

BORO TOTAL E SOLÚVEL E SUAS RELAÇÕES COM ALGUNS ATRIBUTOS DOS SOLOS DO ESTADO DO CEARÁ⁽¹⁾

F. R. SILVA⁽²⁾ & F. F. FERREYRA H.⁽³⁾

RESUMO

Foram avaliados os teores de boro total e solúvel, por meio de três extratores, usados como índices de disponibilidade para as plantas, e suas relações com as propriedades do solo em unidades de mapeamento representativas do estado do Ceará. Utilizaram-se 48 amostras compostas da camada superficial (0-20 cm) de solos classificados como: Areia Quartzosa (AQd), Aluvial (Ae), Planossolo (PL), Bruno Não-Cálcico (NC), Cambissolo (Ce), Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e Litossolo (Re). O boro total foi determinado após fusão com carbonato de sódio, e o boro solúvel por meio dos extratores: água quente, HCl 0,05 mol L⁻¹ e Mehlich-1. O B total variou entre 8,3 e 52,2 mg kg⁻¹, com média geral de 16,0 mg kg⁻¹, verificando-se as menores médias nos solos NC, Re e AQd e as maiores nos solos LV, PL e PV. Os teores de B solúvel variaram entre 0,22 e 1,22 mg kg⁻¹, com média de 0,60 mg kg⁻¹, na água quente; entre 0,21 e 1,24 mg kg⁻¹, com média de 0,53 mg kg⁻¹, no HCl 0,05 mol L⁻¹; e entre 0,50 e 1,81 mg kg⁻¹, com média de 1,07 mg kg⁻¹, no Mehlich-1, representando 3,76; 3,32 e 6,76% do B total, respectivamente. As menores médias foram apresentadas pelos solos AQd e LV, e as maiores pelo Ce. Os três extratores correlacionaram-se de forma positiva e altamente significativa. O B total e a matéria orgânica explicaram 28,8 e 38,3% do B extraído pela água quente, respectivamente. O conteúdo de argila, os óxidos de Mn e os sesquióxidos de Fe e Al amorfos e cristalinos influenciaram em menor proporção. A inclusão dessas características numa análise de regressão múltipla melhorou os coeficientes de correlação.

Termos de indexação: micronutriente, boro no solo, extratores químicos, atributos do solo.

⁽¹⁾ Trabalho financiado pelo CNPq. Recebido para publicação em julho de 1997 e aprovado em agosto de 1998.

⁽²⁾ Pesquisadora do Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará - UFC. Caixa Postal 12.168, CEP 60021-970 Fortaleza (CE).

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias, UFC. Bolsista do CNPq.

SUMMARY: *TOTAL AND SOLUBLE BORON CONTENTS AND THEIR RELATIONSHIPS WITH SOME SOIL PROPERTIES IN THE STATE OF CEARÁ, BRAZIL*

Total and soluble boron contents were available by means of three extractors, used as plant availability indexes, in order to study their relationships with soil properties in representative mapping units of the state of Ceará, Brazil. Composite soil samples from the surface soil layers (0-20 cm) of Quartz Sands (AQd), Alluvium (Ae), Planosol (PL), Bruno non Calcic (NC), Cambisol (Ce), Red-Yellow Podzol (PV), Red-Yellow Latosol (LV) and Litosol (Re) were used. Total boron was determined after fusion with sodium carbonate and soluble boron by using the following extractors: hot water, HCl 0.05 mol L⁻¹ and Mehlich-1. Total boron content ranged from 8.3 to 52.2 mg kg⁻¹, with an average of 16.0 mg kg⁻¹. The lowest averages were observed for NC, Re and AQd, and the highest for LV, PL and PV. Available boron, extracted with hot water, ranged from 0.22 to 1.22 mg kg⁻¹, an average of 0.60 mg kg⁻¹; for boron extracted by HCl 0.05 mol L⁻¹, the content ranged from 0.21 to 1.24 mg kg⁻¹, an average of 0.53 mg kg⁻¹; for Mehlich-1, the boron content ranged from 0.50 to 1.81 mg kg⁻¹, an average of 1.07 mg kg⁻¹. The soils with the lowest averages were AQd and LV and the soil with the highest was Ce. Available boron correlated positively in the three chemical extractors. For hot water extraction, total B and organic matter were the main sources of available boron (28.8% and 38.3%) with minor influence of the clay content, Mn oxides, sesquioxides of Fe and Al.

Index terms: micronutrients, soil boron, chemical extractors, availability.

INTRODUÇÃO

Warrington reconheceu o B como nutriente essencial para as plantas, ao encontrar que a sua deficiência restringia o crescimento radicular e ocasionava a morte das partes apicais de crescimento na cultura do feijoeiro (Russel, 1957). No Brasil, a carência de B tem sido registrada em diversas culturas, tais como: o alho, (Ferrari & Churata-Masca, 1975); a couve-flor (Ogata et al., 1979); o cafeeiro (Instituto Brasileiro do Café, 1974), dentre outras. Segundo Malavolta (1981), já foi constatada deficiência de B em diversas culturas de importância econômica em pelos menos dez estados brasileiros. No Ceará, informações sobre o conteúdo do boro e, em geral, dos micronutrientes no solo são escassas, o que torna importante os levantamentos de seus teores como um meio de fornecer subsídios para a identificação de possíveis problemas de deficiência nas culturas.

O teor de B total nos solos varia amplamente e, na sua maioria, encontra-se na faixa de 4 a 98 mg kg⁻¹, com média em torno de 30 mg kg⁻¹ (Jackson, 1970), embora tenham sido verificados teores muito baixos, de 1 a 2 mg kg⁻¹, em alguns Podzólicos da Bielorrússia (Aubert & Pinta, 1977) e valores tão altos como 1.000 mg kg⁻¹, no litoral sul do Peru (Fox, 1968). No Brasil, têm sido reportados teores de B total entre 10 e 34,2 mg kg⁻¹ nos horizontes superficiais (A₁) de solos do município de Piracicaba (Casagrande, 1978) e de 19 a 150 mg kg⁻¹, nos horizontes Ap ou A₁, de sete grandes grupos de solos do estado de São Paulo (Brasil Sobrinho, 1965). Segundo Malavolta (1980), na maioria dos solos brasileiros, os teores de B total

encontram-se na faixa de 30 a 60 mg kg⁻¹. As grandes variações do B total nos solos são determinadas, em parte, pelo material de origem e, nos diversos tipos de solos, refletem principalmente as diferenças entre as diversas regiões geográficas e zonas climáticas.

Em razão da baixa solubilidade de suas formas nativas nos solos, o B total não é considerado bom índice de sua disponibilidade para as plantas. Esse fato tem levado ao desenvolvimento de diversos métodos de extração para o diagnóstico de níveis de deficiência ou suficiência de B nos solos. O método de extração com água quente (Berger & Truog, 1939), que extrai menos do 5% do B total do solo (Berger & Truog, 1940), é um dos mais amplamente difundidos e suas determinações aceitas como índice de disponibilidade de B no solo para a maioria das plantas. Na tentativa de simplificar as análises e facilitar o seu uso em condições de rotina, têm sido empregados outros extratores como: soluções diluídas de ácidos (Ponnamperuma et al., 1981; Renan & Gupta, 1991), soluções salinas de CaCl₂ (Jeffery & McCallum, 1988; Spouncer et al., 1992), soluções complexantes como manitol + CaCl₂ (Cartwright et al., 1983) e AB-DTPA (Gestring & Soltanpour, 1984, 1987). Entretanto, o método da água quente continua sendo o mais eficiente. Segundo Berger (1949), o B extraído pela água quente oscila entre 0,1 e 2,0 mg kg⁻¹, enquanto, para Jackson (1970), varia de 0,2 a 1,5 mg kg⁻¹. Em solos brasileiros, os teores variam amplamente, por exemplo, de 0,06 a 0,32 mg kg⁻¹, em solos de Piracicaba, SP (Brasil Sobrinho, 1965); de 0,22 a 0,54 mg kg⁻¹, em solos do Triângulo Mineiro, MG (Ribeiro & Tucunango Sarabia, 1984); de 0,58 a 4,34 mg kg⁻¹, em solos da Zona da Mata, PE (Horowitz & Dantas, 1973).

A disponibilidade de B nos solos para as plantas é afetada, principalmente, pelos fatores: pH, teor de matéria orgânica, tipo de argila, textura, compostos de Fe e Al (Kubota et al., 1948; Parks & White, 1952; Gupta, 1968; Sims & Bingham, 1967, 1968; Choi & Chen, 1979), dentre outros. Por isso, em alguns casos, a inclusão de alguns atributos dos solos na análise de regressão pode ser importante na predição da disponibilidade de B dos solos (Gestring & Soltanpour, 1984).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar os teores de B total e solúvel, por meio de três extratores químicos, em amostras compostas da camada superficial de diferentes classes de solos do estado do Ceará, assim como sua relação com alguns atributos que podem influenciar sua disponibilidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar o boro total e solúvel em solos do estado do Ceará, foram coletadas 48 amostras compostas da camada superficial (0-20 cm) de unidades representativas de solos. A seleção dos locais de amostragem foi realizada com base no Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do estado do Ceará (Jacomine et al., 1973a, b). O número de amostras utilizadas por classe de solo foi: 5 de Areia Quartzosa distrófica (AQd), 5 de Aluvial eutrófico (Ae), 4 de Planossolo eutrófico (PL), 2 de Bruno Não-Cálcico (NC), 6 de Cambissolo eutrófico (Ce), 17 de Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico (PVd) e eutrófico (PVe), 6 de Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico (LV) e 3 de Litossolo eutrófico (Re).

Cada amostra foi constituída de 8 a 15 subamostras retiradas ao acaso em área de, aproximadamente, 4.000 m². Após a coleta, as amostras foram homogeneizadas, secas em estufa a 45°C, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura. Foram realizadas análises para caracterização física e química, seguindo-se os métodos preconizados pelo SNLCS (EMBRAPA, 1997). Também foram determinados os teores dos óxidos de manganês, extraídos com hidroxilamina 0,1 mol L⁻¹ na relação solo:extrator 1:10 (Jin-Yun et al., 1987), e os teores de óxidos de ferro e alumínio amorfo, extraídos com oxalato de amônio 0,175 mol L⁻¹ a pH 3,25 na relação solo:extrator 1:40 e agitação no escuro durante 4 h, além das formas cristalinas por aquecimento a 100°C durante 30 minutos (Chao & Zhou, 1983). Os resultados das análises das características físicas e químicas das amostras superficiais encontram-se no quadro 1.

Em todas as amostras de solo, foram determinados os teores de boro total e solúvel por meio de três extratores, usados como índices de disponibilidade para as plantas, pelos métodos descritos a seguir:

Boro total (B Total): foi determinado em extratos obtidos por fusão da amostra, em cadinho de platina, de uma mistura de 0,5 g de solo com 3,0 g de carbonato de sódio e dissolução do resíduo em H₂SO₄ 2,0 mol L⁻¹, seguindo-se o procedimento indicado por Jackson (1970).

Boro solúvel em água quente (B-H₂Oq): o boro foi extraído com água quente sob refluxo por cinco minutos, usando-se 20 g de solo com 40 mL de água desionizada. Em seguida, adicionaram-se três gotas de CaCl₂ 0,1 mol L⁻¹ e filtrou-se o material (Berger & Truog, 1939; Bataglia & Rajj, 1990).

Quadro 1. Faixas de variação de alguns atributos, na camada superficial (0-20 cm), de unidades de mapeamento de solos representativas do estado do Ceará

Atributo do solo ⁽¹⁾	Classe de solo							
	AQ	A	PL	NC	C	PV	LV	R
Areia, g kg ⁻¹	790-930	210-750	580-940	710-840	330-580	300-910	700-790	430-810
Silte, g kg ⁻¹	40-140	180-510	30-250	120-180	170-290	70-410	90-170	140-450
Argila, g kg ⁻¹	10-70	70-280	30-170	40-110	230-440	10-350	10-18	50-120
pH H ₂ O	4,7-5,5	5,0-7,7	5,3-5,8	5,7-6,2	5,3-7,0	4,5-7,1	3,8-5,4	4,9-5,7
MO, g kg ⁻¹	3-10	7-13	4-25	17	9-19	3-35	8-23	4-31
CTC, mmol _c kg ⁻¹	1,7-5,3	6,9-13,4	2,7-8,7	4,7-7,2	6,2-9,8	2,0-9,9	2,6-5,3	2,4-11,6
V, %	36-62	86-100	60-77	58-87	76-100	21-96	13-49	42-66
Mn-Ox, mg kg ⁻¹	1,8-66,2	99,8-286,1	14,7-116,2	78,7-122,8	112,2-507,2	1,4-342,8	0,4-217,3	1,3-105,3
Al-Ox, mg kg ⁻¹	261-717	482-938	495-560	639-834	1.182-1.870	248-2.189	860-2.085	417-573
Fe-OxA, mg kg ⁻¹	89-290	1.168-3.654	412-1.957	848-1.927	459-965	158-2.150	352-902	258-2.560
Fe-OxC, mg kg ⁻¹	193-1.970	3.041-6.388	763-4.312	2.275-3.503	1.057-4.853	303-6.055	1.150-4.303	738-3.369

⁽¹⁾ MO = matéria orgânica do solo, CTC = capacidade de troca de cátions e V = percentagem de saturação por bases, Mn-Ox = manganês na forma de óxido, Al-Ox = óxido de alumínio amorfo, Fe-OxA e Fe-OxC = Fe em óxidos amorfo e cristalinos, respectivamente.

Boro solúvel em HCl 0,05 mol L⁻¹ (B-HCl): foram pesados 10 g de solo e adicionados 20 mL de solução extratora, seguindo-se de cinco minutos de agitação e filtragem (Ponnamperuma et al., 1981).

Boro solúvel no extrator Mehlich-1 (B-Mehlich-1): foram pesados 10 g de solo e adicionados 20 mL de solução (H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹), seguindo-se de quinze minutos de agitação e filtragem (Bataglia & Raij, 1990).

Em todos os extratos, a filtração foi realizada através de papel filtro Wathman 42, e o boro analisado pelo método da azometina H (Wolf, 1971, 1974).

Com base nos resultados do B total, solúvel e nas características dos solos, foram realizadas análises de correlações simples e múltiplas para determinar o grau de associação entre essas variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de boro total, considerando todas as amostras de solos, variaram de 8,3 a 52,2 mg kg⁻¹, apresentando uma média geral de 16,0 mg kg⁻¹ (Quadro 2). Tais resultados se encontram na faixa indicada por Jackson (1970), para a maioria dos solos (4-98 mg kg⁻¹). No entanto, o teor médio foi praticamente a metade do indicado pelo referido pesquisador. Dentre as amostras analisadas, 91% apresentaram teores menores que 30 mg kg⁻¹ e 83% menores que 20 mg kg⁻¹ de B total, valores inferiores aos da faixa indicada por Malavolta (1980) para solos

brasileiros (30-60 mg kg⁻¹). Os resultados revelam que o material de origem da maioria dos solos estudados é relativamente pobre em boro e que a variação dos teores no solo é alta (CV = 58,6%). Os teores de B total variaram entre as classes e dentro da mesma classe de solo. As menores médias foram encontradas nos solos Brunos Não-Cálcicos, Litossolos e Areias Quartzosas, e as maiores nos Latossolos Vermelho-Amarelos, Planossolos e Podzólicos Vermelho-Amarelos. Dentre as propriedades dos solos, a matéria orgânica foi a única que mostrou correlação simples altamente significativa com o B total (Quadro 3), explicando apenas 15% das variações do conteúdo de B total das amostras (r = 0,393**). A inclusão de outros atributos na análise de regressão múltipla não melhorou esse coeficiente.

Os extratores água quente e HCl 0,05 mol L⁻¹ extraíram quantidades de B que variaram de 0,22 a 1,22 mg kg⁻¹, com média de 0,60 mg kg⁻¹, e de 0,21 a 1,24 mg kg⁻¹, com média de 0,53 mg kg⁻¹, respectivamente, enquanto o Mehlich-1, os teores variaram de 0,50 a 1,81 mg kg⁻¹, com média de 1,07 mg kg⁻¹ (Quadro 2). Nos três extratores, os coeficientes de variação total dos teores de boro solúvel foram inferiores aos do B total. A água quente e o HCl apresentaram coeficientes de variação (CV = 48,3 e 43,3%, respectivamente) superiores nos Mehlich-1 (CV = 29,9%), indicando maior dispersão das amostras, característica desejável para estudos da disponibilidade de boro. As correlações entre extratores apresentaram coeficientes lineares simples altamente significativos (Quadro 3),

Quadro 2. Amplitude de variação e teores médios de boro total e solúvel, utilizando três extratores na camada superficial (0-20 cm), de unidades de mapeamento de solos representativas do estado do Ceará

Classe de solo	Número de amostras	Boro solúvel							
		Boro total		Água quente		HCl 0,05 mol L ⁻¹		Mehlich-1	
		Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média
		mg kg ⁻¹							
AQd	5	8,9-14,3	12,10	0,25-0,45	0,39	0,21-0,52	0,33	0,56-0,92	0,73
Ae	5	9,1-18,5	12,6	0,41-1,07	0,65	0,38-1,24	0,63	1,04-1,78	1,24
NC	2	8,9-12,0	10,5	0,50-0,76	0,63	0,38-0,56	0,47	0,95-1,45	1,20
Ce	6	14,2-19,6	16,7	0,58-0,90	0,74	0,58-0,85	0,70	1,26-1,51	1,33
PVd	10	8,5-52,2	18,5	0,22-1,22	0,63	0,20-0,93	0,52	0,74-1,81	1,19
PVe	7	11,0-19,9	13,8	0,49-1,03	0,65	0,32-0,78	0,56	0,68-1,57	0,97
LVd	6	10,5-42,9	22,3	0,38-0,62	0,44	0,21-0,66	0,46	0,50-0,96	0,75
PLe	4	8,3-44,6	18,2	0,32-1,76	0,69	0,26-1,04	0,49	0,93-1,63	1,13
Re	3	9,4-14,1	11,2	0,38-0,97	0,58	0,41-0,92	0,59	0,97-1,46	1,21
Total	48	8,3-52,2	16,0	0,22-1,22	0,60	0,21-1,24	0,53	0,50-1,81	1,07
Desvio-padrão			9,38		0,29		0,23		0,32
C.V. (%)			58,6		48,3		43,3		29,9

Quadro 3. Coeficientes de correlação simples (r) entre boro total e boro solúvel, utilizando três extratores e atributos, na camada superficial (0-20 cm), de unidades de mapeamento de solos representativas do estado do Ceará

Variável ⁽¹⁾	Correlação simples ⁽²⁾			
	B-Total	B-H ₂ O q	B-HCl	B-Mehlich-1
B-Total, mg kg ⁻¹	-	-	-	-
B-H ₂ Oq, mg kg ⁻¹	0,537**	-	-	-
B-HCl, mg kg ⁻¹	0,443**	0,849**	-	-
B-Mehlich-1, mg kg ⁻¹	0,286*	0,697**	0,667**	-
pH	0,173 ^{ns}	0,200 ^{ns}	0,317*	0,247 ^{ns}
MO, g kg ⁻¹	0,393**	0,619**	0,611**	0,502**
Argila, g kg ⁻¹	0,160 ^{ns}	0,418**	0,517**	0,401**
CTC, mmol _c kg ⁻¹	0,051 ^{ns}	0,440**	0,535**	0,600**
Al-Ox, mg kg ⁻¹	0,265 ^{ns}	0,185 ^{ns}	0,364*	0,103 ^{ns}
Mn-Ox, mg kg ⁻¹	0,058 ^{ns}	0,285*	0,337*	0,462**
Fe-OxA, mg kg ⁻¹	0,039 ^{ns}	0,403**	0,448**	0,547**
Fe-OxC, mg kg ⁻¹	0,015 ^{ns}	0,376**	0,409**	0,427**

⁽¹⁾ MO = matéria orgânica do solo, CTC = capacidade de troca de cátions, Al-Ox = óxido de alumínio amorfo, Mn-Ox = óxidos de manganês, Fe-OxA e Fe-OxC = Fe em óxidos amorfos e cristalinos, respectivamente. ⁽²⁾ * e ** significativos a 5 e 1%, respectivamente, e ^{ns} não-significativo.

encontrando-se o valor de r mais alto ($r = 0,849^{**}$) entre o boro extraído pela água quente e o extraído por HCl 0,05 mol L⁻¹. Com os três extratores testados, os solos que apresentaram menores teores de B

solúvel foram as Areias Quartzosas e os Latossolos, sendo os maiores teores apresentados pelos Cambissolos. O B solúvel representou, em média, para todos os solos, 3,76, 3,32 e 6,70% do boro total, para os extratores água quente, HCl e Mehlich-1, respectivamente (Quadro 2). Tais resultados confirmam o trabalho de Berger & Truog (1940), em que a água quente extrai menos de 5% do B total do solo.

Os estudos de correlações simples com alguns atributos do solo indicaram que a matéria orgânica foi a que mais influenciou no B solúvel do solo, seguida do boro total (Quadro 3). A matéria orgânica explicou 38,3% e o boro total 28,8% das variações nos teores de boro solúvel obtidos pelo método da água quente. Os teores de argila, óxidos de alumínio e ferro amorfos e cristalinos e os óxidos de manganês influenciaram o boro solúvel em menor proporção, enquanto o pH não teve influência sobre o B solúvel dos solos estudados. Correlações positivas e significativas entre o teor de matéria orgânica e B extraído pela água quente são relatadas por outros pesquisadores (Brasil Sobrinho, 1965; Gupta, 1968; Horowitz & Dantas, 1973; Vaughan & Howe, 1994), fato pelo qual se atribui à matéria orgânica um papel importante na disponibilidade de B, por minimizar a lixiviação do B e mantê-lo na forma relativamente disponível (Marzadori et al., 1991).

Quando se efetuaram correlações múltiplas entre o B solúvel e os atributos dos solos (Quadro 4), os coeficientes de correlação foram mais altos que os obtidos com as propriedades isoladas, evidenciando

Quadro 4. Equação de regressão múltipla entre boro total e boro solúvel, utilizando três extratores, e atributos na camada superficial (0-20 cm), de unidades de mapeamento de solos representativas do estado do Ceará

Variável dependente	Equação de regressão ⁽¹⁾	Coefficiente de correlação (R) ⁽²⁾
Boro total, mg kg⁻¹	$Y = 20,541 + 1,881\text{pH} + 4,216\text{MO} + 0,060\text{Arg}$	0,425*
	$Y = 10,365 + 4,680\text{MO} - 0,0012\text{Arg}$	0,394*
	$Y = 10,340 + 4,764\text{MO} + 0,102\text{Arg} - 0,0161\text{Mn-Ox}$	0,436*
	$Y = 10,848 + 5,184\text{MO} + 0,0403\text{Arg} - 0,018\text{Fe-OxA}$	0,417*
	$Y = 111,343 + 4,941\text{MO} + 0,086\text{Arg} - 0,001\text{Fe-OxC}$	0,421*
Boro solúvel: B-H₂O q, m kg⁻¹	$Y = -0,059 + 0,065\text{pH} + 0,210\text{MO} + 0,0031\text{Arg}$	0,671**
	$Y = 0,294 + 0,194\text{MO} + 0,0052\text{Arg}$	0,645**
	$Y = 0,294 + 0,194\text{MO} + 0,0044\text{Arg} + 0,00013\text{Mn-Ox}$	0,647**
	$Y = 0,282 + 0,181\text{MO} + 0,004\text{Arg} + 4,53\text{E}^{-5}\text{Fe-OxA}$	0,656**
	$Y = 0,276 + 0,189\text{MO} + 0,004\text{Arg} + 1,916\text{E}^{-5}\text{Fe-OxC}$	0,656**
B-HCl, mg kg⁻¹	$Y = -0,152 + 0,077\text{pH} + 0,161\text{MO} + 0,0044\text{Arg}$	0,726**
	$Y = 0,266 + 0,142\text{MO} + 0,0069\text{Arg}$	0,677**
	$Y = 0,266 + 0,141\text{MO} + 0,0062\text{Arg} + 0,00011\text{Mn-Ox}$	0,679**
	$Y = 0,256 + 0,129\text{MO} + 0,0058\text{Arg} + 4,320\text{E}^{-5}\text{Fe-OxA}$	0,691**
	$Y = 0,255 + 0,139\text{MO} + 0,0059\text{Arg} + 1,166\text{E}^{-5}\text{Fe-OxC}$	0,681**
B-Mehlich-1, mg kg⁻¹	$Y = 0,307 + 0,087\text{pH} + 0,188\text{MO} + 0,004\text{Arg}$	0,586**
	$Y = 0,775 + 0,167\text{MO} + 0,007\text{Arg}$	0,546**
	$Y = 0,774 + 0,162\text{MO} + 0,002\text{Arg} + 0,001\text{Mn-Ox}$	0,613**
	$Y = 0,735 + 0,125\text{MO} + 0,004\text{Arg} + 0,0001\text{Fe-OxA}$	0,637**
	$Y = 0,733 + 0,155\text{MO} + 0,003\text{Arg} + 4,326\text{E}^{-5}\text{Fe-OxC}$	0,577**

⁽¹⁾ Arg = Argila, MO = matéria orgânica do solo, Mn-Ox = óxidos de manganês, Al-Ox = óxido de alumínio amorfo, Fe-OxA e Fe-OxC = Fe em óxidos amorfos e cristalinos, respectivamente. ⁽²⁾ * e ** significativos a 5 e 1%, respectivamente.

que elas atuam de forma simultânea. Dentre os atributos analisados, o pH, a matéria orgânica e a argila, empregados simultaneamente, ou a combinação de matéria orgânica e argila nas regressões múltiplas, foram os que mais influenciaram positivamente o B extraível, principalmente nos métodos água quente e HCl 0,05 mol L⁻¹. De forma similar, Chude (1986) e Gestring & Soltanpour (1987) verificaram que a inclusão desses atributos na análise de regressão múltipla aumentou significativamente as correlações com os extratores água quente e AB-DTPA. Quando adicionados, os óxidos de manganês, de ferro e de alumínio, amorfos e cristalinos, juntamente com a matéria orgânica e argila, excluindo o pH na regressão múltipla, também melhoraram os coeficientes de correlação, principalmente no extrator HCl 0,05 mol L⁻¹.

Na figura 1, são apresentadas as distribuições das freqüências e a percentagem cumulativa dos solos agrupados segundo classes de teores de B removidos

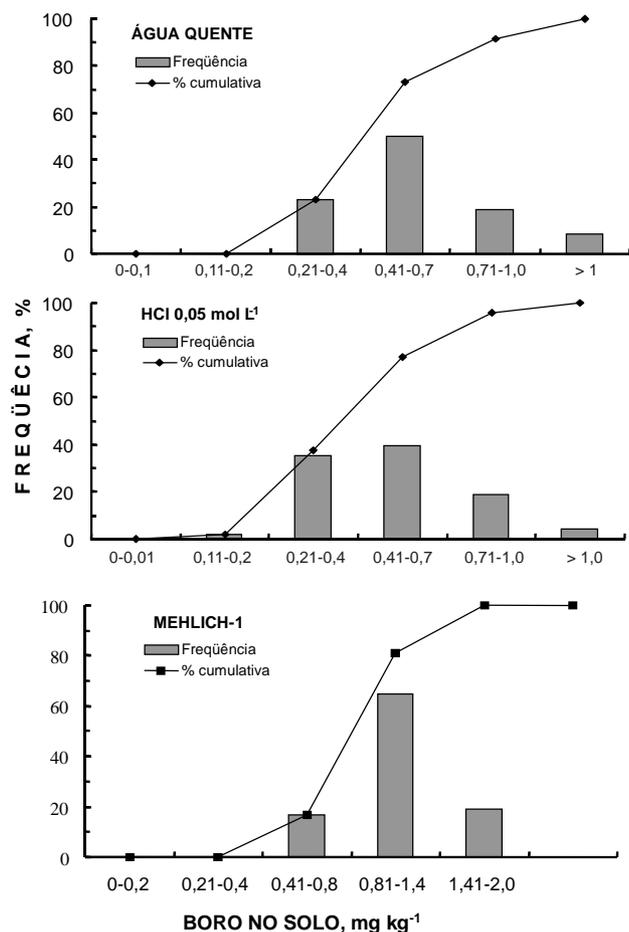


Figura 1. Freqüência e percentagem cumulativa dos teores de boro em amostras da camada superficial (0-20 cm) de solos do estado do Ceará, extraídos com água quente, HCl 0,05 mol L⁻¹ e Mehlich-1.

pelos três extratores estudados, a fim de se obter uma primeira aproximação da distribuição dos teores de B nos solos do estado do Ceará. Deve-se salientar que essas classes foram estabelecidas com base em níveis críticos obtidos por outros pesquisadores em condições de solo e clima diferentes e com emprego de culturas (Siqueira et al., 1987; Bataglia & Raij, 1990). Para a água quente e HCl 0,05 mol L⁻¹, as classes utilizadas foram: < 0,1 (muito baixo); 0,11 a 0,20 (baixo); 0,21 a 0,40 (médio); 0,41 a 0,70 (normal); 0,71 a 1,0 (alto) e > 1,0 mg kg⁻¹ de B (muito alto). Para o Mehlich-1, esses níveis foram duplicados pelo fato de esse método extrair quase o dobro de B solúvel em relação aos outros dois métodos. A extração com o HCl 0,05 mol L⁻¹ resultou em maior número de amostras com teores de B inferiores a 0,4 mg kg⁻¹ comparativamente à água quente (Figura 1). Isto ocorreu porque o HCl 0,05 mol L⁻¹ extraiu quantidades de boro ligeiramente menores (média de 0,53 mg kg⁻¹). As maiores quantidades de B removidas pelo extrator Mehlich-1 podem ser atribuídas à maior dissolução de óxidos de Mn, Fe e de Al do solo pela maior acidez do meio (50% mais H⁺ em relação ao HCl 0,05 mol L⁻¹), com a conseqüente liberação do B neles ocluído. Esse fato também explica as maiores correlações verificadas entre o boro removido pelos extratores ácidos e os conteúdos dos óxidos dos solos (Quadro 3).

CONCLUSÕES

1. Os solos do estado do Ceará, em sua maior parte, apresentam conteúdos relativamente baixos em boro total, com teores na faixa de 8,3 e 52 mg kg⁻¹, com média em torno a 16,0 mg kg⁻¹, variando seu conteúdo amplamente entre classes e dentro da mesma classe de solos.

2. O boro solúvel é influenciado principalmente pela matéria orgânica do solo, enquanto argila, óxido de manganês e sesquióxidos de Fe e Al amorfos e cristalinos influenciam-no em menor proporção.

3. Os métodos água quente e HCl 0,05 mol L⁻¹ extraem quantidades similares de B solúvel (em média 3,76 e 3,32% do B total, respectivamente), enquanto o Mehlich-1 extrai maiores quantidades (média 6,70% do B total). O HCl 0,05 mol L⁻¹ distribui as amostras de solos, pelo teor de B solúvel, em maior número de classes, o que o indica como um extrator promissor para utilização em análise de rotina.

4. Nos solos estudados, 22,4% apresentam de médios a baixos teores de B solúvel e, dependendo do uso, a curto ou médio prazo, podem ser deficientes em B para a maioria das culturas. Os solos Areias Quartzosas e Latossolos são os que apresentam os menores teores de B solúvel e os Cambissolos os maiores.

LITERATURA CITADA

- AUBERT, H. & PINTA, M. Trace elements in soils. Amsterdam, Elsevier Science, 1977. 396p.
- BATAGLIA, O.C. & RAIJ, B. van. Eficiência de extratores na determinação de boro em solos. R. Bras. Ci. Solo, 14:25-31, 1990.
- BERGER, K.C. Boron in soils and crops. Adv. Agron., 1:321-351, 1949.
- BERGER, K.C. & TRUOG, E. Boron determination in soils and plants. Ind. Eng. Chem. Anal., 11:540-544, 1939.
- BERGER, K.C. & TRUOG, E. Boron deficiencies as revealed by plant and soil tests. J. Am. Sci. Agr., 32:297-301, 1940.
- BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Levantamento do teor de boro em alguns solos do estado de São Paulo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1965. 135p. (Tese de Livre Docência)
- CASAGRANDE, J.C. O boro em solos do município de Piracicaba. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1978. 122p. (Tese de Mestrado)
- CARTWRIGHT, B.; TILLER, K.G.; ZARCINAS, B.A. & SPOUNCER, L.R. The chemical assessment of the boron status of soils. Austr. J. Soil Res., 21:321-332, 1983.
- CHAO, T.T. & ZHOU, L. Extraction techniques for selective dissolution of amorphous iron oxides from soils and sediments. Soil Sci. Soc. Am. J., 47:225-232, 1983.
- CHOI, W.W. & CHEN, K.Y. Evaluation of boron removal by adsorption on solids. Environ. Sci. Tech., 13:189-196, 1979.
- CHUDE, V.O. Relation between hot-water soluble boron and uptake of boron by cacao (*Theobroma cacao* L.) in Nigeria. J. Agric.Sci., 106:195-197, 1986.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPq, 1997. 212p.
- FERRARI, V.A. & CHURATA-MASCA, M.G.C. Efeitos de níveis crescentes de nitrogênio e bórax na produção de alho (*Allium sativum* L.). Científica, 3:254-262, 1975.
- FOX, R.H. The effect of calcium and pH on boron uptake from high concentration of boron by cotton and alfafa. Soil Sci., 106:435-439, 1968.
- GESTRING, E.D. & SOLTANPOUR, P.N. Evaluation of ammonium bicarbonate- DTPA soil test for assessing boron availability to alfafa. Soil Sci. Soc. Am. J., 48:96-100, 1984.
- GESTRING, E.D. & SOLTANPOUR, P.N. Comparison of soil tests for assessing boron toxicity to alfafa. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:1214-1219, 1987.
- GUPTA, U.C. Relationship of total and hot water soluble boron, and fixation of added boron, to properties of Podzol soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 32:45-48, 1968.
- HOROWITZ, A. & DANTAS, H.S. Boro disponível nos solos da zona Litoral - Mata de Pernambuco. Pesq. Agropec. Bras., 8:163-168, 1973.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ - IBC. Cultura do café no Brasil. Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1974. 261p.
- JIN-YUN, J.; MARTENS, D.C. & ZELAZNY, L.W. Distribution and plant availability of soil boron fractions. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:1228-1231, 1987.
- JACKSON, M.L. Analisis químico de suelos. 2.ed. Barcelona, Omega, 1970. 662p.
- JACOMINE, P.T.K.; ALMEIDA, J.C. & MEDEIROS, L.A.R. Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do estado do Ceará. Recife, MA/DNPEA/SUDENE/DRN, 1973a. v.1. 301p. (Boletim Técnico, 28; Série Pedologia, 16)
- JACOMINE, P.T.K.; ALMEIDA, J.C. & MEDEIROS, L.A.R. Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará. Recife, MA/DNPEA/SUDENE/DRN, 1973b. v.2. 502p. (Boletim Técnico, 28; Série Pedologia, 16)
- JEFFERY, A.J. & McCALLUM, L.E. Investigation of a hot 0.01M CaCl₂ soil boron extraction procedure followed by ICP-AES analysis. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 19:663-673, 1988.
- KUBOTA, J.; BERGER, K.C. & TRUOG, E. Boron movement in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 13:130-144, 1948. MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola; adubos e adubação. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981. 596p.
- MARZADORI, C.; ANTISARI, L.V.; CIAVATTA, C. & SEQUI, P. Soil organic matter influence on adsorption and desorption of boron. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:1582-1585, 1991.
- OGATA, T.; VAZ, R.L. & FILGUEIRA, F.A.R. Efeitos de doses de bórax na produção de couve-flor de verão, em Anápolis. R. Oleric., 17:186-194, 1979.
- PARKS, W.L. & WHITE, J.L. Boron retention by clay humus systems saturated with various cations. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 16:298-300, 1952.
- PONNAMPERUMA, F.N.; CAYTON, M.T. & LANTIN, R.S. Dilute hydrochloric acid as an extractant for available zinc, copper and boron in rice soil. Plant Soil, 61:297-310, 1981.
- RENAN, L. & GUPTA, U.C. Extration of soil boron for predicting its availability to plants. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 22:1003-1012, 1991.
- RIBEIRO, A.C. & TUCUNANGO SARABIA, W.A. Avaliação de extratores para zinco e boro disponíveis em Latossolos do Triângulo Mineiro. R. Bras. Ci. Solo, 8:85-89, 1984.
- RUSSEL, D.A. Boron and soil fertility. In: Stefferud, A., ed. The yearbook of agriculture. Washington, United States Department of Agriculture, 1957. p.121-128.

- SIQUEIRA, O.J.F.; SCHERER, E.E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I.; PATELLA, J.F.; TEDESCO, M.J.; MILAN, P.A. & ERNANI, P.R. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Passo Fundo, Centro Nacional de Pesquisa do Trigo/EMBRAPA, 1987. 100p.
- SIMS, J.R. & BINGHAM, F.T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials. I. Layer silicates. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 31:728-732, 1967.
- SIMS, J.R. & BINGHAM, F.T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials. II. Sesquioxides. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32:364-369, 1968.
- SPOUNCER, L.R.; NABLE, R.O. & CARTWRIGHT, B. A procedure for the determination of soluble boron in soils ranging widely in boron concentrations, sodicity, and pH. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 23:441-453, 1992.
- VAUGHAN, B. & HOWE, J. Evaluation of boron chelates in extracting soil boron. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 25:1071-1084, 1994.
- WOLF, B. The determination of boron in soil extracts, plant materials, composts, water and nutrient solutions. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 2:363-374, 1971.
- WOLF, B. Improvements in the azomethine-H method for determination of boron. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 5:39-44, 1974.