

A literatura mais recente, segundo vários pesquisadores, indica que os tres principais sítios de adsorção de B no solo são:

- a) - hidróxido de Fe ou Al recobrando ou associado com minerais de argila;
- b) - óxido de Fe ou Al no solo e
- c) - minerais de argila tipo micáceo, embora todos os minerais de argila apresentem alguma capacidade de retenção de B (RHOADES *et alii*, 1970a).

Estudos conduzidos por BINGHAM *et alii* (1971) mostraram que na faixa de pH comum à maioria dos solos o B está presente como  $B(OH)_3$ . Este ácido é fraco ( $pK = 9,2$ ), sendo adsorvido por óxidos de Fe e Al (MALCOLM *et alii*, 1972). Ainda segundo MALCOLM, óxido hidratado de Al adsorve mais B por unidade de massa que óxido hidratado de Fe.

#### 4 - MATERIAL E MÉTODOS

##### 4.1 - Solos

Das séries de solos do Município de Piracicaba mapeadas por RANZANI *et alii* (1966) foram selecionadas 5. A escolha desses 5 solos deveu-se ao fato de se diferenciarem entre si quanto aos processos pedogenéticos que sobre eles atuaram durante suas formações.

A seguir serão dadas algumas características das séries de solos estudadas, de acordo com RANZANI *et alii* (1966), além das divisões dos horizontes e algumas análises químicas e físicas por nós executadas (tabelas 1 e 2).

#### 4.1.1 - Série Quebra Dente

Esses solos apresentam drenagem moderada com relevo ondulado, sendo submetidos ao mecanismo de podzolização, ou seja, apresentam horizontes eluviais e iluviais. Os solos desta série se desenvolvem sobre arenitos glaciais. Os horizontes do perfil examinado foram assim divididos:

Horizonte	Espessura (cm)	Amostra nº
Ap	0 a 20	1
A <sub>2</sub>	20 a 65	2
B <sub>1</sub>	65 a 85	3
B <sub>21</sub>	85 a 105	4
B <sub>22</sub>	105 a 125	5
B <sub>23</sub>	125 a 165	6

Esse solo é classificado como Pdzólico Vermelho Amarelo-variação Laras, e foi coletado no Orto-florestal do distrito de Tupi, estando o local amostrado recoberto por eucalipto.

#### 4.1.2 - Série Paredão Vermelho

O material de origem desses solos é o arenito Botucatu, resultando em solos bastante profundos. Apresentam relevo suavemente ondulado. Não possuem diferenciação de horizontes e exibem drenagem excessiva devido ao baixo teor de argila no per

fil. Os horizontes foram assim divididos:

Horizonte	Espessura (cm)	Amostra nº
A <sub>1</sub>	0 a 20	7
A/B	20 a 50	8
C <sub>1</sub>	50 a 100	9
C <sub>2</sub>	100 a 150	10

A série Paredão Vermelho é classificada como Areia Quartzosa e foi coletada na estrada Piracicaba-Paredão Vermelho. A cobertura vegetal predominante é o leiteiro.

#### 4.1.3 - Série Lajeado

Apresentam relevo ondulado e pouca profundidade, normalmente não ultrapassando os primeiros 30 cm. A drenagem é de moderada a pobre. Estes solos se desenvolvem sobre folhelhos de sedimentação plano paralela. O horizonte coletado foi:

Horizonte	Espessura (cm)	Amostra nº
A <sub>1</sub>	0 a 25	11

O solo foi coletado aproximadamente a 800 m de Sta Terezinha, na estrada Sta. Terezinha - Reta. Esse solo é um Lito sol, apresentando gramíneas como cobertura vegetal

Tabela 1. - Análises químicas dos solos estudados.

Amostra Nº	Horizontes	Profund. (cm)	pH	M.O. %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	miliequivalentes/100 g TFSA					
						PO <sub>4</sub> =	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Al <sup>+++</sup>	H <sup>+</sup>
1	A <sub>1</sub>	0 - 20	5,4	0,28	0,01	0,044	0,15	0,48	0,16	0,28	1,52
2	A <sub>2</sub>	20 - 65	5,7	0,05	0,01	0,017	0,04	0,24	0,08	0,16	0,35
3	B <sub>1</sub>	65 - 85	5,2	0,17	0,40	0,014	0,05	1,04	0,24	1,74	2,96
4	B <sub>21</sub>	85 - 105	5,1	0,11	0,48	0,014	0,10	0,67	0,13	2,24	3,28
5	B <sub>22</sub>	105 - 125	5,0	0,11	0,45	0,012	0,05	0,40	0,16	2,40	3,44
6	B <sub>23</sub>	125 - 165	5,1	0,11	0,50	0,012	0,05	0,32	0,19	2,54	3,20
7	A <sub>1</sub>	0 - 20	5,5	0,34	0,14	0,036	0,05	0,16	0,08	0,35	1,52
8	A/B	20 - 50	5,6	0,40	0,28	0,017	0,02	0,40	0,00	0,24	1,36
9	C <sub>1</sub>	50 - 100	5,8	0,11	0,31	0,031	0,02	0,40	0,00	0,19	1,44
10	C <sub>2</sub>	100 - 150	5,9	0,05	0,52	0,031	0,03	0,40	0,00	0,16	0,96
11	A <sub>1</sub>	0 - 25	5,7	2,00	1,66	0,060	0,36	3,12	0,40	0,54	5,12
12	A <sub>1</sub>	0 - 20	5,4	3,70	5,45	0,029	0,18	4,48	0,64	0,24	8,40
13	A/B	20 - 50	5,6	1,94	5,71	0,020	0,04	3,12	0,72	0,11	5,44
14	B <sub>21</sub>	50 - 90	5,6	2,05	5,72	0,022	0,04	2,64	0,56	0,16	6,64
15	B <sub>22</sub>	90 - 130	5,3	1,82	5,70	0,020	0,04	1,36	0,32	0,54	7,12
16	A <sub>1</sub>	0 - 25	6,1	1,71	2,63	0,063	0,16	2,56	1,04	0,14	4,00
17	A/B	25 - 45	5,4	0,68	0,52	0,022	0,07	1,52	0,40	0,64	3,28
18	B <sub>21</sub>	45 - 65	5,0	0,57	0,55	0,014	0,04	1,68	0,24	1,76	4,80
19	B <sub>22</sub>	65 - 105	4,8	0,40	0,14	0,014	0,03	0,80	0,24	2,65	4,90

Tabela 2. - Análises mecânicas dos solos estudados.

Amostra Nº	Horizontes	Profund. (cm)	Areia %	Limo %	Argila %
1	A <sub>1</sub>	0 - 20	83	14	3
2	A <sub>2</sub>	20 - 65	82	16	2
3	B <sub>1</sub>	65 - 85	67	16	17
4	B <sub>21</sub>	85 - 105	67	15	18
5	B <sub>22</sub>	105 - 125	67	14	19
6	B <sub>23</sub>	125 - 165	67	15	18
7	A <sub>1</sub>	0 - 20	96	1	3
8	A/B	20 - 50	89	6	5
9	C <sub>1</sub>	50 - 10	91	3	6
10	C <sub>2</sub>	100 - 150	87	6	7
11	A <sub>1</sub>	0 - 25	33	44	23
12	A <sub>1</sub>	0 - 20	20	32	48
13	A/B	20 - 50	17	23	60
14	B <sub>21</sub>	50 - 90	21	13	66
15	B <sub>22</sub>	90 - 130	22	21	57
16	A <sub>1</sub>	0 - 25	40	28	32
17	A/B	25 - 45	36	24	40
18	B <sub>21</sub>	45 - 65	25	14	61
19	B <sub>22</sub>	65 - 105	31	19	50



#### 4.1.4 - Série Iracema

Esses solos se desenvolveram a partir de derrames de efusivas, originando solos profundos e bem drenados, com relevo normal. Os horizontes são:

Horizonte	Espessura (cm)	Amostra nº
A <sub>1</sub>	0 a 20	12
A/B	20 a 50	13
B <sub>21</sub>	50 a 90	14
B <sub>22</sub>	90 a 130	15

Esse solo é classificado como Latosol Roxo, tendo sido coletado na estrada que liga os bairros de Água Santa à Sto. Antonio. A cobertura vegetal do local amostrado é eucalipto.

#### 4.1.5 - Série Monte Olimpo

Esses solos se desenvolvem a partir de sedimentos quaternários recentes, geralmente argilosos. Se encontram em depressões, estando sujeitos a inundações e assoriamente com sedimentos provenientes das bacias de contribuição. Estão submetidos à podsolização com hidromorfismo. Os horizontes foram assim divididos:

Horizonte	Espessura (cm)	Amostra nº
A <sub>1</sub>	0 a 25	16
A/B	25 a 45	17
B <sub>21</sub>	45 a 65	18
B <sub>22</sub>	65 a 105	19

Esse solo é classificado como Gley Pouco Húmico e foi coletado na estrada Piracicaba - São Paulo, variante à direita para o bairro Bela Vista, aproximadamente a 500 m do asfalto.

#### 4.2 - Amostragem e preparo do solo

As amostragens foram realizadas em trincheiras. Tomou-se aproximadamente 20 Kg de terra de cada horizonte dos perfis estudados. Acondicionou-se as amostras em sacos plásticos de lixo. Após serem trazidas ao laboratório foram secas ao ar e passadas em peneiras de nylon com malhas de abertura de 2 mm. A seguir foram homogeneizadas e novamente acondicionadas em sacos plásticos para usos posteriores.

### 4.3 - Determinação química de boro no solo

Todas as análises químicas foram desenvolvidas em triplicata.

#### 4.3.1 - Determinação de boro total: Método da curcumina (DIBLE *et alii*, 1954).

##### Extração:

Fundiu-se 0,5 g de solo com 3,0 g de carbonato de sódio anidro em cadinho de platina a 1000 °C, durante 2 horas. A pós esfriar colocou-se o cadinho em um boêmia de 250 ml (Corning 7280). De tempos em tempos adicionou-se ácido sulfúrico 4 N, até desfazer-se completamente a massa do fundo do cadinho e a solução apresentar reação dentro de faixa de pH de 6,0 a 6,8. Transferiu-se a solução para balão volumétrico (Corning 7280) de 500 ml. Lavou-se o boêmia e o cadinho diversas vezes com água destilada, recolhendo as águas de lavagem no balão volumétrico, de forma a não ultrapassar de 150 ml o volume total da solução nele contida. Em seguida adicionou-se álcool etílico a até volume próximo de 500 ml, agitando-se sempre para boa homoge neização. Com a finalidade de tornar a solução ligeiramente al calina adicionou-se carbonato de sódio, completando-se em segu ida o volume a 500 ml com álcool. A seguir a solução foi centri fugada até obter-se extrato claro. Do sobrenadante tomou-se uma alíquota de 400 ml, passando-se para cápsula de porcelana e evaporando-se até pequeno volume. Transferiu-se então o mate rial para cápsula de platina, evaporou-se a seco e queimou-se o

resíduo, o suficiente para destruir a matéria orgânica nele contida (a 450 °C durante 40 minutos). Retomou-se o resíduo com 50 ml de HCl 0,1 N, constituindo o extrato de B total.

#### Determinação:

Tomou-se 1 ml do extrato obtido em cápsula de porcelana e adicionou-se 4 ml de solução alcoólica de curcumina - ácido oxálico. Após misturar-se bem as soluções a cápsula foi levada à estufa a  $55 \pm 3$  °C, onde permaneceu até secagem, deixando-se por mais 15 minutos, a fim de que todas as amostras completassem a reação entre o boro e a curcumina. A seguir a cápsula foi esfriada e ao resíduo adicionado 25 ml de álcool etílico. A solução alcoólica foi filtrada e transferida para tubo de colorímetro, fazendo-se as leituras no fotocolorímetro. Paralelamente desenvolveu-se provas em branco de toda a marcha do processo, utilizando-se água destilada.

#### Solução padrão:

A solução padrão de boro foi assim preparada: dissolveu-se 0,286 g de ácido bórico em água destilada, completou-se o volume a 1 litro (50 microgramas / ml) e conservou-se em frasco de polietileno. Preparou-se uma série de padrões como se segue: pipetou-se 0,50 ; 1,00 ; 1,50 ; 2,00 ; 3,00 e 4,00 ml da solução estoque para balões volumétricos de 100 ml. Os volumes foram completados e transferidos para frascos de polietileno. Estas soluções continham 0,25 ; 0,50 ; 0,75 ; 1,00 ; 1,25 ; 1,50 e 2,00 microgramas de boro por mililitro. De cada solução tomou-se 1 ml.

#### 4.3.2 - Determinação de boro solúvel em $H_3PO_4$ 85%: Método da curcumina (BAKER, 1971).

##### Extração:

Transferiu-se um grama de solo para erlenmeyer isento de B (Corning 7280), utilizando-se funil que quase toca o fundo do frasco a fim de evitar que partículas fiquem aderidas em suas paredes. Adicionou-se 3 ml de  $H_3PO_4$  85% fazendo-o escorrer pela parede do frasco. A mistura solo-ácido foi colocada em estufa a  $100^{\circ}C$  durante 24 horas. A seguir, retirou-se da estufa, esfriou-se e adicionou-se 20 ml de metanol, após o que realizou-se destilação do material, recebendo-se o destilado em cápsula de sílica isenta de B, contendo 20 ml de solução saturada de  $Ca(OH)_2$ . Procedeu-se a destilação até a temperatura da solução atingir  $77^{\circ}C$ . A solução foi transferida para cápsula de sílica, seca em estufa à temperatura de 95 a  $1000^{\circ}C$ , e encinerada por 30 minutos a  $500^{\circ}C$ . O resíduo foi dissolvido em 2 ml de  $HCl$  0,8 N e diluído com 8 ml de  $H_2O$ , constituindo-se o extrato de B solúvel em ácido fosfórico.

##### Determinação:

Tomou-se 1 ml do extrato obtido e procedeu-se como já descrito em 4.2.1. Paralelamente desenvolveu-se prova em branco de toda a marcha do processo, utilizando-se água destilada.

4.3.3. - Determinação de boro solúvel em água: Método da curcumina (DIBLE *et alii*, 1954 e DEL RIO e BORNEMISZA, 1962).

#### Extração:

Tomou-se 20 g de T.F.S.A., colocou-se em erlenmeyer (Corning 7280) de 125 ml e adicionou-se 40 ml de água destilada. Ligou-se o erlenmeyer a um condensador de refluxo, fervendo-se a suspensão durante 5 minutos. Esfriou-se, transferindo-se a suspensão para tubo plástico de centrífuga de 100 ml e adicionou-se 5 gotas de  $\text{CaCl}_2$  0,1%, submetendo-se o material à centrifugação a 3.000 rpm, até o líquido sobrenadante apresentar-se transparente. Pipetou-se 20 ml da solução sobrenadante para cápsula de porcelana e juntou-se à cada cápsula 2 ml de solução saturada de  $\text{Ca(OH)}_2$  para alcalinizar o meio. Após isto, levou-se em banho maria e evaporou-se até secagem, levando-se a seguir ao forno durante 40 minutos a  $450^\circ\text{C}$ , eliminando-se assim a matéria orgânica. Após encinerar-se, a cápsula foi removida e tratada com 5 ml de HCl 0,1 N. Agitou-se o ácido com o resíduo e centrifugou-se até o sobrenadante ficar transparente. Transferiu-se o sobrenadante para frasco de vidro, constituindo o extrato de boro solúvel em água.

#### Determinação:

Tomou-se 1 ml do extrato obtido e procedeu-se como já descrito em 4.3.1. Paralelamente desenvolveu-se provas em branco de toda a marcha do processo, utilizando-se água destilada.

#### 4.4 - Determinação de óxido de ferro

A remoção do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  da amostra foi efetuada utilizando-se bicarbonato, citrato e ditionito de sódio, conforme descrito por JACKSON (1956).

#### 4.5 - Outras análises

##### 4.5.1 - Análises químicas

As análises de pH, carbono, fósforo, potássio trocável, cálcio e magnésio trocáveis, alumínio trocável e hidrogênio, foram determinadas de acordo com CATANI e JACINTHO (1974).

##### 4.5.2 - Análises físicas

As análises granulométricas foram realizadas pelo método da pipeta, utilizando-se hexametáfosfato de sódio 5% como agente dispersante, segundo KILMER e ALEXANDER (1949).

#### 4.6 - Determinação de boro no solo pelo método biológico do girassol (*Helianthus annuus*, L.).

A técnica de vasos e as medições adotadas para se avaliar o teor de boro no solo foram desenvolvidas de acordo com SCHUSTER e STEPHENSON (1940), COLWELL (1943) e BRASIL SOBRINHO (1965). Este último autor empregou o método biológico do girassol descri

to por COLWELL (1943), introduzindo-lhe algumas modificações, a saber:

a) - substituição da solução nutritiva de micronutrientes adotada por Colwell, pela de HOAGLAND e ARNON (1950), por ser mais completa, já que contém também o molibdênio;

b) - substituição da solução de tartarato de ferro por Fe-EDTA;

c) - emprego dos dados de altura e matéria seca, conforme sugerido por SCHUSTER e STEPHENSON (1940), além do valor-idade adotado por COLWELL (1943).

#### 4.6.1 - Preparo do solo

Como descrito em 4.2.

#### 4.6.2 - Recipientes

Utilizou-se latas de óleo lubrificante, com capacidade de 0,5 litro. As latas foram cuidadosamente limpas e revestidas internamente com tinta inerte "Neutrol 45", (\*) recebendo 0,5 l de TFSA de cada amostra de solo.

(\*) Tinta betuminosa fabricada por Otto Baumgart, São Paulo.



#### 4.6.3 - Variedade de girassol usada

Utilizou-se a variedade Mundo Novo, a qual apresenta sementes pretas, proveniente do Instituto Agronômico de Campinas.

#### 4.6.4 - Técnica experimental

Após receberem volume de terra adequado, os vasos foram umedecidos, sendo uniformemente distribuídas, após 24 horas, 10 sementes sobre os mesmos, as quais foram parcialmente enterradas.

Manteve-se umidade adequada nos vasos através de irrigações periódicas, sendo no sexto dia realizado o desbaste, reduzindo-se para 5 o número de plantas por vaso. À medida que as plantas iam se desenvolvendo tornou-se necessário adição de água mais de uma vez ao dia, já que a planta de girassol absorve grandes quantidades. Até o desbaste os vasos receberam, uma vez a cada dois dias, 10 ml de solução nutritiva de COLWELL (1943), acrescentando-se solução de micronutrientes de HOAGLAND e ARNON (1950), sendo que, findo esse período, passou-se a adicionar 25 ml em dias alternados, até o final do ciclo. A composição da solução nutritiva foi:

SaI	Solução Estoque	ml/ litro de Solução Nutritiva
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	1,0 M	5
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	0,2 M	5
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1,0 M	7
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,0 M	7
$\text{NaNO}_3$	1,0 M	7
Sol. para micro (-B) g/l		
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,81	
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,22	
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,08	
$\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,02	1
Fe - EDTA (490 ppm)		2

Essa solução de micronutrientes contém 0,50 ppm de Mn, 0,05 ppm de Zn, 0,01 ppm de Cu, 0,01 ppm de Mo e 0,98 ppm de Fe.

Além da solução nutritiva todos os horizontes recebem doses crescentes de boro, conforme tabela 3.

#### 4.6.5 - Coleção de padrões

Foi feita coleção de padrões ao lado das amostras de solos, com a finalidade de calibrar os resultados obtidos nos diversos tipos de solos.

Os padrões foram conduzidos em sílica 2 mm. Essa sílica foi lavada com HCl a 30% durante 48 horas e depois com água destilada até perder todo o cloro.

A coleção de padrões recebeu os mesmos tratamentos dispensados aos vasos contendo solo (ver. 4.6.4).

Tabela 3 - Quantidades de boro adicionadas à coleção de padrões.

ppm B	ml da solução contendo boro				
	dia do desbaste	5 dias após o desbaste	10 dias após o desbaste	15 dias após o desbaste	20 dias após o desbaste
0,00	-	-	-	-	-
0,10	10	-	-	-	-
0,20	10	10	-	-	-
0,30	10	20	-	-	-
0,40	10	20	10	-	-
0,50	10	20	20	-	-
1,00	10	20	20	20	30

A solução contendo boro foi preparada dissolvendo-se 0,853 g do sal em 1 litro de água destilada. Diluiu-se 30 ve-

zes esta solução e obteve-se 0,005 mg de B por ml. Essa foi a solução usada.

#### 4.6.6 - Medidas utilizadas

##### 4.6.6.1 - Valor - idade (COLWELL, 1943).

Colwell considerou como valor-idade o dia, a partir da sementeira, em que uma das cinco plantas apresentava o estágio inicial de sintoma de deficiência de boro. A evolução dos sintomas de deficiência de boro em girassol pode ser dividida em diferentes estágios:

- a) - estágio inicial - leve clorose na base das folhas terminais;
- b) - primeira fase - progride para clorose bem definida;
- c) - segunda fase - o 2º par de folhas se torna com coloração verde brilhante, apresentando ou não clorose na base das folhas;
- d) - terceira fase - os sintomas nas folhas mais novas se acentuam, ocorrendo paralização do crescimento pela morte da gema apical.

Como ressaltado por BRASIL SOBRINHO (1965), deve-se tomar certos cuidados na escolha do valor-idade, fixando-o com certeza quando os sintomas tiverem atingido um estágio bem definido (primeira fase), já que, a planta poderá apresentar sintomas iniciais e continuar seu desenvolvimento normalmente, até

um ponto mais adiantado de seu ciclo, sem que esses sintomas evoluam para os de primeira fase. Colwell também definiu o valor-idade médio, ou seja, a média numérica entre os valores-idades das camadas de solo de 0-30 e 30-60 cm de profundidade.

No presente trabalho, como também o fez BRASIL SOBRINHO (1965), usou-se o valor-idade de cada horizonte, a fim de poder-se avaliar a capacidade de cada um deles, nos diferentes perfis, em fornecer boro às plantas.

#### 4.6.6.2 - Altura

Foram efetuadas medições individuais das plantas de girassol a partir do colo, em diversas fases de seu ciclo.

#### 4.6.6.3 - Matéria seca

As plantas foram coletadas, secas em estufa a 70-80 °C, pesadas e acondicionadas em papel alumínio para análises posteriores.

#### 4.7 - Desenvolvimento do ensaio

As 19 amostras pertencentes aos perfis das 5 séries de solos estudadas foram colocadas nos recipientes, sendo em seguida umedecidas e, após decorrer 24 horas fez-se a semeadura, empregando-se 3 repetições. Paralelamente foi instalada uma co

leções de padrões, conforme 4.6.4 e 4.6.5.

A instalação do ensaio foi feita em 13/10/77, o des  
baste em 19/10/77.

## 4.8 - Análise estatística

### 4.8.1 - Teste biológico do girassol

Utilizou-se um esquema fatorial em delineamento in  
teiramente casualizado. As análises estatísticas foram feitas  
empregando-se o teste F a fim de verificar as diferenças signi-  
ficativas de altura e produção de matéria seca entre solos e  
dentro de cada solo. Quando significativo, as diferenças encon  
tradas entre os diversos horizontes de cada solo foram analiza-  
das de acordo com o teste de Tukey (PIMENTEL GOMES, 1973).

### 4.8.2 - Distribuição de boro no perfil

#### 4.8.2.1 - Teste de Friedman

Os resultados obtidos para boro total, solúvel em  
ácido fosfórico e solúvel em água foram analisados segundo o  
teste de Friedman, não paramétrico, com a finalidade de compa-  
rar os teores, para cada forma de boro determinada, nos perfis  
das séries de solos.

Este teste, segundo CAMPOS (1976) é um competidor direto da análise de variância para o delineamento em blocos casualizados, do campo paramétrico, onde o modelo matemático exige determinadas hipótese como a normalidade dos dados, homogeneidade de variâncias de tratamentos, erros independentes e efeitos aditivos, que nem sempre são satisfeitas. Quando essas exigências forem satisfeitas os testes paramétricos serão mais eficientes que os não paramétricos.

O teste de Fridman é aplicado às ordens de K observações dentro de cada bloco onde se admite que os K tratamentos estão sujeitos às mesmas condições. Através deste teste pode-se verificar se K amostras (tratamentos) são provenientes de uma mesma população ou de populações análogas, ou se provêm de populações distintas.

As pressuposições desse teste são:

- a) - os n grupos de K observações são independentes entre si.
- b) - as K populações são aproximadamente da mesma forma e contínuas. No caso de populações não contínuas o teste é apenas aproximado.

Os dados obtidos foram analisados segundo este teste, pois, satisfazem a duas pressuposições do mesmo.

As hipóteses consideradas foram:

Ho: os teores de boro (total, solúvel em ácido fosfórico e solúvel em água), considerando-se isoladamente as diferentes determinações, não diferem entre si dentro de cada perfil.

Ha: os teores de boro de pelo menos dois horizontes de um mesmo solo diferem entre si.

Para cada solo considerado, levando-se em conta as diferentes formas de determinação de boro, procedeu-se à classificação conjunta dos teores encontrados, dando ordem 1 ao menor valor e ordem 6 e 4 para as séries Quebra Dente e Paredão Vermelho, Iracema e Monte Olimpo, respectivamente, ao maior deles.

Em seguida, para a aplicação do teste, calculou-se a Estatística.

$$\chi_r^2 = \frac{12}{n K (K + 1)} \sum_{i=1}^K R_i^2 - 3 n (K + 1)$$

onde:

$n = 3$  (número de repetições das determinações para todos os solos)



$K = 4$  (número de horizontes para as séries Paredão Verme  
lho, Iracema e Monte Olimpo.

$K = 6$  (número de horizontes para a série Quebra Dente)

$R_i =$  soma das ordens atribuídas aos dados do tratamento  
 $i$ , ou seja, soma das tres repetições de cada horizon-  
te, nos solos estudados.

Se o valor  $\chi_r^2$  for maior ou igual a um valor  $\chi_0^2$   
(valor tabelado, a um nível  $\alpha$  de significância) rejeita-se  $H_0$   
em favor de  $H_a$ , isto é, rejeita-se a hipótese da nulidade em fa-  
vor da hipótese alternativa.

#### 4.8.2.2 - Comparações múltiplas

No teste de Friedman, quando se rejeita a hipótese  
 $H_0$  em função de  $H_a$ , admite-se que pelo menos dois tratamentos  
diferem entre si. A finalidade das comparações múltiplas é lo-  
calizar quando existem, as diferenças significativas entre pa-  
res de tratamentos.

São considerados os  $\frac{K(K-1)}{2}$  pares de tratamentos  
e determinada para cada par a diferença:

$$| R_i - R_j |$$

$$(i = 1, 2, \dots, K-1)$$

$$(j = i+1, \dots, K)$$

onde,  $R_i$  e  $R_j$  representam as somas das ordens atribuídas, respectivamente, aos tratamentos (determinações de boro) e  $i$  e  $j$  nos  $n$  blocos (repetições).

A uma taxa de erro experimental  $\alpha$ , admite-se

$$t_i \neq t_j \quad \text{se} \quad |R_i - R_j| \geq \Delta_1$$

ou seja, a diferença mínima significativa a uma taxa  $\alpha$  é  $\Delta_1$ , isto é:

$$P \{ |R_i - R_j| \geq \Delta_1 \} = \alpha$$

onde  $\Delta_1$  é um valor tabelado.

## 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 - Boro total

#### 5.1.1 - Influência do material de origem e da pedogênese na distribuição do boro nas séries de solos.

Das cinco séries de solos estudadas, quadro delas são originárias de rochas sedimentares, com exceção da Iracema, desenvolvida a partir de efusivas básicas.

Comparando-se os horizontes de todos os solos verifica-se que os teores de B total não são acentuadamente diferentes entre si, excetuando-se a série Paredão Vermelho, que

apresenta teores bem mais baixos e o horizonte A/B da série I-racema apresentando teor superior aos demais (tabela 4). Esses resultados não estão de acordo com Harder (1959), citado por BRADFORD (1966), KRAUSKOPF (1972) e NORRISH (1974), os quais citam teores significativamente mais elevados para as rochas sedimentares. Logicamente, isso é verdade se levarmos em conta a afirmação de OBUKHOV (1968), segundo a qual o conteúdo total de microelementos no solo depende de seu teor no material de origem.

Os trabalhos sobre levantamento de turmalina em solos brasileiros são bastante escassos e quando existentes não se referem à todas as frações granulométricas do solo. Esse fato impossibilitou a tentativa de se correlacionar os teores totais de boro, encontrados nas séries de solos, com a ocorrência desse mineral. Ressalta-se portanto, uma importante linha de pesquisa para o melhor conhecimento da distribuição e comportamento do boro no solo. Como exemplo, citamos o Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas - Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo (1960), onde os teores de turmalina foram determinados nas frações areia grossa e areia fina ou em apenas uma delas e o trabalho de MARCONI (1969), onde se analisou a fração areia fina. A importância aqui dada à turmalina é apoiada pela constatação de BERGER (1949), segundo a qual apenas esse mineral é frequentemente encontrado em solos de regiões úmidas contendo boro.

Considerando-se as condições de formação dos solos, fato esse também lembrado por OBKHOV (1968) como sendo importante na determinação do teor de boro total no solo, poderíamos dizer que, devido às condições favoráveis de intemperização a que estão submetidos, as possíveis diferenças existentes, devido aos diferentes materiais de origem, seriam de menor amplitude para os teores totais de boro nesses solos.

Com exceção da série Paredão Vermelho que apresentou teores de B total relativamente inferiores ao longo de todo o perfil, as demais não diferiram substancialmente entre si, não proporcionando portanto, que esses solos sejam classificados de acordo com os diferentes processos pedogenéticos a que estão submetidos, levando-se em conta os teores de B total encontrados em cada um deles.

Deve ser mencionado o fato de estar-se trabalhando com apenas cinco solos, o que limita as generalizações a serem feitas dentro do tópico abordado.

#### 5.1.2 - Distribuição de boro no solo

Os dados obtidos para B total se encontram na tabela 4.

Nas séries de solos estudadas os teores variaram de 9,1 a 112,5 ppm. O teor médio encontrado foi de 27,5 ppm. Esses dados são inteiramente concordantes com aqueles citados

por Jackson (1958), de acordo com JACKSON (1965), segundo o qual o teor de B total no solo varia de 4 a 98 ppm, apresentando em média 30 ppm. Os dados também se aproximam daqueles encontrados por BRASIL SOBRINHO (1965) para séries de solos do Município de Piracicaba, 11,0 a 150,5 ppm e 18,7 a 86,0 para alguns grandes grupos do Estado de São Paulo e por OBKHOV (1968), 17 a 120 ppm, para solos tropicais de zona seca.

Dos dados apresentados pelos autores: 10 ppm para Swaine (1955) e Vinogradov (1959), citados por HODGSON (1963); 7 a 80 ppm para vários autores, citados por NORRISH (1974), os dados obtidos mais se aproximaram da faixa de 7 a 80 ppm, sendo superiores aos demais.

Com respeito à distribuição do B nos horizontes dos diversos perfis (figura 1) observou-se que nos horizontes superficiais o conteúdo de B variou de 10,0 a 34,2 ppm, sendo os valores mais altos encontrados nas séries Quebra Dente e Iracema e o menor teor, 10 ppm, na série Paredão Vermelho. Entre os horizontes B, sem levar em conta suas subdivisões, os teores variaram de 19,5 a 27,8 ppm.

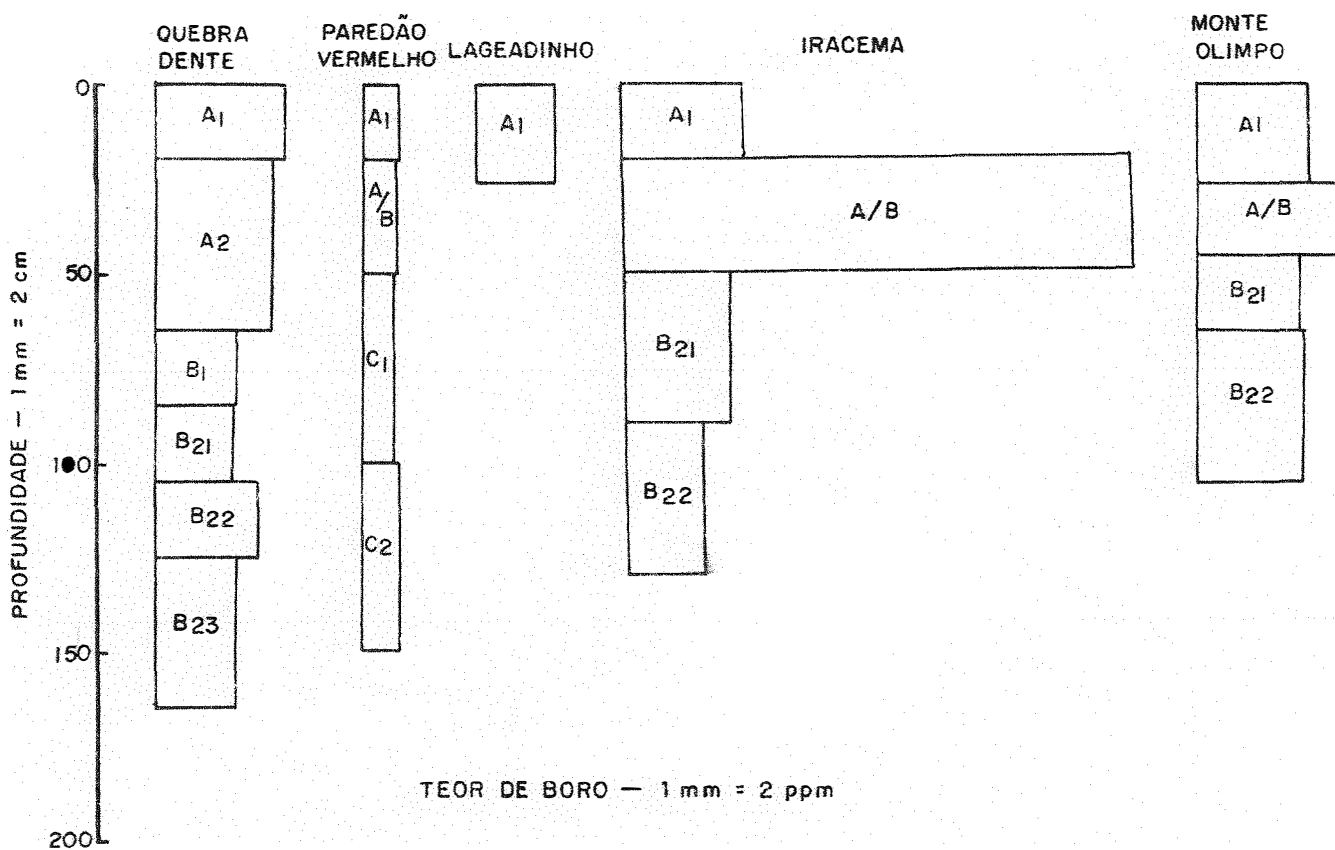


Figura 1 - Distribuição de boro total nos perfis das cinco séries de solos estudadas.

Tabela 4 - Teores de boro total, solúvel em ácido fosfórico 85% e solúvel em água quente e porcentagem de boro solúvel em ácido fosfórico e em água em relação ao teor de boro total, nos diferentes horizontes.

Amostras Nº	Horizontes	ppm de B			$B_{H_3PO_4}/B_t$ %	$B_{H_2O}/B_t$ %
		$B_t^*$	$B_{H_3PO_4}^*$	$B_{H_2O}^*$		
1	A <sub>1</sub>	34,2	2,0	0,12	5,84	0,32
2	A <sub>2</sub>	31,5	1,6	0,09	5,08	0,28
3	B <sub>1</sub>	21,0	1,6	0,08	7,62	0,38
4	B <sub>21</sub>	20,1	1,3	0,11	6,46	0,60
5	B <sub>22</sub>	27,0	1,5	0,08	5,55	0,30
6	B <sub>23</sub>	20,1	2,0	0,10	9,97	0,50
7	A <sub>1</sub>	10,0	2,8	0,06	28,00	0,60
8	A/B	9,8	2,7	0,07	27,69	0,72
9	C <sub>1</sub>	9,1	1,8	0,08	19,82	0,88
10	C <sub>2</sub>	10,5	1,1	0,12	10,48	1,14
11	A <sub>1</sub>	21,0	1,4	0,17	6,66	0,81
12	A <sub>1</sub>	30,2	1,3	0,34	4,31	1,13
13	A/B	112,5	2,0	0,18	1,78	0,16
14	B <sub>21</sub>	27,0	1,5	0,12	5,55	0,44
15	B <sub>22</sub>	19,5	3,0	0,15	15,38	0,77
16	A <sub>1</sub>	28,5	4,1	0,12	14,38	0,42
17	A/B	36,8	4,2	0,18	11,43	0,49
18	B <sub>21</sub>	26,2	3,9	0,13	14,86	0,50
19	B <sub>22</sub>	27,8	4,9	0,10	17,65	0,36

\*  $B_t$  = Boro total;  $B_{H_3PO_4}$  = boro solúvel em ácido fosfórico 85% e

$B_{H_2O}$  = boro solúvel em água quente.



Os teores máximos e mínimos foram encontrados nos horizontes A/B da série Iracema (112,50 ppm) e C<sub>1</sub> da série Paredão Vermelho (9,1 ppm). Das cinco séries estudadas sobressaiu-se a série Paredão Vermelho, por ser a mais pobre em B em todos os seus horizontes.

Com os dados obtidos não foi verificada correlação entre B total e B solúvel em água, contrariando a observação de GUPTA (1968), segundo a qual há indicação do B total poder ser usado em alguma extensão como índice de disponibilidade. Por outro lado, está de acordo com BERGER e TRUOG (1940) e WEAR (1965), pois, segundo esses autores o teor total desse elemento no solo é de baixo valor como índice de disponibilidade às plantas.

Para a aplicação do teste de Friedman, para a verificação da distribuição do B total em cada perfil estudado, os dados foram ordenados de conformidade com a tabela 5.

Os resultados obtidos para esse teste constam das tabelas 8 e 9.

Dada a significância do teste de Friedman em vários casos, necessário se fez aplicar as comparações múltiplas. As diferenças  $| R_i - R_j |$  para os diversos horizontes de cada perfil foram:

## - Série Quebra Dente

$ R_i - R_j $	$\alpha$	$ R_i - R_j $	$\alpha$
$ R_1 - R_2 $	= n.s.	$ R_2 - R_6 $	= n.s.
$ R_1 - R_3 $	= n.s.	$ R_3 - R_4 $	= n.s.
$ R_1 - R_4 $	= n.s.	$ R_3 - R_5 $	= n.s.
$ R_1 - R_5 $	= n.s.	$ R_3 - R_6 $	= n.s.
$ R_1 - R_6 $	= n.s.	$ R_4 - R_5 $	= n.s.
$ R_2 - R_3 $	= n.s.	$ R_4 - R_6 $	= n.s.
$ R_2 - R_4 $	= n.s.	$ R_5 - R_6 $	= n.s.
$ R_2 - R_5 $	= n.s.		

n.s. = não significativo

Embora o teste de Friedman tenha sido significativo ao nível de 5%, não houve diferenças entre os teores de boro total dos diversos horizontes pela aplicação das correlações múltiplas. Isso se deu, provavelmente, pelo fato do valor de  $\chi_r^2$  estar muito próximo do valor limite ao nível de 5%. Pode-se afirmar, portanto, que para a série Quebra Dente os teores de boro total não variaram em profundidade.

## - Série Iracema

$ R_i - R_j $	$\alpha$
$ R_1 - R_2 $	= n.s.
$ R_1 - R_3 $	= n.s.
$ R_1 - R_4 $	= n.s.
$ R_2 - R_3 $	= n.s.
$ R_2 - R_4 $	= 0,007*
$ R_3 - R_4 $	= n.s.

\* = significativo a 0,7%

Os tres primeiros horizontes não diferiram entre si. Apenas os horizontes A/B e B<sub>22</sub> foram significativamente diferentes, ou seja, o teor de boro total diminuiu no horizonte B<sub>22</sub> (90 a 130 cm) quando comparado com o horizonte A/B (20 a 50 cm).

Com os teores de boro total observados neste solo, o teste estatístico empregado tem baixa sensibilidade, pois, o horizonte A/B, tem teor de boro bem mais elevado que os demais, sendo sem dúvida significativamente diferente dos outros tres.

Tabela 5 - Classificação dos teores de boro total dos solos estudados, para a aplicação do Teste de Friedman.

Série Quebra Dente

Horizontes	Repetições	1ª	2ª	3ª	R
A <sub>1</sub>		37,6(6)	30,8(5)	34,2(6)	(17)
A <sub>2</sub>		33,0(5)	34,4(6)	27,1(5)	(16)
B <sub>1</sub>		24,2(3)	20,5(2)	18,3(2)	(7)
B <sub>21</sub>		19,7(1)	23,8(3)	16,8(1)	(5)
B <sub>22</sub>		30,3(4)	24,3(4)	26,4(4)	(12)
B <sub>23</sub>		22,4(2)	18,5(1)	19,4(3)	(6)

(\*) os números entre parêntese representam as ordens, obedecendo-se a escala de classificação dentro de cada bloco (horizontes).

## Série Paredão Vermelho

Horizontes \ Repetições	1ª	2ª	3ª	R
A <sub>1</sub>	12,0(3)	8,4(2)	9,6(3)	(8)
A/B	8,6(1)	9,6(3)	11,2(4)	(8)
C <sub>1</sub>	10,4(2)	7,7(1)	9,2(2)	(5)
C <sub>2</sub>	12,1(4)	10,6(4)	8,9(1)	(9)

## Série Iracema

Horizontes \ Repetições	1ª	2ª	3ª	R
A <sub>1</sub>	24,9(1)	31,3(3)	29,3(3)	(7)
A/B	39,4(4)	36,6(4)	34,4(4)	(12)
B <sub>21</sub>	30,0(3)	25,5(1)	23,1(1)	(6)
B <sub>22</sub>	25,2(2)	30,6(2)	27,6(2)	(3)

## Série Monte Olimpo

Horizontes \ Repetições	1ª	2ª	3ª	R
A <sub>1</sub>	24,9(1)	31,3(3)	29,3(3)	(7)
A/B	39,4(4)	36,6(4)	34,4(4)	(12)
B <sub>21</sub>	30,0(3)	25,5(1)	23,1(1)	(5)
B <sub>22</sub>	25,2(2)	30,6(2)	27,6(2)	(6)

Tabela 8 - Resultados obtidos para o teste de Friedman quando  $n = 3$  e  $K = 4$ .

Determinações	Série Paredão Vermelho		Série Iracema		Série Monte Olimpo	
	$\chi^2_r$	$\alpha$	$\chi^2_r$	$\alpha$	$\chi^2_r$	$\alpha$
* $B_t$	1,80	n.s.	9,00	0,002	5,80	n.s.
* $B_{H_3PO_4}$	8,20	0,017	18,40	0,002	3,80	n.s.
* $B_{H_2O}$	7,00	0,054	9,00	0,002	7,00	0,054

\*  $B_t$  = boro total;  $B_{H_3PO_4}$  = boro solúvel em ácido fosfórico 85% ;  $B_{H_2O}$  = boro solúvel em água.

n.s. = não significativo

Tabela 9 - Resultados obtidos para o teste de Friedman quando  $n = 3$  e  $K = 6$ .

Determinações	Série Quebra Dente	
	$\chi^2_r$	$\alpha$
$B_t$	13,10	0,005
$B_{H_3PO_4}$	9,24	n.s.
$B_{H_2O}$	5,33	n.s.

## 5.2 - Boro solúvel em ácido fosfórico 85%

Os dados de B solúvel em ácido fosfórico 85% estão presentes na tabela 4.

Os teores encontrados variaram de 1,1 a 4,9 ppm. Esses dados foram inferiores àqueles encontrados por BAKER (1971), cujos valores se encontram entre 2,81 e 14,53 ppm.

A série Monte Olimpo, representada por um solo hidromórfico, apresentou os maiores teores de B solúvel em  $H_3PO_4$  em todos os seus horizontes. Os valores encontrados variaram de 3,9 a 4,9 ppm. A seguir, os maiores teores foram encontrados na Série Paredão Vermelho, 1,1 a 2,8 ppm, série que apresentou os menores valores para B total, não sendo observada correlação entre essas duas formas de B presentes no solo (figura 2).

A relação B solúvel em  $H_3PO_4$  sobre B total variou de 1,78 a 28,0%, sendo quase sempre inferior a 15%. Considerando a afirmação de Whetstone *et alii* (1942), citados por JACKSON (1970), ou seja, de que o B extraído do solo com  $H_3PO_4$  85% representa aquele contido nos colóides orgânicos e nas formas precipitadas, excluindo o B presente na turmalina, verificou-se, na maioria dos solos, que 3/4 ou mais do teor total de B estava contido na turmalina, havendo casos de mais de 98% ser representado pela mesma.

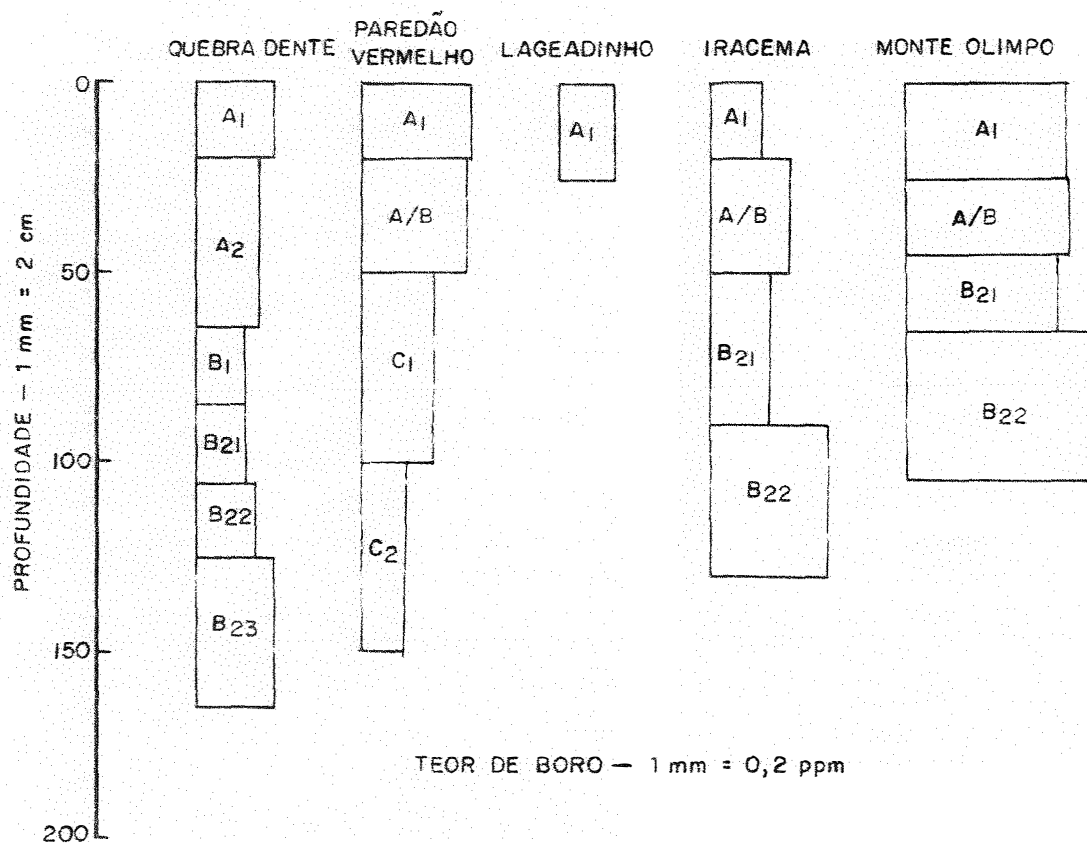


Figura 2 - Distribuição de boro solúvel em ácido fosfórico nos perfis das cinco séries de solos estudadas.

Essa relação apresentou valores mais altos na série Paredão Vermelho, intermediário na Monte Olimpo e os mais baixos nas séries Quebra Dente, Iracema e Lajeado.

A determinação de B solúvel em  $H_3PO_4$  não apresentou correlação com pH, matéria orgânica, altura atingida pelo girasol e produção de matéria seca, apresentando dificuldades à sua utilização como uma medida de B disponível às plantas, o que seria de real interesse, já que as quantidades obtidas utilizando-se ácido fosfórico como extrator foram de 4 a 47 vezes superiores aos teores obtidos utilizando-se água quente.

Para a aplicação do teste de Friedman, para a verificação da distribuição em cada perfil, os dados foram ordenados de conformidade com a tabela 6.

Os resultados obtidos para esse teste constam das tabelas 8 e 9.

As diferenças  $|R_i - R_j|$  para os diversos horizontes de cada perfil foram:

- Série Paredão Vermelho

$ R_i - R_j $	=	$\alpha$
$ R_1 - R_2 $	= 1	n.s.
$ R_1 - R_3 $	= 4	n.s.
$ R_1 - R_4 $	= 7	n.s.
$ R_2 - R_3 $	= 5	n.s.
$ R_2 - R_4 $	= 8	0,049
$ R_3 - R_4 $	= 3	n.s.



Os tres primeiros horizontes não diferiram entre si. Apenas os horizontes A/B (20 a 50 cm) e C<sub>2</sub> (100 a 150 cm) foram significativamente diferentes, apresentando este último o menor teor.

- Série Iracema

$ R_i - R_j $	$\alpha$
$ R_1 - R_2 $	= n.s.
$ R_1 - R_3 $	= n.s.
$ R_1 - R_4 $	= 0,049
$ R_2 - R_3 $	= n.s.
$ R_2 - R_4 $	= n.s.
$ R_3 - R_4 $	= n.s.

Os tres primeiros horizontes não diferiram entre si. Apenas os horizontes A<sub>1</sub> e B<sub>22</sub> foram significativamente diferentes. O horizonte B<sub>22</sub> situado em maior profundidade, apresentou o maior teor de boro solúvel em ácido fosfórico.

As séries Quebra Dente e Monte Olimpo não apresentaram variações significativas ao longo do perfil.

Tabela 6 - Classificação dos teores de boro solúvel em ácido fosfórico dos solos estudados, para a aplicação do Teste de Friedman.

Série Quebra Dente

Horizontes \ Repetições	1ª	2ª	3ª	R
A <sub>1</sub>	1,7(4)	2,2(5)	2,1(6)	(15)
A <sub>2</sub>	1,9(6)	1,5(3,5)	1,4(1,5)	(11)
B <sub>1</sub>	1,6(3)	1,4(2)	1,8(3,5)	(8,5)
B <sub>21</sub>	1,5(2)	1,0(1)	1,4(1,5)	(4,5)
B <sub>22</sub>	1,2(1)	1,5(3,5)	1,8(3,5)	(8)
B <sub>23</sub>	1,8(5)	2,3(6)	1,9(5)	(16)

Série Paredão Vermelho

Horizontes \ Repetições	1ª	2ª	3ª	R
A <sub>1</sub>	3,1(4)	2,6(3)	2,7(3)	(10)
A/B	2,3(3)	3,0(4)	2,8(4)	(11)
C <sub>1</sub>	2,1(2)	1,9(2)	1,4(2)	(6)
C <sub>2</sub>	0,8(1)	1,3(1)	1,2(1)	(3)

## Série Iracema

Horizontes \ Repetições	1ª	2ª	3ª	R
A <sub>1</sub>	1,1(1)	1,6(2)	1,2(1)	(4)
A/B	2,3(3)	2,0(3)	1,7(2)	(8)
B <sub>21</sub>	1,4(2)	1,5(1)	1,8(3)	(6)
B <sub>22</sub>	2,6(4)	3,3(4)	3,1(4)	(12)

## Série Monte Olimpo

Horizontes \ Repetições	1ª	2ª	3ª	R
A <sub>1</sub>	3,9(20)	4,4(3)	4,0(2)	(7)
A/B	4,6(4)	4,1(2)	3,9(1)	(7)
B <sub>21</sub>	3,6(1)	3,9(1)	4,2(3)	(5)
B <sub>22</sub>	4,4(3)	5,5(4)	4,8(4)	(11)

## 5.3 - Boro solúvel em água em ebulição

Os dados referentes ao B solúvel em água estão contidos na tabela 4 e a figura 3 representa a distribuição de boro no perfil.

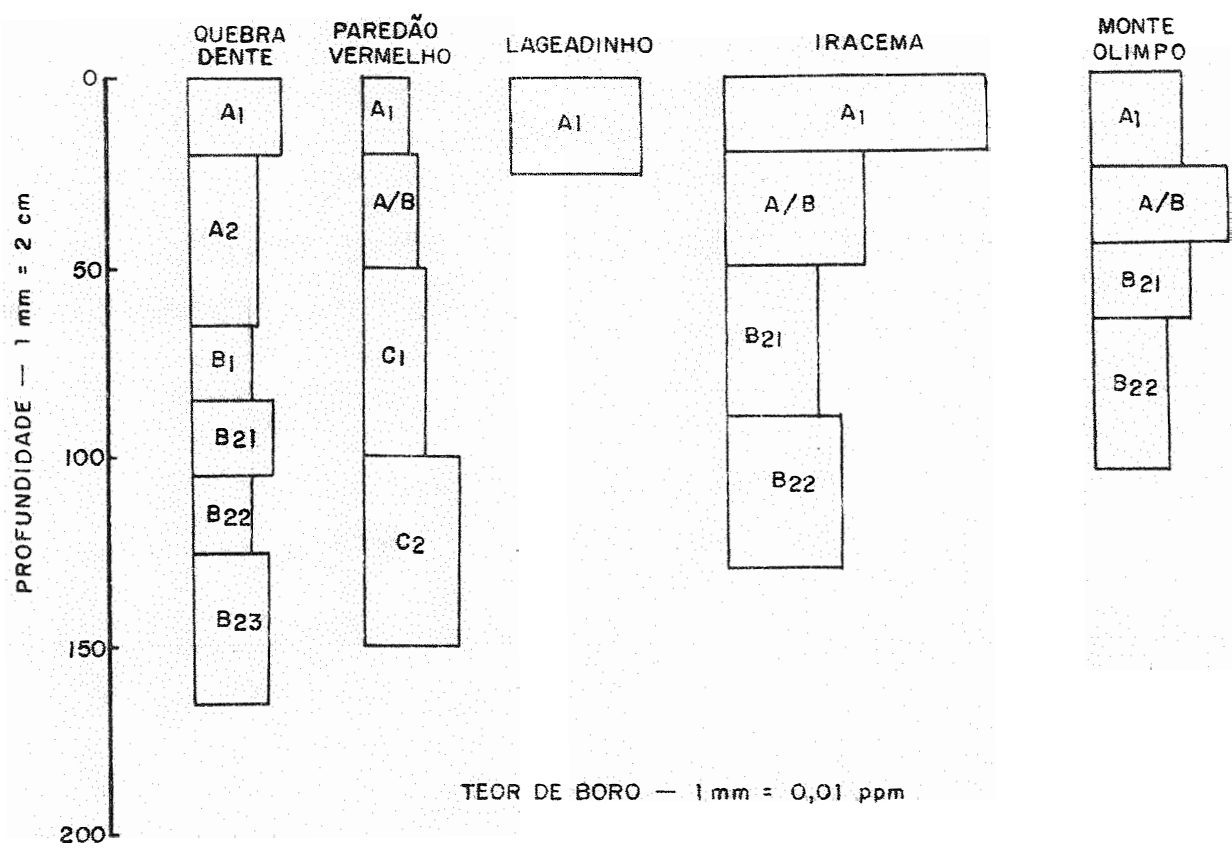


Figura 3 - Distribuição de boro solúvel em água nos perfis das cinco séries de solos estudadas.

As séries de solos em estudo apresentaram teores variando de 0,0 a 0,34 ppm. Esses teores foram bastante semelhantes àqueles encontrados por BRASIL SOBRINHO (1965), em séries de solos do Município de Piracicaba, que não receberam adubação com boro.

Considerando apenas as camadas superficiais dos solos, horizontes  $A_1$ , verificou-se que os dados foram idênticos aos do autor anterior, 0,06 a 0,34 ppm. Entretanto, confrontando os dados obtidos com vários autores, PAGE e PADEN (1954) estudando os horizontes A e B encontraram de 0,033 a 1,315 ppm; OBUKHOV (1968) analisando mais de 100 amostras da camada superficial do solo encontrou de 0,15 a 0,8 ppm de B solúvel; GYUL'AKHMEDOV e PEYSAKHOV (1968) estudando 4 solos russos até 1,80 m de profundidade verificaram teores entre 0,36 e 0,80 ppm; estes mesmos autores estudando outros 7 solos, encontraram teores de 0,53 a 0,88 ppm nos primeiros 40 cm e 0,33 a 0,56 ppm nos 20 cm abaixo; ROBERTSON *et alii* (1975) analisando solos até 1,20 m de profundidade verificaram valores variando desde traços até 0,54 ppm e finalmente MACLEAN e LANGILLE (1976) encontraram teores na faixa de 0,04 a 1,24 ppm até os primeiros 15 cm de profundidade e teores de 0,04 e 1,71 ppm na camada de 15 a 30 cm, pode-se verificar que os dados encontrados foram sempre inferiores. Levando-se em conta a classificação de REISENAUER (1967), todos os solos estudados seriam deficientes em boro, já que o autor considera que os solos com teores de B solúvel entre 0,1 e 0,7 ppm, são aqueles que normalmente apresenta-se deficientes às plantas.

Como já verificado por HODGSON (1963), citando outros autores; HOBBS e BERTRANSON (1950) ; JORDAN e POWERS (1946); MULVEHILL e MACGREGOR (1955) ; BRASIL SOBRINHO (1965) ; MILJKOVIC *et alii* (1966) ; ROBERTSON *et alii* (1975), além de outros, o teor de B solúvel em água decresce em profundidade, concentrando-se na superfície.

Para a aplicação do teste de Friedman, para a verificação da distribuição em cada perfil, os dados foram ordenados conformidade com a tabela 7.

Os resultados obtidos para esse teste constam das tabelas 8 e 9.

As diferenças  $|R_i - R_j|$  para os diversos horizontes de cada perfil foram:

Tabela 7 - Classificação dos teores de boro solúvel em água dos solos estudados, para a aplicação do Teste de Friedman.

Série Quebra Dente

Horizontes \ Repetições	1ª	2ª	3ª	R
A <sub>1</sub>	0,13(6)	0,15(6)	0,08(3)	(15)
A <sub>2</sub>	0,09(2)	0,07(1)	0,00(6)	(9)
B <sub>1</sub>	0,07(1)	0,11(4)	0,06(1,5)	(6,5)
B <sub>21</sub>	0,10(3,5)	0,13(5)	0,10(4,5)	(13)
B <sub>22</sub>	0,10(3,5)	0,08(2,5)	0,06(1,5)	(7,5)
B <sub>23</sub>	0,12(5)	0,08(2,5)	0,10(4,5)	(12)

## Série Paredão Vermelho

Repetições				
Horizontes	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	R
A <sub>1</sub>	0,06(1)	0,07(2)	0,05(1)	(4)
A/B	0,09(3)	0,06(1)	0,06(2)	(6)
C <sub>1</sub>	0,08(2)	0,08(3)	0,08(3)	(8)
C <sub>2</sub>	0,13(4)	0,14(4)	0,09(4)	(12)

## Série Iracema

Repetições				
Horizontes	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	R
A <sub>1</sub>	0,33(4)	0,30(4)	0,39(4)	(12)
A/B	0,21(3)	0,16(3)	0,17(3)	(9)
B <sub>21</sub>	0,11(1)	0,11(1)	0,14(1)	(3)
B <sub>22</sub>	0,16(2)	0,13(2)	0,16(2)	(6)

## Série Monte Olimpo

Repetições				
Horizontes	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	R
A <sub>1</sub>	0,11(3)	0,10(1)	0,15(2)	(6)
A/B	0,17(4)	0,16(4)	0,21(4)	(12)
B <sub>21</sub>	0,10(2)	0,13(3)	0,16(3)	(8)
B <sub>22</sub>	0,08(1)	0,11(2)	0,11(1)	(4)

## - Série Paredão Vermelho

$ R_i - R_j $	$\alpha$
$ R_1 - R_2 $	n.s.
$ R_1 - R_3 $	n.s.
$ R_1 - R_4 $	0,049
$ R_2 - R_3 $	n.s.
$ R_2 - R_4 $	n.s.
$ R_3 - R_4 $	n.s.

Os tres primeiros horizontes, até 1 m de profundidade, não diferiram entre si. Foram significativamente diferentes apenas os horizontes  $A_1$  e  $C_2$ , tendo teor mais elevado no  $C_2$ .

Observando-se a literatura, como já anteriormente descrito por mais de duas dezenas de pesquisadores, é perfeitamente possível que solos como esse, com cerca de 90% de areia no perfil, com drenagem excessiva, pH ácido, baixo em matéria orgânica e sujeito a um regime hídrico capaz de provocar lixiviação, apresente remoção de B em profundidade, mostrando teores mais elevados nos horizontes inferiores.

- Série Iracema

$ R_i - R_j $	$\alpha$
$ R_1 - R_2 $	= n.s.
$ R_1 - R_3 $	= 0,007
$ R_1 - R_4 $	= n.s.
$ R_2 - R_3 $	= n.s.
$ R_2 - R_4 $	= n.s.
$ R_3 - R_4 $	= n.s.

Os horizontes  $A_1$  e  $B_{21}$ , localizados de 0 a 20 e 20 a 50 cm de profundidade foram significativamente diferentes entre si, com o menor teor em maior profundidade.



## - Série Monte Olimpo

$ R_i - R_j $	$\alpha$
$ R_1 - R_2 $	= n.s.
$ R_1 - R_3 $	= n.s.
$ R_1 - R_4 $	= n.s.
$ R_2 - R_3 $	= n.s.
$ R_2 - R_4 $	= 0,049
$ R_3 - R_4 $	= n.s.

Diferiram entre si os horizontes A/B e B<sub>22</sub>, com menos teor de boro em maior profundidades.

De acordo com Pinta *et alii* (1961), citados por MITCHEL (1965), em solos tropicais africanos, pretos e pobremente drenados, o conteúdo máximo da maioria dos micronutrientes, entre eles o boro, ocorre aproximadamente na faixa de 50 a 150 cm, não apresentando, portanto, teores mais elevados na camada superficial do solo.

Foram encontrados valores variando de 0,16 a 1,14% para a relação B solúvel em água sobre B total. Isso nos mostra que na maioria dos casos menos de 1% da reserva de B do solo está na forma disponível aos vegetais. A relação encontrada por outros autores foi superior a essa: 0,7 a 1,8% para RAVIKOVITCH *et alii* (1961) e 0,4 a 2,4% e 1 a 2%, ambos para GYUL'AKHMEDOV e PEYSAKHOV (1968). Essa relação não apresentou gradiente, ora aumentando ora diminuindo em profundidade.

5.4 - Boro disponível pelo método biológico do girassol (*Helianthus annuus*, L.).

5.4.1 - Valor - idade

COLWELL (1943) utilizando alguns solos de Idaho e New York, determinou os valores-idades, como já descritos em 4.6.6.1, e os comparou com os valores-idades obtidos através da coleção de padrões de B, descrito em 4.6.5. Assim, as seguintes categorias foram estabelecidas:

- a - o valor-idade (28 dias), obtido através do padrão que recebeu menos que 0,10 ppm de B, correspondia ao solo com deficiência acentuada;
- b - Entre 0,10 e 0,30 ppm considerava o solo com deficiência moderada, com valor-idade entre 28 e 36 dias;
- c - acima de 0,30 ppm se enquadravam os solos cujas plantas se apresentavam com ausência de sintomas ou ligeiramente deficientes, sendo nesse caso o valor-idade superior a 36 dias.

O critério de COLWELL (1943) já foi utilizado por FRANCO (1955) e BRASIL SOBRINHO (1965) e a partir dos valores obtidos com a coleção de padrões, tabela 10, os solos foram assim classificados:

Classe	ppm de B	Valor-Idade (dias)
I	0,10	25-deficiência <u>a</u> centuada
II	0,10 a 0,30	25 a 36-deficiência <u>m</u> oderada
III	0,30	36-ligeiramente ou não deficiente

Tabela 10 - Dados referentes ao valor-idade, altura e matéria seca, obtidos através da coleção de padrões, submetidas a doses crescentes de boro.

ppm B	Valor-Idade (dias)	Altura (cm)	Matéria Seca (g)
0,00	19	19	1,56
0,10	25	39	4,11
0,20	28	59	6,66
0,30	36	75	9,01
0,40	47	85	8,79
0,50	53	92	9,57
1,00	53	95	9,96

Como pode ser observado pela tabela 11, apenas a amostra número 12, horizonte A<sub>1</sub> da série Iracema, classificou-se na classe III, ou seja, ligeiramente ou não deficiente. Realmente essa foi a amostra que revelou o teor mais elevado de B solúvel em água, 0,34 ppm. Excetuando-se essa amostra, as demais, pertencentes às séries de solos Lajeado, Iracema e Monte Olimpo

Tabela 11 - Dados referentes ao valor-idade, altura e matéria seca, obtidos a partir dos diversos horizontes de cada perfil, sem adição de boro.

Amostra Nº	Horizontes	Valor-idade		altura		Matéria seca	
		Dias	Classe	cm	classe	g/vaso	classe
1	A <sub>1</sub>	25	II	33	I	6,37	II
2	A <sub>2</sub>	19	I	28	I	4,25	II
3	B <sub>1</sub>	19	I	29	I	3,78	I
4	B <sub>21</sub>	22	I	24	I	4,02	I
5	B <sub>22</sub>	22	I	24	I	3,37	I
6	B <sub>23</sub>	25	II	23	I	3,28	I
7	A <sub>1</sub>	19	I	28	I	5,60	II
8	A/B	19	I	27	I	4,55	II
9	C <sub>1</sub>	19	I	25	I	4,70	II
10	C <sub>2</sub>	19	I	25	I	5,25	II
11	A <sub>1</sub>	25	II	50	II	11,00	III
12	A <sub>1</sub>	40	III	85	III	22,50	III
13	A/B	25	II	57	II	12,40	III
14	B <sub>21</sub>	25	II	46	II	8,68	II
15	B <sub>22</sub>	25	II	40	II	8,25	II
16	A <sub>1</sub>	25	II	64	II	17,30	III
17	A/B	28	II	47	II	8,48	II
18	B <sub>21</sub>	25	II	32	I	3,39	I
19	B <sub>22</sub>	25	II	30	I	3,70	I

classificaram-se na classe II, sendo portanto consideradas como moderadamente deficientes, indicando teores de B no solo entre 0,10 e 0,30 ppm. Observando-se a tabela 4, pode-se verificar que o teor de B solúvel quimicamente determinado encontra-se dentro dessa faixa. As outras duas séries, Quebra Dente e Paredão Vermelho, apresentaram apenas dois de seus horizontes na classe II, estando os demais na classe I, sendo portanto considerados como acentuadamente deficientes em boro solúvel em água. Em confronto com a tabela 4, realmente se observa que esses dois últimos solos são os mais pobres em B solúvel. BRASIL SOBRINHO (1965), também fazendo comparações entre teor de B solúvel em água em ebulição, verificado no solo através do valoridade, e o teor de B determinado quimicamente, observou que houve concordância em relação à maioria dos horizontes estudados.

Como proposto por COLWELL (1943), os solos também foram classificados de acordo com seu valoridade médio, ou seja, correspondente aos primeiros 60 cm de profundidade ou aproximadamente aos dois horizontes superiores (tabela 12).

Considerando-se o valoridade-médio, as séries Quebra Dente e Paredão Vermelho foram classificadas como acentuadamente deficientes em boro solúvel em água, enquanto as séries Lajeado, Iracema e Monte Olimpo foram classificadas como moderadamente deficientes.

Tabela 12 - Classificação das séries de solos em função do valor-idade médio.

Solo	Horizontes	Valor-Idade (dias)	Classe
Série Quebra Dente	A <sub>1</sub> e A <sub>2</sub>	22,0	I
Série Paredão Vermelho	A <sub>1</sub> e A/B	19,0	I
Série Lajeado	A <sub>1</sub>	25,0	II
Série Iracema	A <sub>1</sub> e A/B	32,5	II
Série Monte Olimpo	A <sub>1</sub> e A/B	26,5	II

Levando-se em conta os teores de B solúvel em água desses horizontes, determinados quimicamente, a série Quebra Dente pertenceria à Classe II, sendo, no entanto o único caso de inversão.

#### 5.4.2 - Altura

##### 5.4.2.1 - Sem adição de boro

Segundo SCHUSTER e STEPHENSON (1940) a disponibilidade comparativa de B pode ser determinada pela taxa de crescimento das plantas de girassol.

Como pode ser observado pela tabela 11, as variações das alturas foram amplas, estando entre os limites de 23 e 85 cm. Para todos os solos estudados, as alturas decresceram da super-

fície para os horizontes inferiores. Esse fato não deve estar ligado apenas ao teor de B solúvel em água do solo, já que houve horizontes inferiores com teores de B mais elevados que na superfície, mostrando, provavelmente, o efeito das propriedades físicas dos diferentes horizontes no desenvolvimento do girassol.

Considerando-se apenas os horizontes superficiais, os dados de altura variaram de 28 a 85 cm, sendo as séries de solos assim classificadas, em ordem decrescente (figura 4): Iracema, Monte Olimpo, Lajeado, Quebra Dente e Paredão Vermelho. Se olharmos os teores de B solúvel em água na tabela 4, veremos que a ordem de classificação, com exceção das séries Monte Olimpo e Lajeado que inverteram as posições, é a mesma.

Entre os horizontes A/B as variações estiveram entre 27 e 57 cm, ficando os valores mais elevados com as séries Iracema e Monte Olimpo e o menor valor com a série Paredão Vermelho, estando portanto de acordo com os dados de determinação química de B solúvel em água da tabela 4.

Quanto aos horizontes B ( $B_1$ ,  $B_{21}$ ,  $B_{22}$  e  $B_{23}$ ) as alturas variaram de 24 a 46 cm. As séries Iracema e Monte Olimpo apresentaram o maior desenvolvimento, vindo em seguida a série Quebra Dente. As alturas verificadas nesses horizontes também concordaram com os teores de B determinados quimicamente.

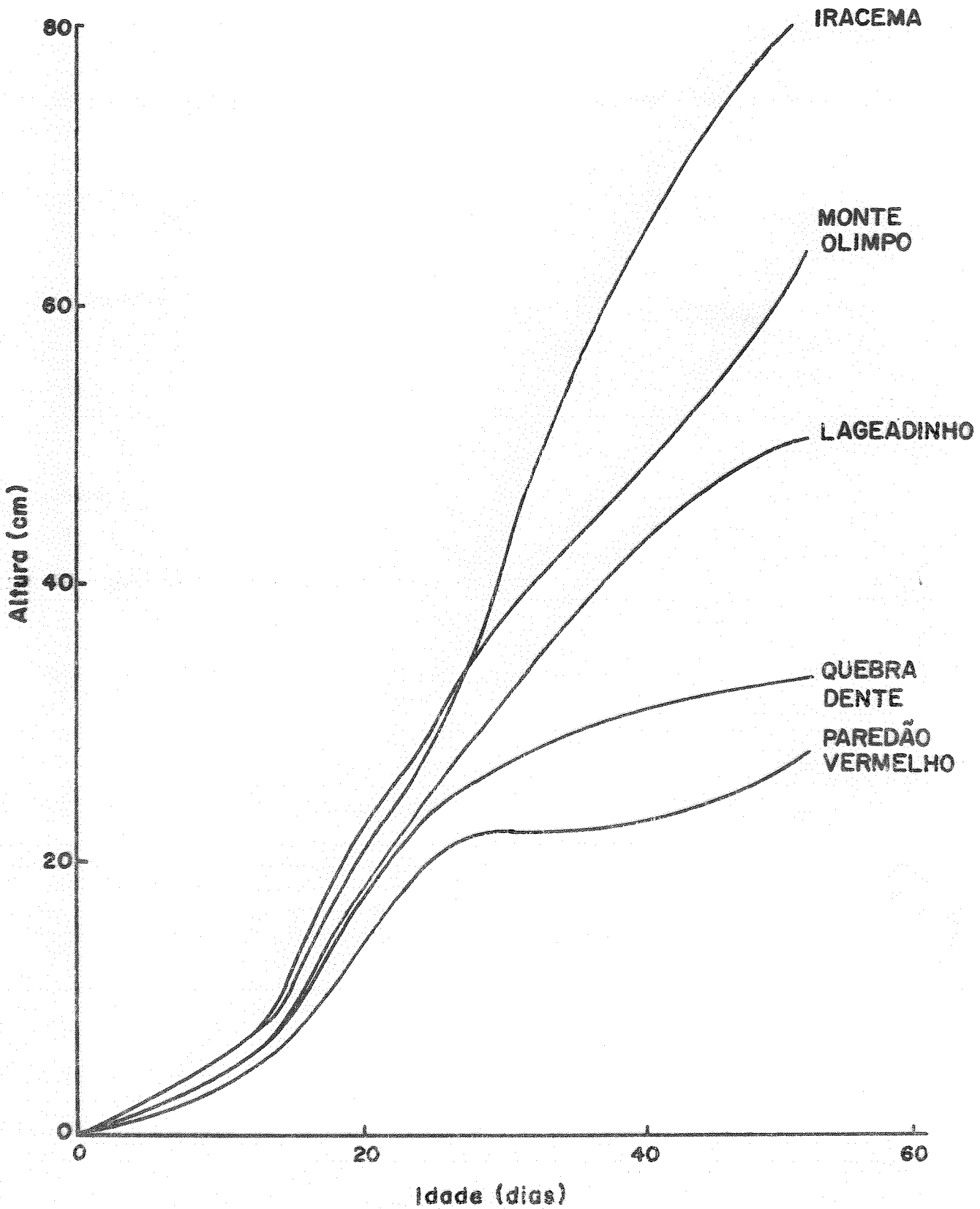


Figura 4 - Desenvolvimento em altura do girassol nos horizontes superficiais ( $A_1$ ) das cinco séries de solos



Considerando-se ainda a distribuição de B nos perfis dos diferentes solos, (figura 5) efetuou-se a análise estatística dos dados de altura dentro de cada solo. O teste F (tabela 13) não foi significativo na série Paredão Vermelho; na série Quebra Dente foi significativo ao nível de 5% e nas demais ao nível de 1%. A seguir utilizou-se o teste de Tukey (tabela 14) para verificar as diferenças entre os horizontes dos vários tipos de solos.

Para as séries Quebra Dente e Paredão Vermelho, que apresentaram os menores valores de alturas, não houve diferenças significativas entre os diversos horizontes, dentro de cada perfil. Cumpre ressaltar que, o valor de F para a série Quebra Dente esteve muito próximo, do valor crítico.

Na série Iracema a altura atingida no horizonte superficial diferiu estatisticamente dos demais horizontes; o horizonte A/B diferiu dos horizontes inferiores,  $B_{21}$  e  $B_{22}$ . Esses dois últimos horizontes não diferiram entre si.

Quanto à série Monte Olimpo, o horizonte  $A_1$  diferiu dos demais e o A/B diferiu dos dois inferiores,  $B_{21}$  e  $B_{22}$ . Essas duas séries, Iracema e Monte Olimpo, foram as mais ricas em boro solúvel em água, apresentando os valores mais elevados para altura.

O teste Tukey (tabela 15) também foi utilizado para verificar a existência de diferenças entre as alturas, observadas para os diferentes tipos de solos. As séries Quebra Den

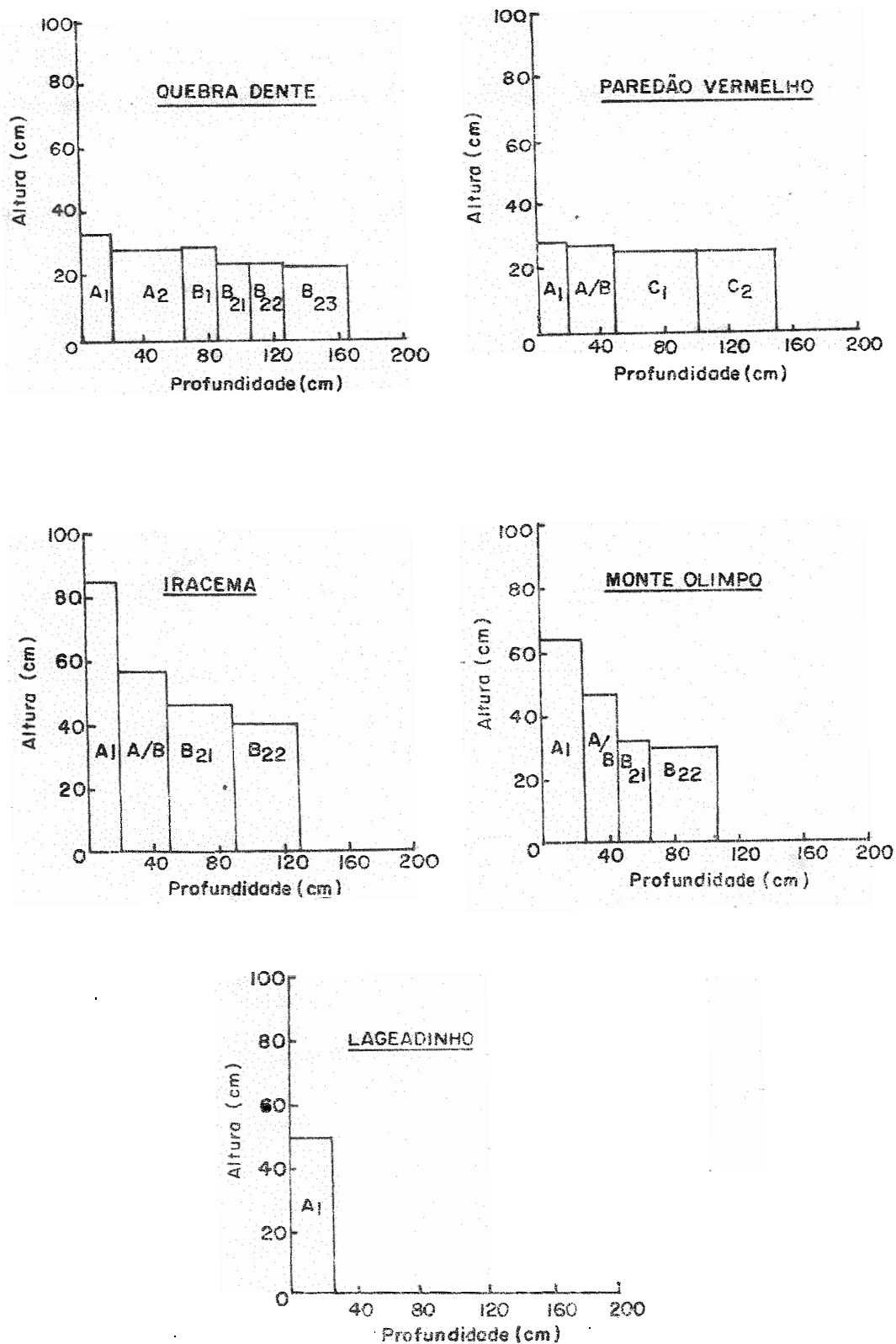


Figura 5 - Desenvolvimento do girassol em altura nos vários horizontes dos perfis das séries de solos estudadas.

Tabela 13 - Análise de variância das alturas médias obtidas nos horizontes de cada solo, sem adição de boro.

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Solos	4	9076,5994	2269,1498	114,16 <sup>**</sup>
Quebra Dente	5	249,7778	49,9556	2,51 <sup>*</sup>
Paredão Vermelho	3	24,0000	8,0000	0,40 n.s.
Iracema	3	3570,9167	1140,3056	59,88 <sup>**</sup>
Monte Olimpo	3	2158,2500	719,4167	36,19 <sup>**</sup>
(Tratamentos)	(18)	15079,5438	837,7524	42,14 <sup>**</sup>
Resíduo	38	755,3333	19,8771	
Total	56	15834,8771		

n.s. = não significativo

\* = significativo a 5%

\*\* = significativo a 1%

te e Paredão Vermelho, com as menores alturas, diferiram das demais, apenas não diferindo entre si. A série Lajeado não diferiu das séries Iracema e Monte Olimpo, mas estas duas últimas diferiram entre si.

BRASIL SOBRINHO (1965) adotou o critério empregado por COLWELL (1943) para valor-idade, utilizando o crescimento em altura das plantas de girassol, com o intuito de se obter uma classificação em função desta. A partir dos dados de altura, tabela 10, obtidos através da coleção de padrões, os solos foram assim classificados:

Classe	ppm de B	Altura em cm
I	< 0,10	< 39 - deficiência acentuada
II	0,10 a 0,30	39 a 75 - deficiência moderada
III	> 0,30	> 75 - ligeiramente ou não deficiente

As classes, nas quais os horizontes dos diversos solos foram enquadrados, através do valor-idade, pouco diferiram daquelas obtidas levando-se em conta a altura atingida pelo girassol como critério de classificação. Apenas os horizontes  $A_1$  e  $B_{23}$  da série Quebra Dente e  $B_{21}$  e  $B_{22}$  da série Monte Olimpo passaram da classe II para a classe I, permanecendo os demais com classificação iguais. Não houve portanto, mudanças na classificação desses solos, quanto aos teores de B solúvel em água determinado quimicamente.

Como feito para o valor-idade médio, proposto por COLWELL (1943), considerando-se, porém, as alturas médias obtidas através dos dois horizontes mais próximos da superfície, obteve-se a seguinte distribuição de classes (tabela 16).

Essa classificação foi idêntica àquela obtida utilizando-se o valor-idade médio, onde os resultados já foram discutidos.

Tabela 14 - Alturas médias (cm) obtidas a partir dos horizontes dos diversos solos, sem adição de boro, aos 54 dias de idade. Comparações entre horizontes.

Amostras	Horizontes	Alturas médias	d.m.s. (Tukey 5%)
1	A <sub>1</sub>	33	10,91
2	A <sub>2</sub>	28	10,91
3	B <sub>1</sub>	29	10,91
4	B <sub>21</sub>	24	10,91
5	B <sub>22</sub>	24	10,91
6	B <sub>23</sub>	23	10,91
7	A <sub>1</sub>	28	n.s.
8	A/B	27	n.s.
9	C <sub>1</sub>	25	n.s.
10	C <sub>2</sub>	25	n.s.
11	A <sub>1</sub>	50	---
12	A <sub>1</sub>	85	9,78
13	A/B	57	9,78
14	B <sub>21</sub>	46	9,78
15	B <sub>22</sub>	40	9,78
16	A <sub>1</sub>	64	9,78
17	A/B	47	9,78
18	B <sub>21</sub>	32	9,78
19	B <sub>22</sub>	30	9,78
F		42,14**	
C.V.		11,79%	

n.s. = não significativo

\*\* = significativo a 1%

Tabela 15 - Alturas médias (cm) obtidas a partir dos horizontes dos diversos solos, sem adição de boro, aos 54 dias de idade. Comparações entre solos.

Solos	Alturas médias	d.m.s. (Tukey 5%)
Quebra Dente X	26,78	4,76
Paredão Vermelho	26,33	
Iracema	57,08	
Monte Olimpo	43,42	
Quebra Dente X	26,78	7,96
Lajeado	50,33	
Paredão Vermelho X	26,33	5,12
Iracema	57,08	
Monte Olimpo	43,42	
Lajeado X	50,33	8,24
Paredão Vermelho	26,33	
Iracema	57,08	
Monte Olimpo	43,42	
F	114,16**	
C.V.	11,79%	

\*\* = significativo a 1%.

Tabela 16 - Classificação das séries de solos em função da altura média dos dois horizontes superficiais.

Solos	Horizontes	Altura média (cm)	Classe
Série Quebra Dente	A <sub>1</sub> e A <sub>2</sub>	30,5	I
Série Paredão Vermelho	A <sub>1</sub> e A/B	27,5	I
Série Lajeado	A <sub>1</sub>	50,0	II
Série Iracema	A <sub>1</sub> e A/B	71,0	II
Série Monte Olimpo	A <sub>1</sub> e A/B	55,5	II

#### 5.4.2.2 - Doses crescentes de boro

Na tabela 17 encontram-se os dados médios das alturas dos horizontes superficiais (A<sub>1</sub>) dos diferentes perfis e também areia lavada, os quais foram submetidos a doses crescentes de boro.

Com a finalidade de se verificar que a paralização do crescimento das plantas de girassol era de fato devido à falta de boro, todos os horizontes estudados receberam doses crescentes desse elemento.

Pode-se observar através dos valores de F (tabela 18) que as diferenças encontradas entre os vários níveis de boro, para cada solo, foram altamente significativas. Em seguida efetuou-se o teste Tukey, com a finalidade de se verificar as diferenças de alturas nos diferentes níveis de boro aplicados dentro de cada solo.

Tabela 17 - Alturas (cm) de girassol aos 54 dias, em horizontes superficiais ( $A_1$ ) de séries de solos do Município de Piracicaba e em areia lavada, submetidos a doses crescentes de boro.

Tratamento ppm B	Substrato					
	Areia	Quebra Dente	Paredão Vermelho	Lajeado Lajeado	Iracema	Monte Olimpo
0,00	19	33	28	50	85	64
0,10	39	55	45	77	105	81
0,20	59	74	68	88	112	91
0,30	75	81	85	93	112	99
0,40	85	90	93	103	116	108
0,50	92	96	101	104	113	107
1,00	95	99	98	111	117	107

d.m.s. (Tukey 5%) = 12,85

C.V. = 6,15%

Na coleção de padrões em areia lavada, tabela 17, houve diferenças significativas entre as alturas até a dose de 0,3 ppm. No entanto, essa dose não diferiu da de 0,4 ppm mas diferiu das seguintes, 0,5 e 1,0 ppm. A dose de 0,4 ppm, por sua vez, não diferiu de 0,5 e 1,0 ppm, levando-nos a concluir que, 0,4 ppm foi suficiente para o desenvolvimento normal do girassol em altura nas condições empregadas.



Para a série Paredão Vermelho as diferenças entre os diversos níveis de boro aplicados foram exatamente iguais à coleção de padrões em areia lavada. Neste solo a dose 0,4 ppm de B também foi suficiente para o desenvolvimento normal do girassol em altura.

Na série Quebra Dente houve diferenças significativas entre as alturas até 0,2 ppm. Essa dose não diferiu da de 0,3 ppm mas diferiu de 0,4 , 0,5 e 1,0 ppm; a dose 0,4 não diferiu das superiores, sendo considerada suficiente ao desenvolvimento do girassol.

Na série Lajeado apenas a dose 0,4 ppm não diferiu das doses superiores, sendo, portanto, considerada suficiente para o desenvolvimento normal do girassol nesse solo.

Na série Iracema todas as doses de B diferiram da dose 0,0, sendo que as demais não diferiram entre si. Acima de 0,1 ppm não houve respostas, indicando que o suprimento de B do solo foi praticamente suficiente para o desenvolvimento normal do girassol nas condições de estudo. Esse foi portanto, o solo mais rico em boro solúvel em água.

Na série Monte Olimpo aumentos significativos de altura foram conseguidos nas doses 0,1 e 0,3 ppm de boro. Essas doses foram significativamente diferentes entre si, sendo a dose 0,3 ppm suficiente para o desenvolvimento normal do girassol nesse solo.

Tabela 18 - Análise de variância das alturas médias dos horizontes superficiais ( $A_1$ ), submetidos a doses crescentes de boro.

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Solos (a)	5	25368,5483	5073,7096	187,69**
Níveis de boro (b)	6	48855,4922	8142,5820	301,22**
Interação a x b	30	5534,5073	184,4835	6,82**
Areia	6	15356,5714	2559,4286	94,68**
Quebra Dente	6	14245,2385	2374,2063	87,83**
Paredão Vermelho	6	10161,8095	1693,6349	62,65**
Lajeado	6	7828,0000	1304,6667	48,26**
Iracema	6	4606,4762	767,7460	28,40**
Monte Olimpo	6	2191,9048	365,3175	13,51**
(Tratamentos)	(41)	79758,5479	1945,3304	71,96**
Resíduo	84	2270,6665	27,0317	
Total	125	82029,2144		

\*\* = significativo a 1%.

Utilizando-se os dados da tabela 17, considerando-se até o nível 0,5 ppm de boro, calculou-se as equações de regressão, levando-se em conta a altura atingida pelo girassol e as doses de boro empregadas. Os testes F foram altamente significativos para as regressões quadráticas. As equações de regressão e os respectivos coeficientes de determinação estão na tabela 19 e as alturas calculadas, a partir dessas equações, na tabela 20.

Tabela 19 - Equações de regressões quadráticas e coeficientes de determinação ( $R^2$ ), relacionando doses crescente de boro com a altura atingida pelo girassol nos horizontes superficiais ( $A_1$ ) dos diferentes solos e areia, onde  $y$  = altura atingida pelo girassol e  $x$  = doses de boro.

Substrato	Equação de Regressão	$R^2$ (%)
Areia	$= 18,012 + 227,820 x - 152,980 x^2$	99,76
Paredão Vermelho	$= 27,846 + 242,315 x - 191,070 x^2$	99,40
Quebra Dente	$= 34,188 + 229,568 x - 216,660 x^2$	99,40
Lajeado	$= 52,832 + 217,351 x - 229,750 x^2$	97,90
Monte Olimpo	$= 64,600 + 161,024 x - 155,952 x^2$	99,54
Iracema	$= 87,276 + 161,401 x - 223,215 x^2$	94,93

Tabela 20 - Altura atingida pelo girassol (cm), calculada a partir das equações de regressão da tabela 19.

ppm B	Areia	Paredão Vermelho	Quebra Dente	Lajeado	Monte Olimpo	Iracema
0,00	18	28	34	53	65	87
0,10	39	50	55	72	79	101
0,20	57	69	71	87	91	111
0,30	73	83	84	97	99	116
0,40	85	94	91	103	104	116
0,50	94	101	95	104	106	112

### 5.4.3 - Matéria seca

#### 5.4.3.1 - Sem adição de boro

A tabela 11 nos mostra os pesos de matéria seca obtidos a partir dos horizontes dos diferentes perfis e também as respectivas classes em que foram enquadrados.

Considerando-se todos os solos, as variações de matéria seca estiveram compreendidas entre 3,28 e 22,50 g. As produções de matéria seca, para todos os solos, diminuíram em profundidade.

Levando-se em conta apenas os horizontes superficiais, os limites foram 5,60 e 22,50 g. Em ordem decrescente, as séries de solos assim se classificaram em função do peso de matéria seca atingido nesses horizontes: Iracema, Monte Olimpo, Lajeadinho, Quebra Dente e Paredão Vermelho. Essa classificação foi a mesma observada quando se considerou o crescimento em altura atingido pelas plantas de girassol.

Quanto aos horizontes A/B as variações estiveram entre 4,55 e 12,40 g. A série Iracema apresentou o valor mais elevado, pertencendo os menores valores às séries Monte Olimpo (8,48 g) e Paredão Vermelho (4,55 g). Esses dados não estão inteiramente de acordo com os dados de boro solúvel em água, pois tanto a série Iracema como a Monte Olimpo apresentaram 0,18 ppm de B, ao passo que os valores para matéria seca foram bastante divergentes, 12,40 e 8,48 g, respectivamente. Como já

mencionado anteriormente, essa diferença, pelo menos em parte, deve estar relacionada ao efeito das propriedades físicas dos diferentes horizontes.

Considerando-se os horizontes B ( $B_1$ ,  $B_{21}$ ,  $B_{22}$  e  $B_{23}$ ), a matéria seca variou de 3,28 a 8,68 g. A série Iracema apresentou os valores mais altos, enquanto as séries Quebra Dente e Monte Olimpo apresentaram valores semelhantes, próximos do limite inferior.

Foi realizada análise estatística para se avaliar a distribuição do boro no perfil, através dos dados obtidos para matéria seca. Utilizou-se o teste de Tukey (tabela 22).

O teste F, indicando diferenças de produção de matéria seca nos diferentes horizontes, para cada perfil, foi altamente significativo para todos os solos, com exceção da série Paredão Vermelho que não apresentou significância (tabela 21).

Na série Quebra Dente o peso de matéria seca do horizonte  $A_1$  foi o mais elevado e diferiu de todos os demais, com exceção do  $A_2$ . Os demais horizontes não diferiram entre si.

Na série Iracema o horizonte  $A_1$ , que apresentou peso de matéria seca mais elevado, diferiu significativamente dos demais. O horizonte A/B, logo abaixo do superficial, diferiu dos outros dois inferiores,  $B_{21}$  e  $B_{22}$ , sendo que estes não diferiram entre si.

As diferenças estatísticas entre os horizontes da série Monte Olimpo foram idênticas as da série Iracema.

Tabela 21 - Análise de variância das produções médias de matéria seca obtidas nos horizontes de cada solo, sem adição de boro.

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Solos	5	769,7487	153,9497	177,46**
Quebra Dente	5	19,4086	3,8817	4,47**
Paredão Vermelho	3	2,1541	0,7180	0,828 n.s.
Iracema	3	395,4719	131,8240	151,96**
Monte Olimpo	3	378,8146	126,2715	145,56**
(Tratamentos)	(19)	1565,5979	82,3998	94,97**
Resíduo	40	34,7035	0,8675	
Total	59	1600,3015		

n.s. = não significativo

\*\* = significativo a 1%

Utilizou-se também o teste de Tukey (tabela 23) para observar as diferenças significativas entre os pesos de matéria seca, obtidos para os diferentes tipos de solos. Neste caso, como também para a altura, o teste de Tukey é apenas aproximado, já que nem todos os solos apresentam o mesmo número de horizontes.

Tabela 22 - Produções médias de matéria seca (g) obtidas a partir dos horizontes dos diversos solos, sem adição de boro, aos 54 dias de idade. Comparações entre horizontes.

Amostras	Horizontes	Matéria seca	d.m.s. (Tukey 5%)
1	A <sub>1</sub>	6,37	2,27
2	A <sub>2</sub>	4,25	2,27
3	B <sub>1</sub>	3,78	2,27
4	B <sub>21</sub>	4,02	2,27
5	B <sub>22</sub>	3,37	2,27
6	B <sub>23</sub>	3,28	2,27
7	A <sub>1</sub>	5,60	n.s.
8	A/B	4,55	n.s.
9	C <sub>1</sub>	4,70	n.s.
10	C <sub>2</sub>	5,25	n.s.
11	A <sub>1</sub>	11,00	---
12	A <sub>1</sub>	22,50	2,04
13	A/B	12,40	2,04
14	B <sub>21</sub>	8,68	2,04
15	B <sub>22</sub>	8,25	2,04
16	A <sub>1</sub>	17,30	2,04
17	A/B	8,48	2,04
18	B <sub>21</sub>	3,39	2,04
19	B <sub>22</sub>	3,70	2,04
F		94,97 <sup>**</sup>	
C.V.		13,08%	

n.s. = não significativo

\*\* = significativo a 1%

Tabela 23 - Produções médias de matéria seca (g) obtidas a partir dos horizontes dos diversos solos, sem adição de boro, aos 54 dias de idade. Comparações entre solos.

Solos	Matéria seca	(Tukey 5%)
Quebra Dente X	4,18	1,04
Paredão Vermelho	5,02	
Iracema	12,96	
Monte Olimpo	8,22	
Quebra Dente X	4,18	1,74
Lajeado	11,00	
Paredão Vermelho X	5,02	1,14
Iracema X	12,96	
Monte Olimpo	8,22	
Lajeado X	11,00	1,80
Paredão Vermelho	5,02	
Iracema	12,96	
Monte Olimpo	8,22	
F	177,46**	
C.V.	13,08%	

\*\* = significativo a 1%



A série Quebra Dente e Paredão Vermelho, as mais pobres em boro solúvel em água, não diferiram entre si, mas se apresentaram significativamente diferentes das demais. A série Lajeado, por sua vez, diferiu de todas, enquanto as séries Iracema e Monte Olimpo diferiram entre si e das restantes.

Como feito para altura, BRASIL SOBRINHO (1965), também utilizou os dados de matéria seca, empregando o critério de COLWELL (1943). As classes foram estabelecidas em função da produção de matéria seca dos padrões em areia lavada (tabela 10):

Classe	ppm de B	Matéria seca (g)
I	< 0,10	< 4,11 - deficiência acentuada
II	0,10 a 0,30	4,11 a 9,01 - deficiência moderada
III	> 0,30	> 9,01 - ligeiramente ou não deficiente

As classes nas quais os diversos horizontes foram enquadrados, em função da produção de matéria seca, encontram-se na tabela 11. Pode-se verificar que os horizontes  $A_1$  da série Lajeado,  $A_1$  e A/B da série Iracema e  $A_1$  da série Monte Olimpo classificaram-se na classe III, ou seja, com teores de B solúvel em água acima de 0,3 ppm, sendo portanto, ligeiramente ou não deficientes. Observando-se os dados de B solúvel em água na tabela 4, vê-se que apenas o horizonte  $A_1$  da série Iracema apresentou teor de boro (0,34 ppm) que possibilitou a sua classificação na classe III, ficando os demais na classe II,

entre os limites de 0,1 e 0,3 ppm. Na série Paredão Vermelho todos os horizontes foram incluídos na classe II, sendo que, se considerássemos o teor de B determinado quimicamente, apenas o horizonte C<sub>2</sub> seria enquadrado nessa classe, enquanto os restantes passariam para a classe I. Existe, por outro lado, solos que se enquadraram na classe I através das produções de matéria seca e na classe II através das determinações químicas de B solúvel em água no solo. Em resumo, pode-se dizer que a utilização da matéria seca, como critério para se avaliar a disponibilidade de B no solo não foi tão eficiente quanto o valor-idade e a altura. As classes obtidas através desses dois últimos critérios refletiram com boa precisão as faixas dos teores de B solúvel em água no solo.

Como já empregado para valor-idade médio e altura média, utilizou-se também a produção de matéria seca média reunindo os dois horizontes mais próximos da superfície. A classificação obtida foi (tabela 24):

TABELA 24 - Classificação das séries de solos em função da produção média de matéria seca dos dois horizontes superficiais

S o l o s	Horizontes	Matéria seca (g)	Classe
Série Quebra Dente	A <sub>1</sub> e A <sub>2</sub>	5,31	II
Série Paredão Vermelho	A <sub>1</sub> e A/B	5,08	II
Série Lajeadozinho	A <sub>1</sub>	11,00	III
Série Iracema	A <sub>1</sub> e A/B	17,45	III
Série Monte Olimpo	A <sub>1</sub> e A/B	12,89	III

Todas as classes, em função da matéria seca média, diferiram daquelas obtidas através do valor-idade médio e altura média. Comparando-se essas classes com os teores de boro determinados quimicamente, houve concordância apenas com a série Quebra Dente. As demais superestimaram o teor de B solúvel em água.

#### 5.4.3.2 - Doses crescentes de boro

Na tabela 25 encontram-se os pesos de matéria seca dos horizontes superficiais dos diversos solos, além de areia lavada, os quais foram submetidos a doses crescentes de boro.

Pode-se verificar através dos valores de F (tabela 26) que as diferenças encontradas entre os vários níveis de boro, para cada tipo de solo, foram altamente significativas. Em seguida efetuou-se o teste de Tukey, com a finalidade de se verificar as diferenças de peso de matéria seca entre os diferentes níveis de boro aplicados dentro de cada solo (tabela 25).

Na coleção de padrões em areia lavada a dose de 0,1 ppm não provocou diferenças significativas em relação a dose 0,0 ppm. A dose de 0,2 ppm diferiu apenas das doses 0,0 e 1,0 ppm. As doses de 0,3 , 0,4 , 0,5 e 1,0 ppm não diferiram entre si, o que nos leva a supor que 0,3 ppm foi suficiente para o desenvolvimento normal do girassol nas condições empregadas.

Tabela 25 - Pesos de matéria seca (g) de girassol aos 54 dias, em horizontes superficiais ( $A_1$ ) de séries de solos do Município de Piracicaba e em areia lavada, submetidos a doses crescentes de boro.

Tratamento ppm B	Substrato					
	Areia	Quebra Dente	Paredão Vermelho	Lajeado	Iracema	Monte Olimpo
0,00	1,56	6,37	5,60	11,00	22,50	17,30
0,10	4,11	9,32	6,86	14,33	24,88	19,87
0,20	6,66	14,87	8,72	15,46	27,17	22,37
0,30	9,01	18,75	9,50	18,41	26,68	23,14
0,40	8,79	20,69	10,50	20,59	28,26	24,32
0,50	9,57	19,82	11,59	21,36	26,76	24,20
1,00	9,96	21,48	11,09	19,90	26,52	23,88
d.m.s. (Tukey 5%) = 2,96						
C.V. = 7,34%						

Tabela 26 - Análise de variância das produções médias de matéria seca dos horizontes superficiais ( $A_1$ ), submetidos a doses crescentes de boro.

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Solos (a)	5	5625,0603	1125,0120	786,58**
Níveis de boro (b)	6	1113,3970	185,5661	129,74**
Interação a x b	30	245,7592	8,1919	5,72**
Areia	6	181,8270	30,3045	21,19**
Quebra Dente	6	89,0425	14,8404	10,38**
Paredão Vermelho	6	638,3581	106,3930	74,39**
Lajeado	6	261,3429	43,5572	30,46**
Iracema	6	124,9415	20,8236	14,56**
Monte Olimpo	6	63,6444	10,6074	7,42**
(Tratamentos)	(41)	6984,2167	170,3467	
Resíduo	84	120,1407	1,4302	
Total	125	7104,3574		

\*\* = significativo a 1%

Na série Quebra Dente a dose 0,1 ppm não provocou aumento significativo na matéria seca em relação à dose 0,0 ppm de boro, enquanto que, a dose de 0,2 ppm provocou aumento significativo em relação às doses 0,0 e 0,1 ppm. As doses 0,3, 0,4, 0,5 e 1,0 ppm não diferiram entre si, mas diferiram das doses 0,0, 0,1 e 0,2 ppm. Vê-se, portanto, que 0,3 ppm foi suficiente para esta série.

Na série Paredão Vermelho as doses 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5 e 1,0 ppm não diferiram entre si mas diferiram da dose 0,0; não houve aumento significativo com a aplicação de 0,1 ppm em relação à testemunha. Para este solo a dose 0,2 pode ser considerada suficiente.

Na série Lajeadozinho as doses 0,1 e 0,2 ppm diferiram da testemunha sem diferir entre si; 0,3 , 0,4 , 0,5 e 1,0 ppm de B também não diferiram entre si. A dose 0,3 ppm foi suficiente para esta série.

Na série Iracema as doses 0,0 e 0,1 ppm de B diferiram significativamente de 0,4 ppm, sendo que esta última não diferiu das demais. Doses mais elevadas que 0,40 ppm provocaram decréscimo na produção de matéria seca. A dose 0,2 ppm foi suficiente para o desenvolvimento do girassol nesta série.

Na série Monte Olimpo não houve aumento significativo em relação à testemunha com a dose 0,1 ppm, havendo, porém, com 0,2 ppm de B; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5 e 1,0 ppm de B não diferiram entre si. A dose 0,2 foi suficiente para este solo.

Utilizando-se os dados da tabela 25, considerando-se até o nível 0,5 ppm de boro, calculou-se as equações de regressão, levando-se em conta a produção de matéria seca do girassol e as doses de boro empregadas. Os testes F foram altamente significativos para as regressões quadráticas. As equações de regressão e os respectivos coeficientes de determinação estão na tabela 27 e as alturas calculadas, a partir dessas equações, na tabela 28.

Tabela 27 - Equações de regressões quadráticas e coeficientes de determinação ( $R^2$ ), relacionando doses crescentes de boro com a produção de matéria seca atingida pelo girassol nos horizontes superficiais ( $A_1$ ) dos diferentes solos e areia, onde  $y$  = matéria seca produzida e  $x$  = doses de boro.

Substrato	Equação de regressão	$R^2$
Areia	$= 1,402 + 33,898 x - 35,555 x^2$	98,44
Paredão Vermelho	$= 5,567 + 15,710 x - 7,619 x^2$	99,30
Quebra Dente	$= 5,457 + 59,999 x - 59,850 x^2$	97,26
Lajeado	$= 11,097 + 28,650 x - 15,300 x^2$	98,54
Monte Olimpo	$= 17,280 + 30,612 x - 33,465 x^2$	99,38
Iracema	$= 22,508 + 28,690 x - 39,700 x^2$	93,16

Tabela 28 - Matéria seca (g) produzida pelo girassol, calculada a partir das equações de regressão da tabela 27.

ppm B	Areia	Paredão Vermelho	Quebra Dente	Lajeado	Monte Olimpo	Iracema
0,00	1,40	5,46	5,57	11,10	17,28	22,51
0,10	4,44	7,06	10,86	13,81	20,01	24,98
0,20	6,76	8,40	15,06	16,22	22,06	26,66
0,30	8,37	9,59	18,07	18,32	23,45	27,54
0,40	9,27	10,03	19,88	20,11	24,17	27,63
0,50	9,46	11,52	20,49	21,60	24,22	26,93

## 5.5 - Correlações estudadas

### 5.5.1 - Boro total e boro solúvel em água e teor de argila

Os dados referentes ao B total e solúvel em água estão contidos na tabela 4 e os dados sobre argila estão na ta bela 2.

Tanto para B total como para B solúvel em água verificou-se correlação positiva com o teor de argila, apresentando coeficientes de correlações relativamente baixos,  $r_1 = 0,46$  e  $r_2 = 0,51$  respectivamente, significativo ao nível de 5% de probabilidade. Sem dúvida, como é atribuído por muitos autores, a textura desempenha importante papel no controle da ta xa de movimentação de B no solo, sendo os solos de textura mais fina mais ricos em B total e B solúvel, fato este constatado por GUPTA (1968). Existem, por outro lado, autores que não encontraram correlação entre boro solúvel e argila (PAGE e PADEN, 1954), enquanto que OBUKHOV (1968) encontrou coeficiente de correlação significativo,  $r = 0,60$ .

### 5.5.2 - Boro solúvel em água e pH

Os dados sobre pH e boro solúvel em água estão nas tabelas 1 e 4 respectivamente.



Feita a análise não houve correlação significativa entre boro solúvel em água e pH, pelo teste de Tukey.

Os valores de pH dos solos em estudo estão compreendidos entre 4,8 e 6,1, ou seja, estão dentro da faixa ácida. Esse fato é bastante importante, já que, para BERGER e TRUOG (1949), na faixa ácida não é o pH o fator que exerce maior influência sobre a disponibilidade de B e sim a matéria orgânica, ocorrendo o inverso na faixa alcalina. BRASIL SOBRINHO (1965) trabalhando com grandes grupos de solos do Estado de São Paulo, com pH compreendidos entre 4,7 a 6,6 e GUPTA (1968) entre 4,5 a 6,5, também não encontraram correlação significativa entre esses dois fatores. Autores como OLSON e BERGER (1946), BINGHAM *et alii* (1971) e SCHALSCHA *et alii* (1973), encontraram evidência da pouca influência do pH sobre a disponibilidade de B na faixa ácida. Além desse fato, devemos considerar que estamos trabalhando a diferentes profundidades, o que afeta propriedades do solo como matéria orgânica e o próprio pH, os quais sem dúvida estão sujeitos a diferentes variações quando considerados na superfície do solo e quando considerados em profundidade.

### 5.5.3 - Boro solúvel em água e matéria orgânica

Os dados sobre boro solúvel em água estão na tabela 4 e sobre matéria orgânica na tabela 1.

Existe uma estreita concordância entre os autores quanto ao fato do teor de B disponível ou solúvel estar estreitamente ligado ao conteúdo de matéria orgânica do solo. Nos solos estudados encontrou-se estreito coeficiente de correlação ( $r = 0,83$ ), significativo ao nível de 1% de probabilidade. Autores como BERGER e TRUOG (1945), BERGER (1949), PAGE e PADEN (1954), BRASIL SOBRINHO (1965), GUPTA (1968) e HOROWITZ e DANTAS (1973), também obtiveram significativos coeficientes de correlações entre essas variáveis.

Nas condições do presente trabalho, onde se estudou os horizontes de todo o perfil, é interessante a existência dessa correlação, pois, normalmente os teores mais elevados de matéria orgânica se encontram na superfície do solo, diminuindo em profundidade, devendo, portanto, dar-se o mesmo em relação ao boro solúvel em água.

#### 5.5.4 - Boro solúvel em água e % $Fe_2O_3$ livre

Os dados sobre boro solúvel e óxido de ferro livre estão presentes nas tabelas 4 e 1 respectivamente.

Estudos sobre compostos de ferro e alumínio em relação à disponibilidade de B no solo são bastante recentes, tendo sido desenvolvidos nesses últimos anos. No dizer de SIMS e BINCHAM (1968) e RHOADES *et alii* (1970a) são os principais constituintes do solo que adsorvem B. Nos solos em estudo vê-

se que, aqueles que apresentaram teores mais elevados de B solúvel também foram os mais ricos em  $Fe_2O_3$ , embora também tenham sido os solos com maiores teores de matéria orgânica. O coeficiente de correlação encontrado entre as variáveis foi 0,62 ao nível de 1% de probabilidade. Talvez o maior conteúdo de  $Fe_2O_3$  previna perdas de boro solúvel por lixiviação devido ao fato de adsorvê-lo, embora haja um equilíbrio entre o B adsorvido pelo óxido de ferro e o B solúvel, pois há um gradiente de adsorção, de acordo com SIMS e BINGHAM (1968a), segundo o qual a quantidade de boro adsorvida diminui com o envelhecimento desse óxido.

O fato de solos mais ricos em óxidos de ferro apresentarem teores mais elevados de boro solúvel em água também foi verificado por BRASIL SOBRINHO (1965), para as séries Monte Alegre, Pau D'álho e Bairrinho, do Município de Piracicaba.

#### 5.5.5 - Boro solúvel em água e altura do girassol

Os dados sobre B solúvel e altura do girassol estão nas tabelas 4 e 6, respectivamente.

Sem dúvida alguma, é de todo interessante a existência de uma relação entre o teste biológico, medido pela altura, com a determinação química de boro solúvel no solo. O coeficiente de correlação encontrado foi de 0,85 ao nível de 1% de probabilidade. Esse fato também foi comprovado por BRASIL SOBRINHO (1965), onde o autor encontrou coeficiente de correlação de 0,76 para grandes grupos de solos do Estado de São Paulo e 0,79 para séries de solos do Município de Piracicaba, ambos ao nível de 1% de probabilidade. Isso leva a reforçar o valor desse método biológico como medida do teor de boro disponível do solo.

#### 5.5.6 - Boro solúvel em água e matéria seca

Os dados sobre boro solúvel em água e matéria seca também apresentou alto coeficiente de correlação,  $r = 0,79$  ao nível de 1%, com boro solúvel do solo. Em grandes grupos de solos do Estado de São Paulo e séries de solos do Município de Piracicaba, BRASIL SOBRINHO (1965), obteve coeficiente de correlação igual a 0,80 entre essas variáveis, mostrando-se significativo ao nível de 1%.

## 6 - CONCLUSÕES

- Os teores de boro total variaram de 9,1 a 112,5 ppm.
- Com exceção da série Iracema, a distribuição de boro total não variou ao longo do perfil, sendo a série Paredão Vermelho aquela que apresentou os teores mais baixos.
- Os teores de boro solúvel em ácido fosfórico variaram entre 1,1 e 4,9 ppm.
- A distribuição de boro solúvel em ácido fosfórico nos perfis estudados diminuiu e aumentou em profundidade, nas séries Paredão Vermelho e Iracema, respectivamente, tendo a série Monte Olimpo apresentado os teores mais altos.
- Os teores de boro solúvel em água variaram de 0,06 a 0,34 ppm.

- A série Paredão Vermelho apresentou aumento no teor de boro solúvel em água com a profundidade; nas séries Iracema e Monte Olimpo houve diminuição e na série Quebra Dente não houve variação, sendo o solo Paredão Vermelho aquele que apresentou os mais baixos teores.
- Considerando-se os teores de boro solúvel em água dos horizontes superficiais dos solos estudados, em relação ao desenvolvimento do girassol, estes podem ser assim classificados: acentuadamente deficiente - série Paredão Vermelho; moderadamente deficiente - Quebra Dente, Lajeado e Monte Olimpo; ligeiramente ou não deficiente - Iracema
- Frente ao estudo conduzido não foi possível fazer-se generalizações sobre a influência do material de origem e da pedogênese na distribuição do boro total nas séries de solos estudadas.
- As faixas de teores de boro solúvel em água presentes nos solos foi melhor refletida pela classificação através do valor-idade e altura que pela matéria seca produzida pelo girassol.
- Encontrou-se correlação entre boro total e argila e boro solúvel em água com argila, pH, matéria orgânica e  $Fe_2O_3$ , além da altura atingida pelo girassol e produção de matéria seca.

## 7 - SUMMARY

Samples of selected horizons from profiles of five soil series representative of Piracicaba Municipality, namely Paredão Vermelho, Quebra Dente, Lajeadozinho, Iracema and Monte Olimpo, were used for a study on boron. For this purpose total boron, 85% phosphoric acid soluble and boiling water soluble boron were determined and a biological test using sunflower (*Helianthus annuus*, L.) as the test plant, was conducted in a greenhouse.

Chemical determinations of boron content were done following curcumin's method.

The sunflower biological test consisted of treating samples from each horizon (total of 19 for the 5 soil series) with increasing dosages of boron: 0,0 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5 e 1,0 ppm, respectively. These seven treatments were replicated three times for each horizon. A complete nutrient solution minus boron was given to each treatment. Reference pots containing 2 mm silica were received the same treatments given to the horizon samples. Each individual pot was planted with 5 sunflower seedlings. The duration of the greenhouse test was 54 days. During this period the evolution of boron deficiency symptoms on the plants was observed with the purpose of determining the age-value for each horizon. Data were also gathered for plant height variation during the period and dry weight when the test was terminated.

Correlation studies were made for the various forms of chemically determined boron, soil characteristics, height and dry weight of sunflower plants.

Total boron was constant through the profiles studied, except for series Iracema ; Paredão Vermelho showed the lowest values.

Highest values for phosphoric acid-soluble boron found for Monte Olimpo. As for series Iracema it increased with whereas for Paredão Vermelho a decrease was observed.

These results were reversed for water-soluble boron. It decreased with depth for Iracema and Monte Olimpo series and increased for Paredão Vermelho though exhibit the lowest values.



Age-value and plant height classes showed better agreement with water-soluble boron content in the soil than did by matter production.

Soil characteristics correlated differently with the various forms of boron. Total boron correlated with clay content ; water soluble boron correlated with clay, organic matter,  $Fe_2O_3$  , plant height and dry matter. No correlation was found for soil pH and any of the boron forms and for phosphoric acid soluble boron and the above mentioned soil characteristics.

## 8 - LITERATURA CITADA

- BAKER, A.S., 1971. Relation between available boron and boron extracted from soils by hot water or phosphoric acid. Soil Sci. and Plant Anal., 2:311-320.
- BERGER, K.C. e E. TRUOG, 1940. Boron deficiencies as revealed by plant and soil tests. J. of the Amer. Soc. of Agron. Geneva, 32:297-301.
- BERGER, K.C. & E. TRUOG, 1945. Boron availability in relation and organic matter content. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Morgantown, 10:113-116.
- BERGER, K.C., 1949. Boron in soils and crops. Advances in Agronomy. New York, London, 1:321-351.

- BERGER, K.C. e P.F. PRATT, 1963. Advances in Secondary and Micronutrient Fertilization. In: MALCOLM, H.M ; G.L. BRIDGER e L.B. NELSON, Editors. Fertilizers Technology and Usage. Madison, Soil. Sci. Soc. of Amer., p. 287-340.
- BIGGAR, J.W. e M. FIREMAN, 1960. Boron adsorption and release by soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 24:115-120.
- BINGHAM, F.T. ; A.L. PAGE ; N.T. COLEMAN e K. FLACH., 1971. Boron adsorption characteristics of selected amorphous soils from Mexico and Hawaii. Madison, 35:546-550.
- BRADFORD, G.R. 1966. Boron. In: CHAPMAN, H.D., Editor. Diagnostic Criteria for Plants and Soils. Univ. of California, Div. of Agric. Sciences. p. 33-60.
- BRASIL SOBRINHO; M:O:C., 1965. Levantamento do teor de boro em alguns solos do Estado de São Paulo. ESALQ/USP, 135 p. (Tese de Livre Docência).
- CAMPOS, H., 1976. Estatística Experimental Não-Paramétrica. Departamento de Matemática e Estatística. Piracicaba, ESALQ/USP. 322 p.
- CATANI, R.A., J.C. ALCARDE e F.M. KROLL, 1971. A adsorção de boro pelo solo. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz". Piracicaba, XXVII: 189-198.
- CATANI, R.A. e A.O. JACINTHO, 1974. Avaliação da fertilidade do solo. Métodos de Análise. Piracicaba, S.P., Editora Agronômica Ceres. 61 p.
- COLWELL, W.E., 1943. A biological method for determining the relative boron contents of soils. Soil Science. New Brunswick, 56:71-94.

- COMISSÃO DE SOLOS, 1960. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, SNPA, 634 p.
- COOK, R.L. & C.E. MILLAR, 1939. Some soil factors affecting boron availability. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Morgantown, 4:297-301.
- DEL RIO, J.F.S. e E. BORNEMISZA, 1962. Analisis Químico De Suelos. Turrialba, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. 107 p.
- DIBLE, W.T., E. TRUOG e K.C. BERGER, 1954. Boron Determination in soils and plants. Anal. Chem. New York, 26:418-421.
- EATON, F.M. e L.V. WILCOX, 1939. The behavior of boron in soils. Washington. Technical Bulletin 696, U.S. Dept. of Agriculture. 57 p.
- FRANCO, A.B., 1957. Determinacion biologica de boro em ocho suelos del Valle Del Cauca. Acta Agronomica. Palmira, 7: 103-139.
- GRAHAM, E.R., 1957. The weathering of some boron-bearing materials. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Madison, 21:505-508.
- GUPTA, U.C., 1968. Relationship of total and hot-water soluble boron, and fixation of added boron, to properties of podzol soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Madison, 32:45-48.
- GUPTA, U.C., 1972. Interaction effects of boron and lime on barley. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 36:332-334.

- GUPTA, U.C. e J.A. CUTCLIFFE, 1972. Effect of lime and boron on brown-heart, leaf tissue calcium/boron ratios, and boron concentrations of rutabaga, Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 36:936-939.
- GYUL'AKHMEDOV, A.N. e YA. M. PEYSAKHOV, 1968. Boron content in vineyard soils of the Derbent Rayon of Dagestan ASSR and effectiveness of boron fertilizers. Soviet Soil Science. Madison, 801-806.
- HATCHER, J.T. ; C.A. BOWER e M. CLARK, 1967. Adsorption of boron by soils as influenced by hydroxy aluminum and surface area. Soil Science. New Brunsvick, 104:422-426.
- HOAGLAND, D.R. e ARNON, 1950. The water Culture. Method for growing plants without soil. Calif. Agr. Exp. Sta. Circ. 347 p.
- HOBBS, J.A. e B.R. BERTRAMSON, 1949. Boron uptake by plants as influenced by soil moisture. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Madison, 22:249-251.
- HODGSON, J.F., 1963. Chemistry of the micronutrient elements in soils. Advances in Agronomy. New York, London, 15:119-159.
- HOROWITZ, A. e H.S. DANTAS, 1973. Boro disponível nos solos da zona litoral - mata de Pernambuco. Pesq. Agrop. Bras., Sér. Agron. Rio de Janeiro, 8: 163-168.
- JACKSON, M.L., 1956. Soil Chemical Analysis. Advanced Course. Madison, University of Wisconsin, 894 p.
- JACKSON, M.L., 1965. Chemical Composition of Soils. In: BEAR, F.E., Editor. Chemistry of the Soil. Second edition. New York, Reinhold Publishing Corporation. p. 71-141.

- JACKSON, M.L., 1970. Análises Químico de Suelos. Tradução de J.B. MARTINES. segunda Edición, Barcelona. Ediciones Omega S.A. p. 501-523.
- JACKSON, J.F. e K.S.R. CHAPMAN, 1974. The Role of Boron in Plants. In: NICHOLAS, D.J.D. e A.R. EGAN, Editors. Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems. New York, Academic Press, Inc. p. 213-225.
- JORDAN, J.V. e W.L. POWERS, 1946. Status of boron in Oregon soils and plant nutrition. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 11:232-331.
- KILMER, V.J. e L.T. ALEXANDER, 1949. Methods of making mechanical analysis of soil. Soil Science. New Brunswick, 68:15-24.
- KRAUSKOPF, K.B., 1972. Geochemistry of micronutrients. In: MORTVEDT, J.J. ; P.M. GIORDANO e W.L. LINDSAY, Editors. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Sci. Soc. of Amer, Inc., p. 7-40.
- KUBOTA, J., K.C BERGER e E. TRUOG, 1948. Boron movement in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Madison, 13:130-134.
- MACLEAN K.S. e W.M. LANGILLE, 1976. The extractable trace element content of acid soils and the influence of pH, organic matter and clay content. Commun. in Soil Sci. and Plant Anal. New York, 7: 777-785.
- MALAVOLTA, E., 1976. Manual de Química Agrícola. Nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo, Editora Agronômica Ceres. 528 p.

- MALCOLM, M. ; A.L. PAGE e F.T. BINGHAM, 1972. Adsorption interactions of monosilicic and boric acid on hydrous oxides of iron and aluminum. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Madison, 36:510-514.
- MARCONI, A., 1969. Contribuição ao estudo da mineralogia de solos do Município de Piracicaba. ESALQ/USP, 101 p. (Tese de Doutorado).
- MARTENS, D.C., 1968. Plant availability of extractable boron, cooper, and zinc as related to selected soil properties. Soil Science. New Brunsvick, 106:23-28.
- MIDGLEY, A.R. e D.E. DUNKLEE, 1939. The effect of lime on the fixation of borates in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Gainesville, 4:302-307.
- MILJKOVIC, N.S. ; B.C. MATTHEWS e M.H. MILLER, 1966a. The available boron content of the genetic horizons of some Ontario soils. I. The relationship between water-soluble boron and other soil properties. Can. J. of Soil Sci. Ottawa. 46:133-138.
- MILJKOVIC, N.S. ; B.C. MATTHEWS e M.H. MILLER, 1966b. The available boron content of the genetic horizons of Ontario soils. II. The relationship between boron absorption by sunflowers and other soil properties. Can. J. of Soil Sci. Ottawa. 46:139-145.
- MITCHELL, R.L. 1965. Trace elements in soils. In: BEAR, F. E., Editor. Chemistry of the Soil. Second edition. New York, Reinhold Publishing Corporation, p. 320-368.

- MORTVEDT, J.J. e H.G. CUNNINGHAM. 1971. Production, marketing, and use of other secondary and micronutrient fertilizer. In: OLSON, R.A., Editor - Fertilizer Technology & Use. Second edition. Madison, Soil Sci. Soc. of Amer. Inc., p. 413-454.
- MULVEHILL, J.F. e J.M. MACGREGOR, 1955. The effect of some trace elements on the yield and composition of alfalfa and oats in Minnesota. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Madison, 19: 204-207.
- NAFTEL, J.A., 1937. The influence of excessive liming on boron deficiency in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Gainesville, 2:383-384.
- NORRISH, K., 1975. Geochemistry and mineralogy of trace elements. In: NICHOLAS, D.J.D. e A.R. EGAN, Editors. Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems. New York, Academic Press, Inc. P. 55-81.
- OBUKHOV, A.I., 1968. Content and distribution of minor elements in the soils of the dry tropical zone of Burma. Soviet soil Science. Madison, 224-233.
- OKAZAKI, E. e T.T. CHAO, 1968. Boron adsorption and desorption and desorption by some hawaiian soils. Soil Science. New Brunswick, 105:255-259.
- OLSON, R.V. e K.C. BERGER, 1946. Boron fixation as influenced by pH, organic matter content and other factors. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Morgantown, 11:216-220.
- OUELLETT, G.J. e R.O. LACHANCE, 1954. Soil and plant analyses as means of diagnosing boron deficiency in alfalfa in Quebec. Can. J. of Agric. Sci. 494-503.



- PAGE, N.R. & W.R. PADEN, 1954. Boron supplying power of several South Carolina soils. Soil Science. New Brunswick, 77: 427-434.
- PARKS, R.Q. e B.T. SHAW, 1941. Possible mechanisms of boron fixation in soil: I. Chemical. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Morgantown, 6:219-223.
- PETERSON, L.A. e R.C. NEWMAN, 1976. Influence of soil pH on the availability of added boron. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 40:280-282.
- PIMENTEL GOMES, F., 1973. Curso de Estatística Experimental. Piracicaba, São Paulo, Livraria Nobel S.A. 430 p.
- RANKAMA, K. e TH. G. SAHAMA, 1968. Geochemistry. Chicago, Univ. of Chicago Press. 912 p.
- RANZANI, G. ; O. FREIRE e T. KINJO, 1966. Carta de solos do Município de Piracicaba. ESALQ/USP, 85 p.
- REISENAUER, H.M., 1967. Availability assays for the secondary and micronutrient anions. In: STELLY, M. e H. HAMILTON, Editors. Soil Testing and Plant Analysis: Part I: Soil Testing. Madison, Soil Sci. Soc. of Amer., Inc. p. 71-102.
- REISENAUER, H.M ; L.M. WALSH e R.G. HOEFT, 1973, Testing Soils for Sulphur, Boron, Molybdenum, and Chlorine. In: WALSH, L.M. e J.D. BEATON, Editors. Soil Testing and Plant Analysis. Second Edition, Madison, Soil Sci. Soc. of Amer., Inc. p. 173-200.
- RHOADES, J.D. ; R.D. INGVALSON e J.T. HATCHER, 1970a. Adsorption of boron by ferromagnesian minerals and magnesium hydroxide. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 34: 938-941.

- RHOADES, J.D. ; R.D. INGVALSON e J.T. HATCHER, 1970b. Laboratory determination of leachable soil boron. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 34: 871-875.
- ROBERTSON, L.S., B.D. KNEZEK e J.O. BELO, 1975. A survey of Michigan soils as related to possible boron toxicities Commun. in Soil Sci. and Plant Anal. New York, 6: 359-373.
- SCHALSCHA, E.B. ; F.T. BINGHAM ; G.G. GALINDO & H.P. GALVAN., 1973. Boron adsorption by vulcanic ash soils in southern Chile. Soil Science, New Brunswick, 116: 70-76.
- SHAWARBI, M.Y., 1952. Soil Chemistry. London, Chapman & Hall Ltda. 420 p.
- SCHUSTER, C.E. e R.E. STEPHENSON, 1940. Sunflower as an indicator plant of boron deficiency in soils. J. Amer. Soc. Agron. Washington, 32: 607-621.
- SCOTT, H.D. ; S.D. BEASLEY e L.F. THOMPSON, 1975. Effect of lime on boron transport to and uptake by cotton. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 39: 1116-1121.
- SIMS, J.R. e F.T. BINGHAM, 1967. Retention of boron by I. Layer silicates. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Madison, 31: 728-732.
- SIMS, J.R. e F.T. BINGHAM, 1968a. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials: II. Sesquioxides. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Madison, 32: 364-369.
- SIMS, J.R. e F.T. BINGHAM, 1968b. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials: III. Iron and aluminum-coated layer silicates, and soil materials. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 32: 369-373.

- SINGH, S.S., 1964. Boron Adsorption equilibrium in soils. Soil Science. New Brunswick, 98: 383-387.
- STINSON, C. H., 1953. Relation of water-soluble boron in Illinois soils to boron content of alfalfa. Soil Science. New Brunswick, 75: 31-36.
- WEAR, J.I. e R.M. PATTERSON, 1962. Effect of soil pH and texture on the availability of water-soluble boron in the soil. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 26: 344-346.
- WEAR, J.I. 1965. Boron. In: BLACK, C.A., Editor. Methods of Soil Analysis. Part 2- Chemical and Microbiological properties. Madison, Amer. Soc. of Agronomy, Inc., p. 1059-1063.
- WILSON, C.M. ; R.L. LOVVORN e W.W. WOODHOUSE Jr., 1951. Movement and accumulation of water-soluble boron within the Soil profile. Agronomy Journal. Madison, 43: 363-367.
- WOLF, B., 1939. Experiments with boron on some New Jersey Soils. Soils Science. New Brunswick, 48: 41-57.
- WOLF, B., 1940. Factors influencing availability of boron in soil and its distribution in plants. Soil Science. New Brunswick, 50: 209-220.
- ZYRIN, N.G. e YU. N. ZBORISHCHUK, 1975. Boron in the plow layer of soils in the european USSR. Soviet Soil Science. Madison, 7: 330-338.