

## Extratores Ácidos e Sais na Determinação da Disponibilidade de Boro no Solo

Adônis Moreira<sup>1</sup>  
César de Castro<sup>2</sup>

O boro (B) tem papel fundamental nos componentes da membrana celular e, principalmente, na absorção de potássio, que representa 41% do total de nutriente absorvido pela planta (Silva et al., 1999). Na carência de B, todo o crescimento da planta é paralisado afetando negativamente a produção (Loué, 1993).

Trabalho realizado por Berger & Truog (1940) mostra que apenas uma pequena fração do boro total do solo está na forma disponível para as plantas. Nesse contexto, vários métodos têm sido propostos na tentativa de se obter mais praticidade na determinação do boro disponível no solo. No Brasil, a determinação é realizada geralmente em água quente sob refluxo ou assistida por microondas. Esses dois métodos possuem baixo rendimento e necessitam de equipamentos e recipientes específicos para realização das análises, aumentando significativamente o custo destas, além de extrair somente um elemento (Sims & Johnson, 1991). Métodos de extração com soluções ácidas são freqüentemente propostos e comparados com água quente sob refluxo (Bataglia & Raji, 1990), tais como: Mehlich-1, Mehlich-3, HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>, HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>, CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, CaCl<sub>2</sub> 0,05 mol L<sup>-1</sup> e outros, sendo esses de menor custo e mais facilmente utilizados nas análises de rotina.

O objetivo deste trabalho foi verificar a eficiência de seis extratores (KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>, Mehlich-1, Mehlich-3, HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>, HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> e HCl 5,0 mol L<sup>-1</sup>) comparando-os com o extrator H<sub>2</sub>O quente, método

atualmente utilizado na determinação da disponibilidade do B do solo.

### Material e Métodos

O experimento foi conduzido no período de abril de 2002 a dezembro de 2003, no campo experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, localizado nas coordenadas geográficas 3°8'S e 59°52'W, no Município de Manaus, Estado do Amazonas. A cultivar de bananeira (*Musa* sp.) Nanicao 2001 (triplóide AAA do subgrupo Cavendish) foi utilizada como planta teste. Empregou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x2, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas doses 0, 4, 8 e 12 kg ha<sup>-1</sup> de boro (ácido bórico) e dois ciclos de colheita. Os tratamentos foram aplicados na mesma quantidade na cova de plantio (1º ciclo) e posteriormente, após a colheita do primeiro cacho (2º ciclo) em semicírculo ao lado da planta filha. O experimento foi constituído por uma bordadura com a mesma cultivar ao redor de todo o experimento, e cada parcela foi constituída pela média de sete touceiras, sendo coletadas somente as cinco centrais. O experimento foi conduzido em Latossolo Amarelo distrófico (Xanthic Ferralsol) com 719 g kg<sup>-1</sup> de argila, com as seguintes características químicas: pH (água) = 4,27; matéria orgânica = 46,89 g kg<sup>-1</sup>; P (Mehlich-1) = 2,9 mg dm<sup>-3</sup>; P (resina) = 9,8 mg dm<sup>-3</sup>; P (Mehlich-3) = 1,8 mg dm<sup>-3</sup>; K = 47,7 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 0,24 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>;

<sup>1</sup>Eng. Agrôn., D.Sc. em Energia Nuclear na Agricultura, Embrapa Amazônia Ocidental, Caixa Postal 319, 69011-970, Manaus - AM. E-mail: adonis@cpaa.embrapa.br

<sup>2</sup>Eng. Agrôn., D.Sc. em Fertilidade de Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Soja, Caixa Postal 231, 86001-970, Londrina, PR. E-mail: ccastro@cnpso.embrapa.br

Mg = 0,12 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al = 1,45 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al = 8,04 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; B (água quente) = 0,31 mg dm<sup>-3</sup>; Cu = 0,29 mg dm<sup>-3</sup>; Fe = 333,0 mg dm<sup>-3</sup>; Mn = 5,15 mg dm<sup>-3</sup>; Zn = 0,68 mg dm<sup>-3</sup>.

No início do florescimento foi retirada de cada tratamento, amostra do terço médio da 3ª folha (somente o limbo) a contar do ápice e na colheita, duas bananas da segunda penca. Essas partes foram secas em estufa com circulação forçada a 65°C até atingir peso constante. Posteriormente, foi determinado o teor de boro na folha e no fruto (polpa mais casca). No mesmo período da coleta das folhas foi realizada a coleta do solo nas camadas de 0-20 cm e 21-40 cm no primeiro florescimento (1º ciclo) e 0-20 cm no segundo florescimento (2º ciclo). A análise do boro disponível do solo foi feita através dos extratores Mehlich-1 (Mehlich, 1978), Mehlich-3 (Mehlich, 1984), água quente (Abreu et al., 1994), HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> (Ponnamperuma et al., 1981), HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> (Ponnamperuma et al., 1981), HCl 5,0 mol L<sup>-1</sup> e KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>. A leitura foi realizada por espectrofotometria usando o reagente colorimétrico Azometina-H, no comprimento de onda de 420 nm. Os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F), teste de comparação de contrastes de médias (Tukey 5%), regressão e correlação, conforme metodologias descritas por Pimentel Gomes (1990).

## Resultados e Discussão

Comparando as correlações dos teores disponíveis de B recuperado com os sete extratores e os teores obtidos nas folhas diagnóstico retiradas no início da inflorescência do primeiro e segundo ciclos, verificou-se

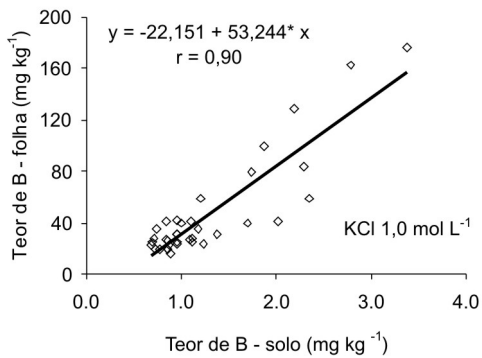
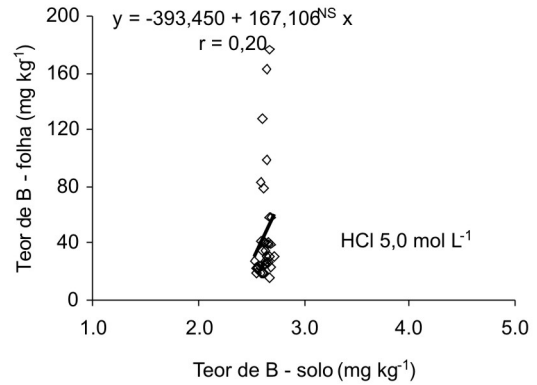
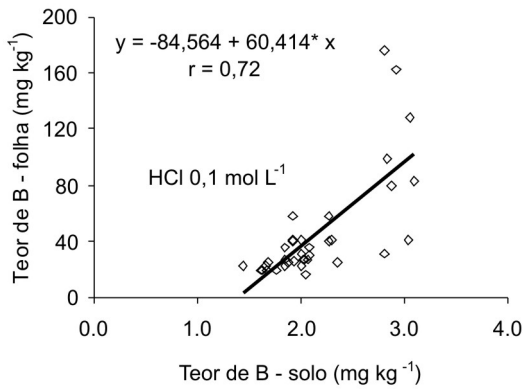
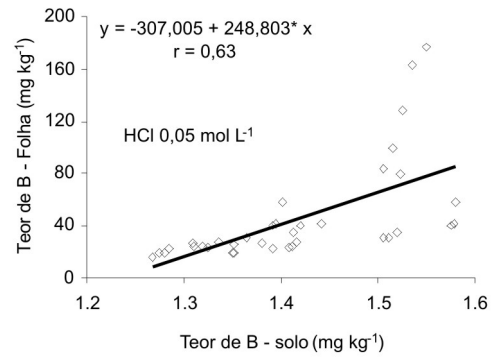
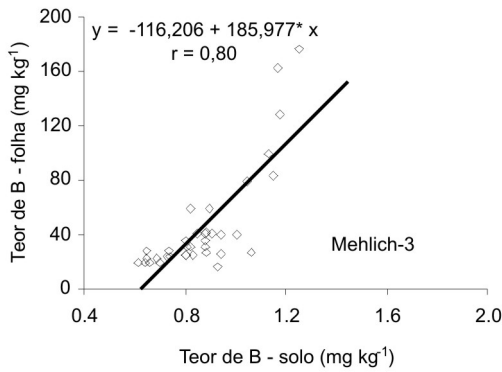
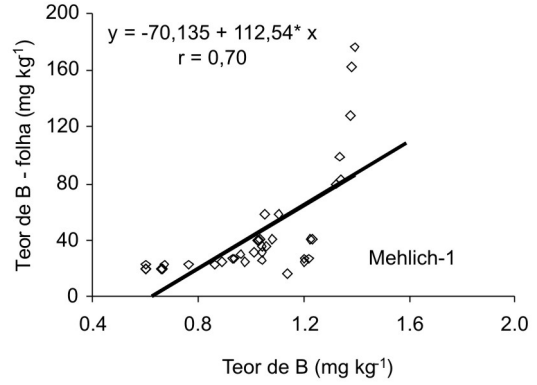
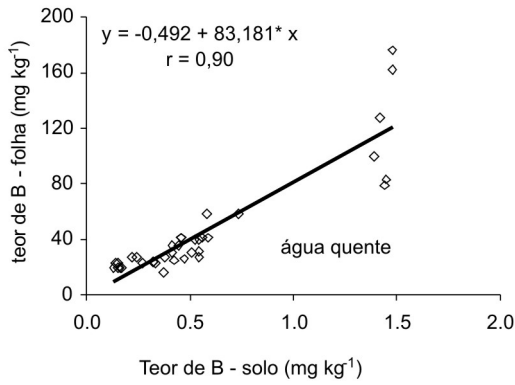
que os extratores água quente e KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> apresentaram coeficientes de correlação altamente significativos (Figura 1). As correlações com os extratores Mehlich-1, Mehlich-3, HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>, HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> também foram significativas com coeficientes de 0,70, 0,80, 0,63 e 0,72, respectivamente. O extrator HCl 5,0 mol L<sup>-1</sup> não apresentou significância com o teor foliar.

Os extratores KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>, Mehlich-1, Mehlich-3, HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>, HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> e HCl 5,0 mol L<sup>-1</sup> tiveram maior capacidade de recuperação de B que água quente (Tabela 1). Esse resultado corrobora os resultados de Paula (1995) e Ferreira et al. (2001), ao comparar a capacidade de extração dos extratores Mehlich-1 e CaCl<sub>2</sub> 5 mol L<sup>-1</sup> com a água quente. Conforme Jin et al. (1987), a presença do íon cloreto presente nesses extratores pode ter acarretado em maior capacidade de recuperação do ânion borato adsorvido nas cargas positivas dos colóides do solo. A vantagem do extrator KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> sobre a água quente na predição do B disponível, é que ele pode ser introduzido na rotina do laboratório sem a necessidade da confecção de outro extrato, haja vista que é utilizado na determinação do cálcio e do magnésio disponível e do alumínio trocável, o que não ocorre com o outro extrator, que somente é utilizado na determinação do boro. Além disso, esse método apresenta maior amplitude na faixa de extração. Observa-se que, enquanto na água quente o maior valor extraído de boro foi de 1,48 mg kg<sup>-1</sup>, no KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>, esse valor foi de 3,37 mg kg<sup>-1</sup>, o que melhora as faixas de disponibilidade e interpretação ditas como baixa, média ou alta (Figura 1 e Tabela 2).

**Tabela 1.** Correlações entre os teores de B extraídos pelos extratores água quente, Mehlich-1, Mehlich-3, HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>, HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>, HCl 5,0 mol L<sup>-1</sup> e KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>.

Correlações	Equação	r
Água quente vs Mehlich-1	$\hat{y} = -0,943 + 1,462*x$	0,81
Água quente vs Mehlich-3	$\hat{y} = -1,142 + 2,275*x$	0,89
Água quente vs HCl 0,05 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = -3,525 + 2,883*x$	0,65
Água quente vs HCl 0,1 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = -1,078 + 0,761*x$	0,83
Água quente vs HCl 5,0 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = -5,655 + 2,366^{NS}*x$	0,26
Água quente vs KCl 1,0 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = 0,562 + 1,268*x$	0,83
Mehlich-1 vs Mehlich-3	$\hat{y} = -0,055 + 1,245*x$	0,88
Mehlich-1 vs HCl 0,05 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = -0,788 + 1,281^{NS}*x$	0,52
Mehlich-1 vs HCl 0,1 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = 0,140 + 0,412*x$	0,82
Mehlich-1 vs HCl 5,0 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = -4,178 + 1,982^{NS}*x$	0,39
Mehlich-1 vs KCl 1,0 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = 0,748 + 0,219*x$	0,61
Mehlich-3 vs HCl 0,05 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = -0,596 + 1,034*x$	0,60
Mehlich-3 vs HCl 0,1 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = 2,279 + 0,274*x$	0,77
Mehlich-3 vs HCl 5,0 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = -2,733 + 1,712^{NS}*x$	0,38
Mehlich-3 vs KCl 1,0 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = 0,623 + 0,1939*x$	0,57
HCl 0,05 mol L <sup>-1</sup> vs HCl 0,1 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = 1,132 + 0,132*x$	0,64
HCl 0,05 mol L <sup>-1</sup> vs HCl 5,0 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = -0,603 + 0,769^{NS}*x$	0,37
HCl 0,05 mol L <sup>-1</sup> vs KCl 1,0 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = 1,270 + 0,116*x$	0,78
HCl 0,1 mol L <sup>-1</sup> vs HCl 5,0 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = -5,069 + 2,749^{NS}*x$	0,27
HCl 0,1 mol L <sup>-1</sup> vs KCl 1,0 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = -0,803 + 0,803*x$	0,69
HCl 5,0 mol L <sup>-1</sup> vs KCl 1,0 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = 2,597 + 0,024^{NS}*x$	0,33

\* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>NS</sup> Não significativo.



**Fig. 1.** Regressões lineares e coeficiente de correlação entre os teores de B extraídos por água quente, Mehlich-1, Mehlich-3, HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>, HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>, HCl 5,0 mol L<sup>-1</sup> e KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> e os teores foliares de B obtido nos dois ciclos. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. <sup>NS</sup>Não significativo.

**Tabela 2.** Regressões e coeficiente de determinação entre as doses e os teores de boro disponível determinado pelos sete extratores, nos dois ciclos da cultura.

Extrator	1º ciclo	2º ciclo
Água quente	$\hat{y} = 0,157 + 0,035*x$ $R^2 = 0,99$	$\hat{y} = 0,318 + 0,104*x$ $R^2 = 0,85$
Mehlich-1	$\hat{y} = 0,673 + 0,035*x$ $R^2 = 0,85$	$\hat{y} = 1,174 + 0,018*x$ $R^2 = 0,97$
Mehlich-3	$\hat{y} = 0,651 + 0,022*x$ $R^2 = 0,99$	$\hat{y} = 0,865 + 0,028*x$ $R^2 = 0,97$
HCl 0,05 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = 1,355 + 0,019*x$ $R^2 = 0,98$	$\hat{y} = 1,318 + 0,021*x$ $R^2 = 0,93$
HCl 0,1 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = 1,710 + 0,051*x$ $R^2 = 0,76$	$\hat{y} = 2,199 + 0,070*x$ $R^2 = 0,90$
Hcl 5,0 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = 2,596 + 0,066*x$ $R^2 = 0,54$	$\hat{y} = 2,622 + 0,002*x$ $R^2 = 0,67$
Kcl 1,0 mol L <sup>-1</sup>	$\hat{y} = 0,777 + 0,087*x$ $R^2 = 0,82$	$\hat{y} = 0,653 + 0,266*x$ $R^2 = 0,92$

\* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os extratores água quente e KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> solubilizaram quantidades menores de boro do que os extratores ácidos (Tabela 1). Segundo Paula (1995), por reduzir o pH do extrato para 2,5 ou menos, os extratores ácidos, possivelmente, solubilizam compostos de estrutura de difícil decomposição. Ponnampertuma et al (1981), em estudo comparando os extratores água quente sob refluxo, HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>, Paula (1995), comparando os extratores água quente sob refluxo e Mehlich-1 e Ferreira et al. (2001), com água quente sob refluxo e CaCl<sub>2</sub> 5,0 mol L<sup>-1</sup>, também encontraram correlações significativas entre os extratores estudados.

## Conclusões

1. Nas condições estudadas, os extratores KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> e água quente sob refluxo mostram ser mais eficientes na determinação do B disponível do solo que os extratores Mehlich-1, Mehlich-3, HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>, HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> e HCl 5 mol L<sup>-1</sup>.
2. O extrator KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> apresentou maior amplitude na faixa de extração do que o água quente, o que melhora as faixas do B disponível do solo utilizadas nas interpretações ditas como baixa, média ou alta.

## Referências

- BATAGLIA, O. C.; RAIJ, B. Eficiência de extratores na determinação de boro em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 14, n. 1, p. 25-31, 1990.
- BERGER, K. C.; TRUOG, E. Boron deficiencies as revealed by plant and soil tests. *Journal of the American Society of Agronomy*, v. 32, n. 1, p. 297-301, 1940.
- FERREIRA, G.B. et al. Influência de algumas características do solo nos teores de boro disponível. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 1, p. 91-101, 2001.
- GUPTA, U. C. Soil hot water soluble boron. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 59, n. 1, p. 241-247, 1979.
- JIN, J.; MARTENS, D. C.; ZELAZNY, L. W. Distribution and plants availability of soil boron fractions. *Soil Science Society of American Journal*, v. 51, n. 1228-1231, 1987.
- LOUÉ, A. *Oligoéléments en agricultures*. Antibes: SCPA-NATHAN, 1993. 577 p.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant; a modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 15, n. 12, p. 1409-1416, 1984.
- MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 9, n. 2, p. 477-492, 1978.
- MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. *Varição das propriedades químicas e físicas do solo e na matéria orgânica em agroecossistemas da Amazônia Ocidental (Amazonas)*. Piracicaba: CENA/USP, 2002. 79 p.
- PAULA, M. B. *Eficiência de extratores e níveis críticos de boro disponível em amostras de solos aluviais e hidromórficos sob a cultura do arroz inundado*. 1995. 69 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel, 1990. 468 p.

PONNAMPERUMA, F. N.; CAYTON, M. T.; LANTIN, R. S. Dilute hydrochloric acid as an extractant for available zinc, copper and boron in rice soils. **Plant and Soil**, v. 61, n. 1, p. 297-310, 1981.

SILVA, J. T. A.; BORGES, A. L.; MALBURG, J. L. Solos, adubação e nutrição da bananeira. **Informe Agropecuário**, v. 20, p. 21-36, 1999.

SIMS, J. T.; JOHNSON, G. V. Micronutrients soil tests. In: MORTVEDT, J. J. et al. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 427-476.

## Comunicado Técnico, 36

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
**Embrapa Amazônia Ocidental**  
Endereço: Rodovia AM 010, km 29 - Estrada  
Manaus/Itacoatiara, Caixa Postal 319, 69011-970,  
Manaus-AM

Fone: (92) 3621-0300  
Fax: (92) 3621-0320 e 3621-0317  
E-mail: sac@cpaa.embrapa.br

Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento



1ª edição  
1ª impressão (2006): 300 exemplares

## Comitê de Publicações

**Presidente:** José Jackson Bacelar Nunes Xavier  
**Secretária:** Gleise Maria Teles de Oliveira  
**Membros:** Cíntia Rodrigues de Souza, Edsandra Campos Chagas, João Ferdinando Barreto, Luadir Gasparotto, Marcos Vinícius Bastos Garcia, Maria Augusta Abtibal Brito, Maria Perpétua Beleza Pereira, Nelcimar Reis Sousa, Paula Cristina da Silva Ângelo e Rogério Perin.

## Expediente

**Revisão de texto:** Maria Perpétua Beleza Pereira  
**Normalização bibliográfica:** Maria Augusta Abtibal Brito  
**Editoração eletrônica:** Gleise Maria Teles de Oliveira