

AVALIAÇÃO DE EXTRATORES DE BORO EM SOLOS DO ESTADO DO CEARÁ⁽¹⁾

F. R. SILVA⁽²⁾ & F. F. FERREYRA H.⁽³⁾

RESUMO

As informações sobre a disponibilidade de boro em solos do semi-árido brasileiro são escassas. Visando obter informações sobre o comportamento dos extratores de boro, foi desenvolvido um experimento em casa de vegetação, com 29 amostras superficiais (0-20 cm) de solos, coletadas em unidades de mapeamento representativas do Estado do Ceará, usando o girassol como planta indicadora. Foram usados vasos com 2,5 kg de solo e dois tratamentos de adubação com boro (0 e 1,5 mg kg⁻¹) e três repetições por tratamento. Nos solos, foi determinado o boro solúvel, usado como índice de disponibilidade, com os extratores água quente, HCl 0,05 mol L⁻¹ e manitol 0,05 mol L⁻¹ + CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹. Realizaram-se dois cultivos, em seqüência e com duração de 40 dias cada. Após esse período, foi coletada a parte aérea das plantas, determinada a matéria seca, analisado o boro e calculadas as produções relativas de matéria seca e a absorção de boro pelas plantas de girassol. Os resultados mostraram a água quente como o melhor extrator do boro do solo, seguindo-se o HCl e o manitol. Os níveis críticos de boro disponível no solo para produções relativas de matéria seca superiores a 70 e 90%, respectivamente, foram de 0,24 e 0,45 mg kg⁻¹, para a água quente; 0,28 e 0,56 mg kg⁻¹, para o HCl, e 0,13 e 0,24 mg kg⁻¹, para o manitol.

Termos de indexação: boro no solo, disponibilidade, extratores de boro, girassol.

SUMMARY: *EVALUATION OF BORON EXTRACTORS IN SOILS OF CEARÁ STATE, BRAZIL*

Information about availability of boron in the Brazilian semi-arid soils is scarce. A greenhouse assay was conducted with 29 superficial samples (0-20 cm) obtained from representative mapped soils of the State of Ceará, Brazil, using sunflower as an indicator.

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

⁽²⁾ Pesquisadora do Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará - UFC, Caixa Postal 12168, CEP 60021-970 Fortaleza (CE).

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

The experiment was performed in 2.5 kg pots containing soil, fertilized with two boron levels (0 and 1.5 mg kg⁻¹) with three replicates per treatment. The boron availability in the soil was determined by hot water; 0.05 mol L⁻¹ hydrochloric acid and 0.05 mol L⁻¹ mannitol + 0.01 mol L⁻¹ CaCl₂ extractors. The canopies of the sunflower plants were harvested from two successive cultivations, each having a duration of 40 days. Total dry matter and boron in the plant tissues were analyzed and dry matter yield and boron extracted by the sunflower plants were calculated. The results showed the hot water to be the best extractor of available boron in soils, followed by hydrochloric acid and mannitol. Available soil boron critical levels for relative dry weight matter above 70 and 90% were, respectively, 0.24 and 0.45 mg kg⁻¹ for hot water; 0.28 and 0.56 mg kg⁻¹ for 0.05 mol L⁻¹ HCl; 0.13 and 0.24 mg kg⁻¹ for 0.05 mol L⁻¹ mannitol + 0.01 mol L⁻¹ CaCl₂.

Index terms: soil boron, availability, boron extractors, sunflowers.

INTRODUÇÃO

O boro é um micronutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, cuja faixa de deficiência e toxicidade nos solos é muito estreita. Deficiência de boro no solo tem sido reportada em várias partes do mundo. Entre os micronutrientes, o boro é o que mais freqüentemente se encontra deficiente em solos brasileiros, sendo crescente o número de casos de culturas que mostram sintomas visuais de deficiência.

São diversos os métodos de extração utilizados para avaliar a disponibilidade de boro nos solos para as plantas; no entanto, nenhum é totalmente satisfatório. O método de extração com água quente sob refluxo (B_{H₂O}), proposto por Berger & Truog (1939), é o método mais difundido e aceito; no entanto, é trabalhoso e demorado. Outros pesquisadores, na tentativa de conseguir um método simples e mais aplicável para análises de rotina, têm procurado simplificá-lo ou usar outros extratores. Ponnampertuma et al. (1981), trabalhando em solos de arroz irrigado, obtiveram melhor correlação entre o B extraído pela planta e o B extraído do solo pela solução de HCl 0,05 mol L⁻¹ do que com B_{H₂O}. Cartwright et al. (1983), em experimento em vasos cultivando trigo em 18 solos da Austrália, encontraram que o extrator manitol + CaCl₂ foi mais eficiente que a água quente na avaliação do boro disponível do solo. Gestring & Soltanpour (1984), estudando os extratores de boro: água quente, bicarbonato de amônio-DTPA (AB-DTPA) e o extrato de saturação, em sete solos no Estado do Colorado (USA), encontraram que todos extraíram do solo quantidades de boro que se correlacionaram com a concentração de boro em plantas de alfafa, sendo o B_{H₂O} superior aos demais. Schuppli (1986), comparando o B extraído pela água quente com o extraído pelas soluções CaCl₂ e manitol + CaCl₂, não encontrou correlação entre os dados obtidos pelo manitol e o B_{H₂O}, usado como referência. Bataglia & Raj (1990), avaliando a disponibilidade de B em 26 solos do Estado de São Paulo, compararam os extratores: água quente, HCl 0,1 mol L⁻¹, Mehlich-1,

CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ e o manitol + CaCl₂ e encontraram que a água quente sob fervura foi mais eficiente que os demais extratores testados.

A dosagem do B nos extratos de solos é comumente realizada pelos métodos colorimétricos da curcumina e da azometina-H, com bastante precisão. Nos últimos anos, têm sido usadas técnicas modernas de espectroscopia de emissão em sistemas de indução de plasma (ICP). Dentre os métodos colorimétricos, o método da azometina-H está sendo amplamente usado por sua simplicidade, por não empregar ácidos concentrados e por ter relativamente poucas interferências. As maiores interferências são causadas por materiais em suspensão e por materiais dissolvidos que fornecem coloração nos extratos. Para clarificar os extratos, alguns métodos usam CaCl₂ e, ou, carvão ativado como agentes clarificantes, durante ou após o processo de extração (Dible et al., 1954; Gupta, 1979; Bataglia & Raj, 1990). Segundo Parker & Gardner (1981), o emprego de uma solução de CaCl₂ 0,02 mol L⁻¹ com fervura pelo método da azometina-H resulta em valores similares aos obtidos pelo método do ICP na água fervente. Esses pesquisadores, também indicam que o emprego do carvão como agente clarificante não é recomendável por apresentar maior potencial de erros. Por outro lado, Abreu et al. (1994) recomendam para análise de rotina a extração do boro em amostras de solo com solução de BaCl₂ e aquecimento em forno microondas, por ser um procedimento rápido, de boa sensibilidade e reprodutividade.

O presente trabalho teve como objetivo estudar o comportamento de três extratores usados na avaliação do boro disponível, bem como a resposta à adição de boro em solos do estado do Ceará, usando-se girassol como planta indicadora.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas vinte e nove amostras de solos coletadas na camada superficial (0-20 cm) de unidades representativas de diversas classes de solos

do estado do Ceará: cinco de Areia Quartzosa (AQ), uma de Aluvial eutrófico (Ae), duas de Bruno Não-Cálcico (NC), duas de Cambissolo eutrófico (Ce), quatro de Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), onze de Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), uma de Planossolo (PL) e três de Litólico (Ri). As características físicas e químicas dos solos utilizados são apresentadas em Ferreyra & Silva (1998)⁽⁴⁾.

Foi desenvolvido experimento em casa de vegetação, usando-se vasos com 2,5 kg de solo (TFSA), e, como planta indicadora, o girassol (*Helianthus annuus* cv. Local), em dois cultivos em seqüência. Antes do primeiro cultivo, os solos ácidos foram incubados durante 30 dias com uma mistura de carbonato de cálcio e magnésio (3:1) em quantidades suficientes para elevar a saturação de bases a 65%. No ensaio, foram efetuados dois níveis de adubação com boro (0 e 1,5 mg kg⁻¹) em três repetições. A adubação com boro foi realizada apenas no primeiro cultivo, fracionada em duas doses de 1,0 e 0,5 mg kg⁻¹ de solo, aplicadas 10 e 20 dias após a semeadura, respectivamente, usando como fonte o H₃BO₃. Em cada cultivo, foram semeadas 8 sementes/vaso, deixando-se 5 plantas após o desbaste. Os vasos foram diariamente irrigados com água destilada, para manter a umidade do solo próxima da capacidade de campo. Durante os cultivos, a cada 5 dias, todas as unidades experimentais receberam solução nutritiva com todos os macro e micronutrientes, exceto o boro. As doses de nutrientes aplicadas em cada cultivo (mg kg⁻¹) foram: N = 200; P = 140; K = 200; Ca = 100; Mg = 60; S = 80; Fe = 5; Mn = 3; Zn = 2; Cu = 2 e Mo = 0,1 nas formas de NaNO₃; Ca(NO₃)₂.4H₂O; KH₂PO₄; K₂HPO₄; MnCl₂ 4H₂O; ZnSO₄ 4H₂O; CuSO₄ H₂O e H₂MoO₄ H₂O. Os cultivos foram mantidos por 40 dias e, após esse período, foi coletada a parte aérea das plantas. O material vegetal foi seco em estufa (65°C) até peso constante, determinando-se o peso de matéria seca e os teores de boro. A análise do material vegetal foi realizada em extratos preparados após calcinação das amostras a 550°C. Com base nos resultados, foram calculadas as produções relativas de matéria seca e a absorção de boro pela parte aérea das plantas de girassol.

Nos solos, o boro solúvel foi determinado, usando-se três extratores:

Água quente: foram usados 20 g de solo com 40 mL de água desionizada, aquecidos a fervura sob refluxo durante cinco minutos e, depois de frio, acrescentaram-se três gotas de CaCl₂ 0,1 mol L⁻¹ e filtrou-se o material (Berger & Truog, 1939; Dible et al., 1954).

Solução de HCl 0,05 mol L⁻¹: utilizaram-se 10 g de solo com 20 mL de solução extratora, cinco minutos de agitação, seguida de filtração (Bartz & Magalhães, 1975; Ponnampertuma et al., 1981).

Manitol 0,05 mol L⁻¹ + CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹: usaram-se 20 g de solo com 40 mL de solução extratora e oito horas de agitação (Cartwright et al., 1983). Em seguida, o material foi filtrado e, no extrato, determinado o boro.

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

Ao final do experimento, foi realizada análise de variância para a produção de matéria seca, seguindo-se um delineamento inteiramente casualizado (29 solos x 2 tratamentos x 3 repetições). Também foram realizadas análises de regressão simples e múltiplas para correlacionar as respostas das plantas com o boro disponível e com algumas propriedades do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de boro nos solos, antes da instalação do experimento, variaram de 0,17 a 1,09 mg kg⁻¹, para o extrator água quente; de 0,18 a 1,22 mg kg⁻¹, para o HCl 0,05 mol L⁻¹, e de 0,10 a 0,36 mg kg⁻¹, para o manitol 0,05 mol L⁻¹ + CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ (Quadro 1). Durante a condução do experimento, nos dois cultivos, foram observados sintomas visuais típicos de deficiência de B nas plantas de girassol em 13 solos, sendo esses sintomas severos em sete e moderados em seis dos solos estudados.

As produções de matéria seca no primeiro cultivo, para o tratamento sem boro, variaram de 7,54 a 25,76 g/vaso, e, para os que receberam boro, de 10,55 a 30,31 g/vaso, tendo em 26 dos 29 solos o girassol aumentado sua produção de matéria seca com a adubação com boro (Quadro 1). No entanto, apenas em sete solos (1, 4, 5, 19, 20, 26 e 28), onde foram observados sintomas visuais severos de deficiência de boro nas plantas, o aumento de produção de matéria seca apresentou diferenças significativas a 5% pelo teste de Tukey (Quadro 1). Os solos em que os sintomas de deficiência foram moderados não apresentaram diferenças significativas (3, 8, 14, 15, 16 e 21). No segundo cultivo, de modo geral, observou-se uma redução na produção de matéria seca, com variações de 3,54 a 14,70 g/vaso, no tratamento sem boro, e de 3,87 a 16,33 g/vaso, no tratamento com boro; neste corte, praticamente todos os solos responderam à adubação com boro, embora somente um solo (19) tenha apresentado diferenças significativas a 5%.

Comparando os três extratores de boro disponível com as respostas das plantas, de maneira geral, verificou-se que o boro extraído pela água quente apresentou as melhores correlações com a produção de matéria seca, concentração e absorção de boro

⁽⁴⁾ Ferreyra, F.H. & Silva, F.R. Frações de boro e índices de disponibilidade em solos do Estado do Ceará. R. Bras. Ci. Solo (no prelo).

Quadro 1. Boro no solo extraído com água quente (B_{H_2O}), HCl 0,05 mol L⁻¹ (B_{HCl}) e manitol 0,05 mol L⁻¹ + CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ (B_{Ma}), produção de matéria seca e boro absorvido pela parte aérea do girassol, nos tratamentos sem boro (B_0) e com boro (B_1), em dois cultivos sucessivos em casa de vegetação

Solo ⁽¹⁾	Unidade	Boro no solo			Matéria seca				Boro absorvido			
		B_{H_2O}	B_{HCl}	B_{Ma}	1º Cultivo		2º Cultivo		1º Cultivo		2º Cultivo	
					B_0	B_1	B_0	B_1	B_0	B_1	B_0	B_1
Nº		mg kg ⁻¹			g/vaso				µg/vaso			
1	AQd2	0,33	0,50	0,18	10,57a	22,19b	7,72a	8,44a	331	2.683	213	1.224
2	AQd2	0,42	0,40	0,28	15,00a	17,01a	8,22a	9,06a	644	1.999	273	1.436
3	AQd4	0,39	0,26	0,23	13,78a	18,76a	7,25a	8,88a	390	2.454	160	1.317
4	AQd5	0,22	0,18	0,11	11,87a	18,28b	6,22a	7,89a	339	2.498	139	1.219
5	AQd5	0,24	0,19	0,10	7,54a	18,88b	5,04a	8,35a	225	2.637	152	1.343
6	Ae1	0,53	0,65	0,26	19,11a	19,56a	8,87a	10,28a	1.178	2.091	484	1.779
7	PL1	0,29	0,60	0,20	14,80a	17,37a	8,45a	8,93a	459	1.839	223	1.051
8	NC8	0,27	0,53	0,22	21,84a	24,32a	8,64a	9,14a	840	2.048	271	1.079
9	NC14	0,51	0,61	0,20	25,76a	29,32a	14,70a	15,21a	944	2.653	452	1.771
10	Ce1	1,09	1,22	0,36	19,42a	18,28a	14,64a	16,33a	972	1.629	727	1.570
11	Ce2	0,48	0,57	0,22	18,07a	18,46a	10,16a	12,46a	855	1.460	550	1.522
12	PVe4	0,37	0,38	0,15	24,02a	24,94a	9,55a	10,35a	741	1.653	246	1.187
13	PVe10	0,35	0,49	0,18	22,32a	23,77a	10,32a	12,48a	730	2.211	329	1.663
14	PVe28	0,30	0,25	0,14	18,33a	21,66a	8,68a	9,74a	790	2.314	303	1.240
15	PVe32	0,33	0,41	0,18	24,98a	25,53a	10,16a	11,02a	861	3.018	265	1.437
16	PVe32	0,36	0,36	0,15	14,91a	17,42a	9,72a	11,02a	538	2.323	356	1.560
17	PVe40	0,40	0,43	0,25	19,91a	22,75a	10,88a	12,04a	730	2.822	317	1.772
18	PVd1	0,63	0,59	0,30	18,94a	19,57a	6,25a	6,36a	774	1.790	319	890
19	PVd2	0,17	0,27	0,18	6,45a	18,13b	4,21a	8,35b	227	2.739	107	1.424
20	PVd2	0,34	0,53	0,16	22,94a	30,31b	10,03a	11,62a	766	2.703	227	1.579
21	PVd2	0,27	0,40	0,15	17,64a	21,21a	8,80a	9,56a	687	2.327	308	1.290
22	PVd4	0,55	0,57	0,27	20,47a	21,66a	12,43a	13,43a	613	2.239	319	1.886
23	LVd3	0,59	0,84	0,31	16,07a	16,80a	6,55a	7,79a	697	1.932	240	990
24	LVd3	0,30	0,45	0,20	9,03a	10,55a	3,54a	3,87a	397	1.695	152	632
25	LVd7	0,29	0,39	0,15	12,91a	17,07a	8,57a	11,90a	429	1.690	209	1.218
26	LVd7	0,28	0,55	0,14	13,28a	20,39b	7,18a	9,21a	532	1.935	185	1.258
27	Li1	0,47	0,51	0,24	14,80a	12,30a	11,28a	13,45a	601	1.957	316	1.890
28	Li25	0,33	0,37	0,15	8,60a	17,15b	6,15a	9,38a	314	2.374	148	918
29	Li25	0,71	0,57	0,36	25,25a	20,99a	10,41a	12,93a	1.111	3.039	320	1.501

⁽¹⁾ Abreviatura da classe de solo seguida de número indica a unidade de mapeamento onde foi coletada a amostra (Jacomine et al., 1973a e 1973b). AQd = Areia Quartzosa distrófica; Ae = Aluvial eutrófico; PL = Planossolo; NC = Bruno Não-Cálcico; Ce = Cambissolo eutrófico; PVe = Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico; PVd = Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico; LVd = Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico; Li = Litossolo. ⁽²⁾ Médias dos tratamentos B_0 e B_1 no mesmo solo e cultivo seguidas de letras iguais = não-significativas e por letras diferentes = significativas a 5% pelo teste de Tukey.

pelas plantas de girassol, apresentando coeficientes de correlação altamente significativos (Quadro 2). O manitol apresentou coeficiente de correlação não-significativo com a produção de matéria seca nos dois cultivos, e o HCl presente no primeiro cultivo. Quando os resultados de produção de matéria seca e do boro extraído pelas plantas foram expressos em forma relativa e relacionados com o boro disponível do solo, os coeficientes de correlação aumentaram ligeiramente.

Para a produção relativa de matéria seca (PR), nos dois cultivos individuais e para a soma das produções, a melhor relação foi obtida com uma equação quadrática da forma: $y = a + bx + cx^2$. Para os três extratores, os coeficientes de correlação no primeiro cultivo foram superiores aos do segundo cultivo e similares aos obtidos com a soma das

produções dos dois cultivos. Esse fato pode ser atribuído à menor produção de matéria seca do segundo cultivo e ao emprego dos teores iniciais de boro disponível do solo, antes do primeiro cultivo, nas relações com a produção relativa de matéria seca. No extrator água quente, os teores de boro solúvel no solo explicaram em torno de 50% das variações da produção relativa de matéria seca pelo girassol, enquanto, no HCl e no manitol, explicaram em torno de 36 e 39% das variações, respectivamente (Figura 1), valores que indicam a água quente como extrator mais eficiente.

Utilizando as equações quadráticas para a estimativa dos níveis críticos de boro no solo para 90% de PR (Ulrich & Hills, 1967), os valores desses níveis foram de 0,45 mg kg⁻¹, para a água quente; 0,56 mg kg⁻¹, para o HCl, e 0,24 mg kg⁻¹, para o

Quadro 2. Coeficientes de correlação entre o boro do solo extraído pela água quente, HCl 0,05 mol L⁻¹ e manitol 0,05 mol L⁻¹ + CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ e a resposta do girassol, em dois cultivos sucessivos em casa de vegetação

Extrator	Resposta	Coeficiente de correlação ⁽¹⁾		
		1ª Cultivo	2ª Cultivo	Soma
Água quente	Matéria seca ⁽²⁾ , g/vaso	0,541** (Q)	0,584** (Q)	0,575** (Q)
	Concentração ⁽²⁾ , mg kg ⁻¹	0,520** (L)	0,537** (L)	-
	Boro absorvido ⁽²⁾ , µg/vaso	0,675** (Q)	0,768** (Q)	0,734** (Q)
	Produção relativa, %	0,727** (Q)	0,468** (Q)	0,711** (Q)
	Absorção relativa de B, %	0,673** (L)	0,728** (L)	0,707** (L)
HCl 0,05 mol L ⁻¹	Matéria seca ⁽²⁾ , g/vaso	0,483 ^{ns} (Q)	0,520** (Q)	0,515** (Q)
	Concentração ⁽²⁾ , mg kg ⁻¹	0,538** (L)	0,511** (L)	-
	Boro absorvido ⁽²⁾ , µg/vaso	0,609** (Q)	0,711** (Q)	0,663** (Q)
	Produção relativa, %	0,584** (Q)	0,510** (Q)	0,602** (Q)
	Absorção relativa de B, %	0,678** (L)	0,731** (L)	0,713** (L)
Manitol + CaCl ₂	Matéria seca ⁽²⁾ , g/vaso	0,382 ^{ns} (log)	0,376 ^{ns} (log)	0,404* (log)
	Concentração ⁽²⁾ , mg kg ⁻¹	0,527** (L)	0,461* (L)	-
	Boro absorvido ⁽²⁾ , µg/vaso	0,563** (L)	0,534** (L)	0,587** (L)
	Produção relativa, %	0,647** (Q)	0,456** (Q)	0,625** (Q)
	Absorção relativa, %	0,551** (L)	0,545** (L)	0,577** (L)

⁽¹⁾ Coeficientes seguidos de ns = não-significativo, de * e ** = significativos a 5 e 1% respectivamente; segundo os modelos: linear (L), quadrático (Q) e logarítmico (log), que melhor explicaram a relação entre as variáveis. ⁽²⁾ Característica avaliada no tratamento sem boro.

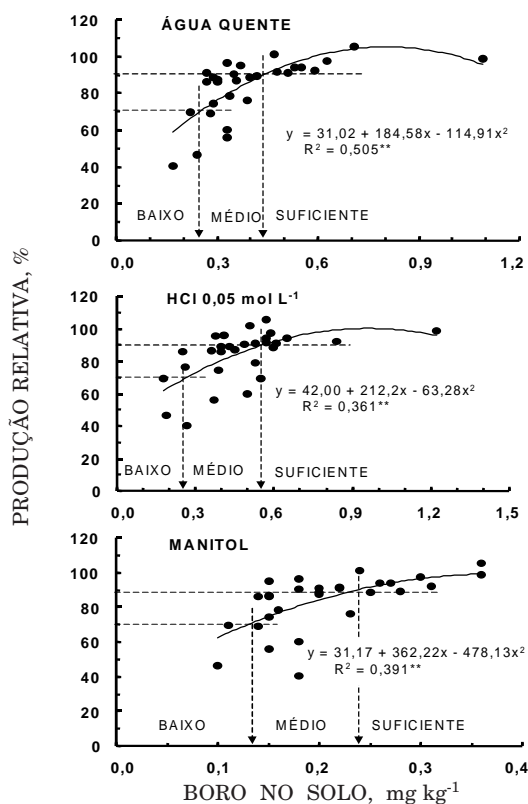


Figura 1. Produção relativa de matéria seca (PR) do girassol em dois cultivos sucessivos em função do boro extraído do solo pela água quente, HCl 0,05 mol L⁻¹ e manitol 0,05 mol L⁻¹ + CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, e faixas de teores de boro no solo, considerando PR de 90 e 70% nas equações de regressão.

manitol. Para 70% de PR, valor comumente utilizado para altas respostas, os níveis críticos foram de 0,24; 0,27 e 0,13 mg kg⁻¹, para a água quente, HCl e manitol, respectivamente. Esses níveis permitiram a obtenção de faixas de teores de boro no solo, onde a probabilidade de resposta à adubação com boro é alta, baixa e sem resposta, isto é, faixas onde o teor de B no solo é considerado baixo, médio e suficiente (Figura 1). Essas faixas foram: < 0,24; entre 0,24 e 0,45; e > 0,45 mg kg⁻¹, para a água quente; < 0,27; entre 0,27 e 0,56; e > 0,56 mg kg⁻¹, para o HCl; < 0,13; entre 0,13 e 0,24; e > 0,24 mg kg⁻¹, para o manitol. Deve-se salientar que, na faixa de suficiência, é indicado o limite inferior, por não ser determinado o nível tóxico.

A figura 2 mostra que os solos, em sua maioria, seguiram ordenamentos diferentes no teor de boro extraído pelos três extratores. Também se observa que a água quente foi o extrator que agrupou de maneira mais homogênea os solos em que as plantas de girassol apresentaram resposta na produção de matéria seca e de sintomas visuais de deficiência de boro. Contrariamente, o HCl foi o extrator que incorporou maior número de solos que não responderam à adubação com boro dentro da faixa de teores de boro solúvel em que os solos responderam a essa adubação. O manitol ocupou uma posição intermediária entre a água quente e o HCl. O comportamento dos solos observado na figura 2, além de indicar a água quente como extrator mais eficiente, revela que os três extratores estudados solubilizaram o boro de diferentes formas ou frações do solo que variam em sua disponibilidade para as plantas.

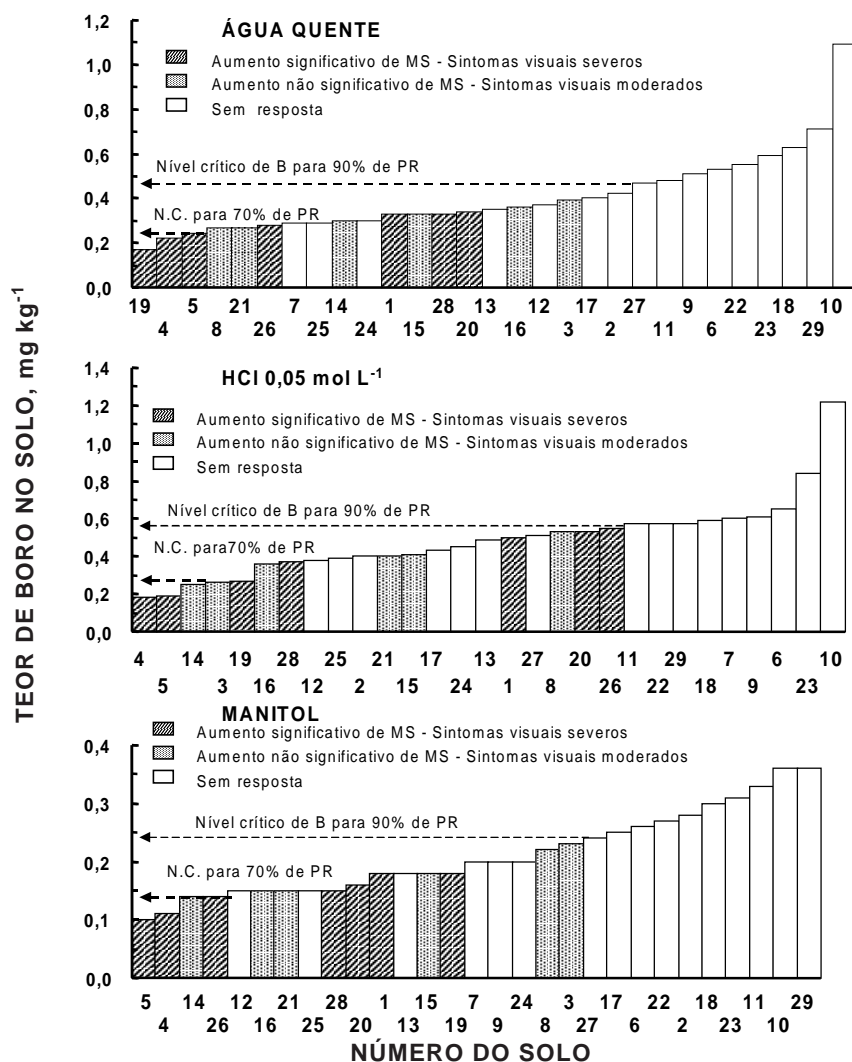


Figura 2. Comparação dos teores de boro nos solos originais extraídos pela água quente, HCl 0,05 mol L⁻¹ e manitol 0,05 mol L⁻¹ + CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ com as respostas do girassol na produção de matéria seca (MS) e nos sintomas visuais de deficiência do primeiro cultivo.

A concentração de boro nas plantas, no primeiro cultivo, variou entre 28,3 a 61,6 mg kg⁻¹, no tratamento sem boro, e de 66,3 a 144,9 mg kg⁻¹, no tratamento com boro; no segundo cultivo, essas variações foram de 22,4 a 54,6 e de 95,1 a 156,5 mg kg⁻¹. No tratamento sem boro, nos dois cultivos, o teor de boro no tecido apresentou uma relação linear simples com o boro disponível do solo obtido com os três extratores usados. A água quente e o HCl apresentaram coeficientes de correlação similares e altamente significativos (Quadro 2), embora tenham explicado apenas cerca de 25% das variações do teor de B nos tecidos. Quando o nível crítico do boro extraído pela água quente no solo para PR = 90% (0,45 mg kg⁻¹) foi substituído na equação linear (Figura 3), permitiu-se a estimativa de 36 mg kg⁻¹ como nível crítico de boro nos tecidos do girassol, abaixo da qual é alta a probabilidade de resposta à adubação com boro.

As quantidades de boro absorvidas pela parte aérea das plantas de girassol no tratamento sem boro também variaram amplamente, de 225 a 1.111 mg/vaso, no primeiro cultivo, e de 139 a 452 mg/vaso, no segundo cultivo, enquanto no tratamento que recebeu boro, as quantidades de B extraídas foram de 2,2 a 13,3 vezes superiores. No tratamento sem boro nos dois cultivos, como era esperado, as quantidades de boro extraídas correlacionaram-se de forma linear, positiva e altamente significativa ($y = -67,69 + 41,64x$; $R^2 = 0,911$), com a produção de matéria seca pelas plantas de girassol. As variações observadas nos teores de B nos tecidos, independentemente do efeito de diluição por maior produção de matéria seca, mostram que os solos estudados revelam diferentes capacidades de suprimento de boro. Relacionando o boro extraído pelas plantas de girassol, do tratamento sem boro,

com o boro disponível e as características do solo, as análises de regressão simples e múltiplas (Quadro 3) mostraram que, à medida que foram incluídos o pH, a matéria orgânica e argila juntamente com o boro disponível, os valores dos coeficientes de determinação aumentaram sensivelmente. Tais resultados indicam que essas características são as que mais influenciam a disponibilidade de boro nos solos e sua extração pelas plantas. Correlações positivas e altamente significativas para esses parâmetros também foram encontradas por Bataglia & Raij (1990) em solos do estado de São Paulo.

A absorção relativa de boro pela parte aérea das plantas e o boro extraído do solo apresentaram coeficientes de correlação altamente significativos e seguiram uma relação linear (Quadro 2), a qual não permitiu estimar os níveis críticos para o boro no solo em função da absorção pela planta. Esse comportamento indica que, em alguns dos solos, as plantas absorveram e acumularam boro sem ter efeito sobre a produção de matéria seca, caracterizando um consumo de luxo que limita o uso desta característica para avaliação do boro disponível do solo. Dessa forma, de maneira geral, os resultados

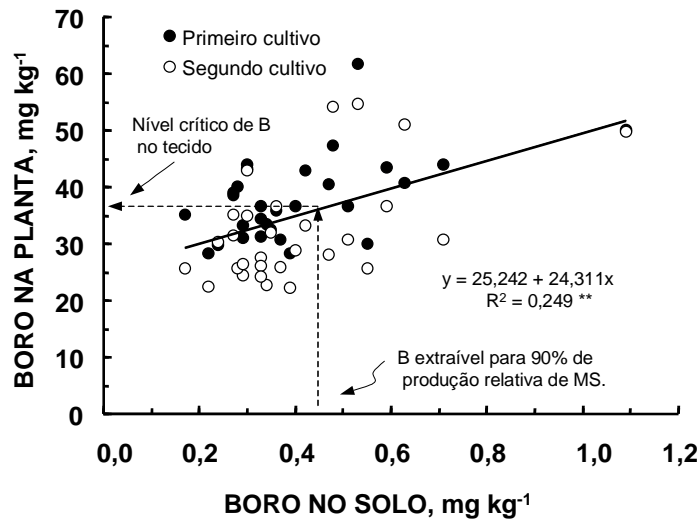


Figura 3. Teores de boro na matéria seca das plantas de girassol no tratamento sem boro, nos dois cultivos sucessivos sob condições de casa de vegetação, em função do teor de boro no solo extraído pela água quente, antes do primeiro cultivo, e estimativa do nível crítico de boro no tecido para 90% de produção relativa de matéria seca.

Quadro 3. Equações de regressão simples e múltiplas para o boro absorvido pela planta de girassol, no tratamento sem boro, em função do boro extraído do solo original pela água quente, HCl 0,05 mol L⁻¹ e manitol 0,05 mol L⁻¹ + CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ e com algumas propriedades do solo

Extrator	Equação de regressão ⁽¹⁾	R ² ⁽²⁾
Água quente	y = 362,08 + 1.399,73a	0,502**
	y = -335,68 + 1.190,07a + 143,02b	0,587**
	y = -330,00 + 1.196,44a + 141,93b - 2,34c	0,587**
	y = -627,43 + 1.135,39a + 188,73b - 98,05c + 11,73d	0,656**
HCl 0,05 mol L ⁻¹	y = 370,06 + 1.158,45a	0,424**
	y = -656,20 + 1.044,70a + 197,49b	0,604**
	y = -551,70 + 1.245,82a + 172,92b - 67,77c	0,619**
	y = -876,69 + 1.241,84a + 219,89b - 184,74c + 13,54d	0,711**
Manitol + CaCl ₂	y = 288,52 + 3.100,31a	0,346**
	y = -678,47 + 2.674,96a + 192,72b	0,515**
	y = -773,32 + 2.424,03a + 209,99b + 52,56c	0,529**
	y = -1.021,31 + 2.192,20a + 252,81b - 35,38c + 10,85d	0,587**

⁽¹⁾ y = Boro absorvido, µg/vaso; a = boro no solo, mg kg⁻¹; b = pH do solo; c = matéria orgânica, g kg⁻¹ e d = argila, g kg⁻¹.

⁽²⁾ ** significativo a 1%.

obtidos mostram a água quente como o melhor extrator de boro do solo, e a produção relativa de matéria seca como a melhor resposta da planta para a avaliação do boro disponível nos solos estudados.

CONCLUSÕES

1. A água quente sob refluxo mostrou-se mais eficiente como extrator, em relação ao HCl 0,05 mol L⁻¹ e manitol 0,05 mol L⁻¹ + CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, e a produção relativa de matéria seca como melhor resposta da planta para a avaliação do boro disponível, em condições de casa de vegetação.

2. O pH, a matéria orgânica e a argila foram as propriedades do solo que melhor se correlacionaram com os teores de boro disponível.

3. Os níveis críticos de boro disponível no solo para produções relativas de matéria seca superiores a 70 e 90%, respectivamente, pelo girassol cultivado em condições de casa de vegetação, foram de 0,24 e 0,45 mg kg⁻¹, para a água quente; 0,28 e 0,56 mg kg⁻¹, para o HCl 0,05 mol L⁻¹, e 0,13 e 0,24 mg kg⁻¹, para o manitol 0,05 mol L⁻¹ + CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹.

4. O nível crítico de boro nos tecidos da parte aérea do girassol (40 dias) para produções relativas de matéria seca superiores a 90% ficou em torno de 36 mg kg⁻¹.

LITERATURA CITADA

- ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; RAIJ, B. van & BATAGLIA, O.C. Extraction of boron from soil by microwave heating for ICP-AES, determination. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 25:3321-3333, 1994.
- BATAGLIA, O.C. & RAIJ, B. van. Eficiência de extratores na determinação de boro em solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:25-31, 1990.
- BARTZ, H.R. & MAGALHÃES, A.F. Avaliação da disponibilidade de boro através de soluções extratoras em alguns solos do Rio Grande do Sul. *Agron. Sulriogr.*, 11:89-96, 1975.
- BERGER, K.C.; & TRUOG, E. Boron determination in soils and plants. *Ind. Eng. Chem. Anal.* 11:540-544, 1939.
- CARTWRIGHT, B.A.; TILLER G.K.; ZARCINAS, B.A. & SPOUNCER, L.R. The chemical assessment of the boron status of soils. *Aust. J. Soil Res.*, 21:321-332, 1983.
- DIBLE, W.; TRUOG, E. & BERGER, K.C. Boron determination in soils and plants simplified curcumin procedure. *Anal. Chem.*, 26:418-421, 1954.
- GESTRING, E.D. & SOLTANPOUR, P.N. Evaluation of ammonium bicarbonate- DTPA soil test for assessing boron availability to alfafa. *Soil Sci. Soc. Am.*, 48:96-100, 1984.
- GUPTA, U.C. Boron nutrition of crops. *Adv. Agron.*, 31:273-307, 1979.
- 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)
- PARKER, D.R. & GARDNER, E.H. The determination of hot-water soluble boron in some acid oregon soils using a modified azomethine-H procedure. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 12:1311-1322, 1981.
- 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.
- SCHUPPLI, P.A. Extraction of boron from CSSC reference soils by hot water, dilute CaCl₂ and mannitol-CaCl₂ solutions. *Can J. Soil Sci.*, 66:377-381, 1986.
- ULRICH, A. & HILLS, F.J. Principle and practices of plant analysis. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. Soil testing and plant analysis. Madison, 1967. p.11-24. (Special Publication, Series)
- 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.