

NOTA

EXTRATORES E DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES EM TERRA PRETA DE ÍNDIO DA AMAZÔNIA CENTRAL

ADÔNIS MOREIRA^{1*}; WENCESLAU GERALDES TEIXEIRA² & GILVAN COIMBRA MARTINS²

¹ Embrapa Pecuária Sudeste, Caixa Postal 339, CEP 13560-970, São Carlos, São Paulo, Brasil. Bolsista do CNPq. adonis@cnpse.embrapa.br.

² Embrapa Amazônia Ocidental, Caixa Postal 319, CEP 69011-970, Manaus, Amazonas, Brasil. wenceslau@cpaa.embrapa.br / gilvan.martins@cpaa.embrapa.br

*Autor para correspondência

Recibido: 31-08-08

Aceptado: 09-03-09

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a disponibilidade de B, Cu, Fe, Mn e Zn em solos com horizonte A antrópico (Terra Preta do Índio - TPI) da Amazônia Central com as soluções extratoras Mehlich 1 (M1), Mehlich 3 (M3) e DTPA-TEA. Foram utilizadas dezesseis amostras de terra preta de diferentes profundidades provenientes de dez sítios arqueológicos e de cinco classes de solos representativas da região (Espodossolo, Neossolo, Latossolo, Argissolo e Cambissolo). Na Terra Preta de Índio, o extrator DTPA-TEA extraiu as maiores quantidades de Cu e Fe disponível, enquanto o Mehlich 1 extraiu mais Mn e Zn. Nas condições edafoclimáticas estudadas, o extrator Mehlich 1 mostrou, na média, maior sensibilidade quando comparado com os extratores Mehlich 3 e o DTPA-TEA. Os melhores coeficientes de correlação entre os extratores foram obtidos com: Cu disponível (Mehlich 3 e DTPA-TEA), Fe disponível (Mehlich 1 e DTPA-TEA), Mn e Zn disponível (Mehlich 1 e Mehlich 3). As faixas alta, média e baixa originárias de outras regiões pode levar a erros de interpretação na diagnose da disponibilidade de micronutrientes nas terras pretas de índio. O Espodossolo apresentou a maior concentração de B disponível.

Palavras chave. Mehlich 1, Mehlich 3, DTPA-TEA, Metais Pesados, Terra Preta do Índio.

EXTRACTANTS AND AVAILABILITY OF MICRONUTRIENTS IN CENTRAL AMAZONIAN DARK EARTH SOIL

ABSTRACT

The objective of this work was to compare extractants solutions (Mehlich 1, Mehlich 3 and DTPA-TEA) evaluating the availability of B, Cu, Fe, Mn and Zn in Amazonian Dark Earth (ADE) soils with higher fertility occurring in scattered patches throughout the Amazon, called *Terra Preta do Índio* (TPI). Sixteen samples of different depths were taken from ten archeology sites, and five representative soil classes of the region (Oxisol, Inceptisol, Ultisol, Entisol and Spodosol) were used. The DTPA-TEA solution extracted more Cu and Fe available, while Mehlich 1 solution extracted more Mn and Zn. At the edaphoclimatic conditions studied, the Mehlich 1 extractant showed better sensibility than Mehlich 3 and DTPA-TEA extractants. The best coefficients between extractants were observed with: Cu available (Mehlich 3 and DTPA-TEA), Fe available (Mehlich 1 and DTPA-TEA), Mn and Zn available (Mehlich 1 and Mehlich 3). The use of ranges higher, middle and lower originary in others regions can lead to incorrect interpretation of diagnoses on availability of the micronutrients in ADE soils. The Spodosol showed higher concentration of available B than others soils studied.

Key words. Mehlich 1, Mehlich 3, DTPA-TEA, Heavy Metal, Amazonian Dark Earth.

INTRODUÇÃO

Apesar de existirem grandes áreas potencialmente agricultáveis, os solos da Amazônia, na sua maior parte, apresentam baixa fertilidade com 77% da área com saturação por alumínio superior a 50%. Somente 0,62% deles têm saturação por bases acima de 40% (Moreira & Malavolta, 2002). Os Latossolos Amarelos e Argissolos com horizonte A antrópico, denominados «Terra Preta do Índio», são uns dos poucos solos que apresentam alta fertilidade (Woods, 2003). Esses solos, geralmente, estão localizados próximos aos rios, e na sua maioria são distribuídos em áreas de dois a cinco hectares (Teixeira & Martins, 2003). Mesmo sendo na sua maioria cauliniticos e fortemente intemperizados, têm elevados níveis de nutrientes, porém, de forma desbalanceada, principalmente o Ca trocável e o P disponível, altos teores de matéria

orgânica, são uns dos poucos solos que apresentam alta fertilidade (Woods, 2003). Esses solos, geralmente, estão localizados próximos aos rios, e na sua maioria são distribuídos em áreas de dois a cinco hectares (Teixeira & Martins, 2003). Mesmo sendo na sua maioria cauliniticos e fortemente intemperizados, têm elevados níveis de nutrientes, porém, de forma desbalanceada, principalmente o Ca trocável e o P disponível, altos teores de matéria

orgânica, e elevada atividade biológica (Steiner *et al.*, 2004).

A TPI é caracterizada por um horizonte A antrópico de cor escura com alto teor de matéria orgânica. Porém, muitos aspectos da origem desses solos ainda não estão elucidados, tendo como hipótese principal, ter sido formados no período pré-colombiano e abandonado depois da invasão dos europeus durante a colonização (Kern & Kämpf, 1989). Apesar de inúmeros avanços nas pesquisas, muitas dúvidas permanecem sem respostas, entre elas destaca-se a capacidade de manutenção dos altos teores dos nutrientes, mesmo com o uso contínuo da terra.

Com essas características, a Terra Preta do Índio e os Espodosolos (fertilizados com sedimentos provenientes dos Andes) apresentam altos teores de Cu, Fe, Mn e Zn (Kern & Kämpf, 1989; Rodrigues, 1998; Lima *et al.*, 2002), diferenciando-se dos solos da região. Com relação a esses micronutrientes, essa diferença é ressaltada por Nicholaides *et al.* (1983). Esses autores verificaram que cerca de 23% dos solos da Amazônia apresentam deficiência de cobre e 48% são pobres em de zinco.

No caso do manganês, os altos teores de matéria orgânica dos solos da região podem resultar na complexação do elemento, diminuindo o conteúdo trocável no solo. A carência de ferro, existente na maioria dos solos, a despeito do alto teor total de óxidos, pode ter sido induzida, principalmente, pela oxidação do Fe bivalente a trivalente (Malavolta, 1987). O mesmo autor também ressalta que os solos da região, normalmente, apresentam suficiência em B disponível, apesar de sintomas de deficiência serem comuns em plantios da região.

As soluções extratoras DTPA-TEA, pH 7,3 (0,005 mol L⁻¹ de DTPA + 0,1 mol L⁻¹ de TEA + 0,01 mol L⁻¹ de CaCl₂) e Mehlich 1 (0,05 mol L⁻¹ de HCl + 0,025 mol L⁻¹ de H₂SO₄) são as mais empregadas atualmente pelos laboratórios de análise de solo (Raij, 1991; Embrapa, 1997), porém, poucos estudos mostram correlações entre os teores encontrados no solo com os da planta. Além disso, existe uma tendência mundial no uso de soluções multinutrientes. Nesse contexto, se encaixa o extrator Mehlich 3 (0,2 mol L⁻¹ de CH₃COOH + 0,25 mol L⁻¹ de NH₄NO₃ + 0,015 mol L⁻¹ de NH₄F + 0,001 mol L⁻¹ de EDTA ácido). Segundo Tran *et al.* (1990), esse método pode ser um dos procedimentos mais apropriados, por apresentar maior correlação entre nutriente-solo x nutriente-planta, do que o extrator Mehlich 1. Exceto pelos resultados mostrados por Rodrigues (1998) em um estudo sobre disponibilidade de micronutrientes nos solos da Amazônia, não foram encontrados registros na literatura indicando qual o extrator mais adequado na determinação individualizada de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), em especial, nas Terras Pretas de Índio.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a disponibilidade de B, Cu, Fe, Mn e Zn, em solos com horizontes A antrópicos (Terra Preta do Índio - TPI) da Amazônia Central, obtida com os extratores KCI 1,0 mol L⁻¹ (B disponível), Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA-TEA (Cu, Fe, Mn e Zn disponíveis) e compará-la com a determinada para outros grupos de solos representativos da região amazônica.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras (n=16) de terra provenientes de diferentes profundidades e originárias de dez sítios arqueológicos foram analisadas, sendo eles: Costa do Açutuba, nas margens do rio Negro, Município de Iranduba (AM) – 0-20cm; Hatahara, nas margens do rio Solimões, Município de Iranduba (AM) – 0-20cm, 20-40cm, 40-60cm; Caldeirão, nas margens do rio Solimões, Município de Iranduba (AM) – 0-20cm; Jiquitaia, nas margens do rio Preto da Eva, Município de Rio Preto da Eva (AM) – 0-10cm, 0-20cm, 20-40cm; Costa do Laranjal, nas margens do rio Solimões, Município de Manacapuru (AM) – 0-10cm, 0-20cm; Cajutuba, nas margens do rio Tapajós, Município de Santarém (PA) – 0-20cm; Caburi, nas margens do rio Amazonas, Município de Parintins (AM) – 0-20cm; Serra Baixa, nas margens do rio Solimões, Município de Manacapuru (AM) – 0-20cm; Rio Urubu, na margem do rio Urubu, Município de Rio Preto da Eva (AM) – 0-10cm, 0-20cm e Itapeçu, nas margens do rio Amazonas, Município de Urucurituba (AM) – 0-20cm. Concomitantemente, ao nível de comparação, também foram analisadas quatro amostras de classes de solos representativas da região (Embrapa, 1999), sendo: o Neossolo Flúvico, coletado no Município de Presidente Figueiredo (AM) – 0-20cm, o Espodosolo, coletado no Município de Iranduba (AM) – 0-20cm, o Latossolo Amarelo, coletado no Município de Manaus (AM) – 0-20cm, o Argissolo, coletado no Município de Rio Preto da Eva (AM) – 0-20cm e o Cambissolo, coletado no Município de Coari (AM) – 0-10cm.

Nas amostras foram determinados os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn disponível (Tabelas 1 e 2). O B disponível foi extraído por KCI 1,0 mol L⁻¹ e determinado com colorimetria de Azometina H (Moreira & Castro, 2004). Os teores de Cu, Fe, Mn e Zn disponível foram extraídos por Mehlich 1 (Mehlich, 1978), Mehlich 3 (Mehlich, 1984) e DTPA-TEA (Lindsay & Norvell, 1978), e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica, enquanto que o P disponível foi extraído e determinado por espectrofotometria, de acordo com os métodos descritos em Mehlich (1978) - Mehlich 1, Mehlich (1984) - Mehlich 3 e Olsen & Dean (1985) - Bray 1.

As análises descritivas (média, mediana, desvio padrão, coeficientes de curtose, assimetria e de variação) dos atributos químicos do solo foram realizadas de acordo com Ribeiro Júnior (1995). Na comparação dos dados foram realizadas as análises de variância (Teste F) e correlações a 5% de significância (Pimentel Gomes & Garcia, 2002). Para verificar a existência de distribuição normal dos atributos do solo nos sítios amostrados foi utilizado o teste não paramétrico de Shapiro Wilks a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Independentemente das soluções extratoras (Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA-TEA), nos dez sítios de Terra Preta do Índio (TPI) (Tabelas 1 e 2), houve grande variabilidade dos teores disponíveis dos micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn). Mesmo assim, o teste de normalidade indicou distribuição normal para os teores de Cu (Mehlich 1 e DTPA-TEA), Fe (Mehlich 3 e DTPA-TEA) e Mn (Mehlich 3), enquanto os teores de B e Zn disponível apresentaram altos valores nos coeficientes de assimetria e curtose e significância nos dados, característica de ausência de normalidade nos dados.

No extrator Mehlich 1 (referência para o Cu, Fe, Mn e Zn disponível - extrator padrão utilizado nas análises de rotina na região) e KCl 1,0 mol L⁻¹ para o B disponível, houve presença de grande amplitude nos teores mínimos e máximos de B (0,01 mg dm⁻³ a 0,19 mg dm⁻³), Cu (0,35 mg dm⁻³ a 8,53 mg dm⁻³), Fe (14,5 mg dm⁻³ a 213,0 mg dm⁻³), Mn (0,31 mg dm⁻³ a 206,40 mg dm⁻³) e Zn (0,77 mg dm⁻³ a 69,55 mg dm⁻³) entre os solos de TPI (Tabelas 1 e 2). As possíveis razões para que ocorram essas diferenças dentro da TPI são: i) localização, haja vista que os sítios situados nas proximidades dos rios de água barrenta (maior quantidade de sedimentos), como o Solimões e o Madeira, na sua maior parte apresentam maior fertilidade natural quando comparado com os localizados às margens dos rios de águas escuras ou claras, como os rios Negro e Tapajós, ii) uso intensivo atual (Lima *et al.*, 2002), iii) tamanho dos sítios e, iv) tempo de ocupação humana (Sjoberg, 1976).

Na TPI, as soluções DTPA-TEA e Mehlich 3 apresentaram maior capacidade de extrair Cu e Fe disponível que o Mehlich 1, enquanto para o Mn e Zn disponível, a solução de Mehlich 1 apresentou maior capacidade de extração. No geral, a capacidade de extração para cada micronutriente obedeceu a seguinte ordem: Cu ⇒ DTPA-TEA > Mehlich 3 > Mehlich 1; Fe ⇒ DTPA-TEA > Mehlich 3 > Mehlich 1; Mn ⇒ Mehlich 1 > DTPA-TEA > Mehlich 3; Zn ⇒ Mehlich 1 > DTPA-TEA > Mehlich 3 (Tabelas 1 e 2).

Os métodos de determinação, que visam avaliar a disponibilidade de um nutriente, identificam preferencialmente o fator quantidade. Cabe destacar que a quantidade extraída, em alguns casos, não é sinônimo de eficiência, como por exemplo, as soluções diluídas de ácidos fortes, no caso o extrator Mehlich 1, que em solos adubados com fosfatos naturais não reativos de origem apatítica (fosfato natural de Catalão, fosfato natural de Patos de Minas, entre outros), superestimam a quantidade de P disponível no solo (Silva & Raij, 1999).

Verificou-se também que, exceto o B disponível - extrator KCl 1,0 mol L⁻¹ (-11%) e o Fe disponível extraí-

do por Mehlich 1 (-58,9%), os teores Cu, Mn e Zn na TPI foram, na média, superiores aos medidos no Neossolo Flúvico, Argissolo, Cambissolo e Latossolo Amarelo. Os valores, em termos de porcentagem, foram: Cu ⇒ Mehlich 1 (435%), Mehlich 3 (2136%) e DTPA-TEA (1268%); Fe ⇒ Mehlich 3 (54,7%) e DTPA-TEA (12%); Mn ⇒ Mehlich 1 (26981%), Mehlich 3 (5851%) e DTPA-TEA (3403%) e Zn ⇒ Mehlich 1 (9325%), Mehlich 3 (4529%) e DTPA-TEA (4346%). Os baixos teores de Fe disponível, verificados com o Mehlich 1 quando comparado com Mehlich 3 e DTPA-TEA, corroboram com os determinados por Rodrigues (1998) e com Mehlich (1984). Este autor, em seu trabalho de desenvolvimento da solução extratora Mehlich 3, relata que a incorporação do EDTA nas soluções extratoras tem a finalidade de melhorar a extração de micronutriente do solo, o que nas condições edafoclimáticas locais foi verificado apenas na extração do Cu e Fe disponível.

Independentemente dos extratores, esses altos teores dos micronutrientes encontrados na TPI na Amazônia Central, principalmente Mn e Zn disponível, também foram reportados por Kern & Kämpf (1989) nos sítios localizados no Estado do Pará (Amazônia Oriental), e por Rodrigues (1998) e Lima *et al.* (2002) no Estado do Amazonas. Foi verificado também que os solos de várzea (Espodosolo) e a TPI apresentaram poucas diferenças entre si, com teores elevados de Cu, Fe, Mn e Zn disponível (Tabelas 1 e 2). Resultados similares foram também reportados por Kern & Kämpf (1989), Rodrigues (1998) e Lima *et al.* (2002).

Os coeficientes de correlação (r) entre as soluções extratoras obedeceram a seguinte ordem: Cu ⇒ Mehlich 3 e DTPA-TEA, Fe ⇒ Mehlich 1 e DTPA-TEA, Mn e Zn ⇒ Mehlich 1 e Mehlich 3 (Tabela 3). Apesar da distinção na capacidade de extração de cada solução, os resultados foram semelhantes aos de Rodrigues (1998), que trabalhou com soluções extratoras em sete classes de solos da Amazônia. Tais resultados demonstram a complexidade existente para definir uma solução extratora capaz de determinar um maior número possível de elementos sem levar em consideração às condições edafoclimáticas dominantes.

Por não existir limites de interpretação para o teor de micronutrientes nos solos da Amazônia, utilizou-se as faixas estabelecidas por Alvarez Venegas *et al.* (1999) para o extrator Mehlich 1 (Estado de Minas Gerais, Brasil) e por Raij *et al.* (1997) para a solução de DTPA-TEA (Estado de São Paulo, Brasil). Apesar de existir estudos mostrando sua potencialidade, não foi encontrada na literatura uma faixa de interpretação para o extrator Mehlich 3. No geral, verificou-se maior frequência de dados na classe de interpretação dita como alta nos solos de TPI com o DTPA-

Tabela 1. Estatística descritiva e teores de boro (KCl 1,0 mol L⁻¹), cobre e ferro disponíveis no solo obtidos com os extratores Mehlich 1 (M1), Mehlich 3 (M3) e DTPA-TEA.

Table 1. Descriptive statistic and available boron (KCl 1.0 mol L⁻¹), cooper and iron in soil with Mehlich 1 (M1), Mehlich 3 (M3) and DTPA-TEA extractants.

Sítio	Localização	Prof cm	B			Cu			Fe		
			KCl	M1	M3	DTPA	M1	M3	DTPA	M1	M3
..... (mg dm ⁻³)											
Rio Urubu	R. Preto da Eva (AM)	0-10	0,21	0,61	1,52	3,29	28,0	135,5	211,0		
Rio Urubu	R. Preto da Eva (AM)	0-20	0,01	1,26	1,23	3,83	44,5	204,5	296,0		
Hatahara	Irاندوبا (AM)	0-20	0,01	1,19	7,65	13,43	50,0	220,5	129,0		
Hatahara	Irاندوبا (AM)	20-40	0,01	1,32	7,16	17,53	55,5	275,5	300,0		
Hatahara	Irاندوبا (AM)	40-60	0,01	1,09	8,53	18,58	50,0	225,0	192,0		
Jiquitaia	R. Preto da Eva (AM)	0-20	0,01	0,76	1,08	1,61	21,0	86,0	79,0		
Jiquitaia	R. Preto da Eva (AM)	20-40	-	0,67	2,12	3,31	14,5	105,5	131,0		
Açutuba	Irاندوبا (AM)	0-20	0,04	0,50	0,79	1,32	18,5	125,0	142,0		
Jiquitaia	R. Preto da Eva (AM)	0-10	0,01	1,97	4,07	4,47	24,5	164,0	105,0		
C. Laranja	Manacapuru (AM)	0-20	0,08	1,15	1,34	1,95	36,0	193,0	163,0		
Serra Baixa	Manacapuru (AM)	0-20	0,17	0,54	0,35	1,30	213,0	210,5	512,0		
Caburi	Parintins (AM)	0-20	0,16	2,20	1,91	2,96	204,0	296,0	330,0		
Cajutuba	Santarém (PA)	0-20	-	2,34	0,18	0,90	207,0	163,0	499,0		
Caldeirão	Irاندوبا (AM)	0-20	0,19	1,36	1,87	5,30	75,0	220,0	495,0		
C. Laranja	Manacapuru (AM)	0-10	-	1,68	7,76	17,69	42,0	1.630	201,0		
Itapeçu	Urucutituba (AM)	0-20	-	1,06	2,61	5,41	99,6	168,1	279,9		
Média			0,08	1,23	3,13	6,43	74,13	180,95	254,06		
Mediana			0,03	1,17	1,89	3,57	47,25	180,57	206,00		
Desvio padrão			0,09	0,57	2,92	6,42	69,90	52,94	143,27		
Assimetria			0,70	0,62	-1,07	1,28	1,46	0,06	0,67		
Curtose			-1,69	-0,27	-0,45	0,03	0,78	0,42	-0,02		
Shapiro Wilks ⁽¹⁾			0,82*	0,93 ^{NS}	0,79*	0,75 ^{NS}	0,74*	0,96 ^{NS}	0,90 ^{NS}		
CV (%)			112,50	46,70	93,23	99,78	94,29	29,26	56,39		
Neossolo	P. Figueiredo (AM)	0-20	0,01	0,31	0,18	0,46	4,0	1,0	5,0		
Espodossolo	Irاندوبا (AM)	0-20	0,30	3,91	1,69	4,48	631,12	707,75	638,04		
Argissolo	R. Preto da Eva (AM)	0-20	0,13	0,13	0,13	0,42	182,0	127,0	207,0		
Cambissolo	Coari (AM)	0-10	0,10	0,17	0,16	0,38	80,5	66,0	29,0		
Latossolo	Manaus (AM)	0-20	0,11	0,30	0,10	0,64	455,0	274,0	666,0		
Média			0,13	0,96	0,45	1,28	270,52	235,16	309,01		
Mediana			0,11	0,30	0,16	0,46	182,00	127,00	207,00		
Desvio padrão			0,11	1,65	0,69	1,79	264,12	282,84	322,85		
CV (%)			81,23	171,03	153,26	140,58	97,63	120,28	104,48		

⁽¹⁾ *Significativo a 5% de probabilidade. ^{NS}Não-significativo.

Tabela 2. Estatística descritiva e teores de manganês e zinco disponíveis no solo obtidos com os extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA-TEA.

Table 2. Descriptive statistic available manganese and zinc in soil with Mehlich 1 (M1), Mehlich 3 (M3) and DTPA-TEA extractants.

Sítio	Localização	Prof cm	Mn			Zn		
			M1	M3	DTPA	M1	M3	DTPA
(mg kg ⁻¹)								
Rio Urubu	R, Preto da Eva (AM)	0-10	165,95	34,28	28,39	9,05	6,00	21,59
Rio Urubu	R, Preto da Eva (AM)	0-20	2,70	1,67	11,97	0,96	0,67	2,08
Hatahara	Irاندوبا (AM)	0-20	116,80	26,14	129,92	69,55	31,05	11,06
Hatahara	Irاندوبا (AM)	20-40	66,35	14,89	97,96	45,20	21,30	9,14
Hatahara	Irاندوبا (AM)	40-60	47,96	18,32	67,49	65,50	25,50	87,20
Serra Baixa	Manacapuru (AM)	0-20	31,59	25,83	153,35	4,05	2,47	6,90
Jiquitaia	R, Preto da Eva (AM)	0-20	185,15	39,67	34,95	9,90	6,45	23,43
Jiquitaia	R, Preto da Eva (AM)	20-40	7,86	8,49	290,00	1,84	2,08	5,89
Açutuba	Irاندوبا (AM)	0-20	49,36	20,76	99,41	14,15	10,74	25,21
Jiquitaia	R, Preto da Eva (AM)	0-10	13,90	7,02	22,36	2,22	1,83	4,53
C. Laranjal	Manacapuru (AM)	0-20	0,31	0,99	5,00	0,77	0,65	2,84
Caburi	Parintins (AM)	0-20	20,20	34,86	33,67	14,10	9,10	16,69
Cajutuba	Santarém (PA)	0-20	19,65	0,78	83,26	13,60	0,30	1,70
Caldeirão	Irاندوبا (AM)	0-20	206,40	72,50	48,59	12,20	9,50	5,01
C. Laranjal	Manacapuru (AM)	0-10	87,69	24,21	2,19	13,63	8,26	14,62
Itapeçu	Urucutituba (AM)	0-20	147,60	30,96	23,88	25,90	19,60	11,07
Média			73,12	25,59	70,77	18,85	9,72	15,56
Mediana			48,66	22,49	41,77	12,90	7,36	10,10
Desvio padrão			69,86	18,36	73,97	21,82	9,63	20,57
Assimetria			0,61	0,98	2,00	1,67	1,11	3,21
Curtose			-1,23	1,77	4,83	1,82	0,34	11,62
Shapiro Wilks ⁽¹⁾			0,87*	0,92 ^{NS}	0,79*	0,74*	0,86*	0,60*
CV (%)			95,55	81,39	104,52	115,76	99,06	132,17
Neossolo	P, Figueiredo (AM)	0-20	0,21	0,07	0,46	0,18	0,17	0,12
Espodossolo	Irاندوبا (AM)	0-20	248,64	154,79	149,24	8,90	6,21	7,24
Argissolo	R. Preto da Eva (AM)	0-20	0,11	0,12	0,62	0,11	0,18	0,01
Cambissolo	Coari (AM)	0-10	0,13	0,20	1,75	0,18	0,17	0,24
Latossolo	Manaus (AM)	0-20	0,65	1,32	5,23	0,36	0,32	1,01
Média			49,65	31,30	31,46	1,95	1,41	1,72
Mediana			0,21	0,20	1,75	0,18	0,18	0,24
Desvio padrão			111,07	69,03	65,87	3,89	2,68	3,11
CV (%)			222,38	220,56	209,30	199,82	190,36	180,30

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. ^{NS}Não-significativo.

Tabela 3. Correlações dos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA-TEA utilizados na determinação do Cu, Fe, Mn e Zn disponíveis na solução do solo.

Table 3. Relationship between Mehlich 1, Mehlich 3 and DTPA-TEA extractants in available Cu, Fe, Mn and Zn in soil solution.

Extratores	Equação	r
Cobre		
Mehlich 1 e Mehlich 3	$\hat{y} = 2,084 + 0,796x$	0,16 ^{NS}
Mehlich 1 e DTPA-TEA	$\hat{y} = 4,650 + 1,362x$	0,12 ^{NS}
Mehlich 3 e DTPA-TEA	$\hat{y} = -0,161 + 2,118x$	0,97**
Ferro		
Mehlich 1 e Mehlich 3	$\hat{y} = 153,094 + 0,391x$	0,52*
Mehlich 1 e DTPA-TEA	$\hat{y} = 141,448 + 1,614x$	0,77**
Mehlich 3 e DTPA-TEA	$\hat{y} = 27,384 + 1,281x$	0,47 ^{NS}
Manganês		
Mehlich 1 e Mehlich 3	$\hat{y} = 7,145 + 0,205x$	0,83**
Mehlich 1 e DTPA-TEA	$\hat{y} = 89,276 - 0,257x$	0,26 ^{NS}
Mehlich 3 e DTPA-TEA	$\hat{y} = 84,210 - 0,662x$	0,17 ^{NS}
Zinco		
Mehlich 1 e Mehlich 3	$\hat{y} = 1,988 + 0,416x$	0,95**
Mehlich 1 e DTPA-TEA	$\hat{y} = 4,834 + 0,545x$	0,57*
Mehlich 3 e DTPA-TEA	$\hat{y} = 4,542 + 1,069x$	0,49 ^{NS}

**e*significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F. ^{NS}Não-significativo.

Tabela 4. Distribuição em porcentagem dos resultados analíticos das amostras de solos provenientes da Terra Preta do Índio (TPI) e das outras classes de solos representativas da região, baseadas em classes de interpretação dos extratores para micronutrientes utilizados no Brasil (Mehlich 1 e DTPA-TEA).

Table 4. Distribution in percentage of analytic results of soil samples of Amazonian Dark Earth (ADE) and others soil types. Interpretation of micronutrients extractants used in Brazil (Mehlich 1 and DTPA-TEA).

	Mehlich 1 ¹ mg dm ⁻³	%		DTPA-TEA ² mg dm ⁻³	%	
		TPI	Outros		TPI	Outros
Cobre						
Baixo	≤ 0,71	25,0	80,0	≤ 0,20	-	-
Médio	0,71 – 1,20	31,3	-	0,21 – 0,80	-	80,0
Alto	> 1,20	43,7	20,0	> 0,80	100,0	20,0
Ferro						
Baixo	≤ 18,0	-	20,0	≤ 4,0	-	-
Médio	18,1 – 30,0	31,2	-	4,1 – 12,0	-	20,0
Alto	> 30	68,8	80,0	> 12	100,0	80,0
Manganês						
Baixo	≤ 5	12,5	80,0	≤ 1,20	-	40,0
Médio	5,1 – 6,0	6,3	-	1,21 – 5,00	12,5	20,0
Alto	> 6,0	81,2	20,0	> 5,00	87,5	40,0
Zinco						
Baixo	≤ 1	-	80,0	≤ 0,50	-	60,0
Médio	1,1 – 1,5	12,5	-	0,51 – 1,20	-	20,0
Alto	> 1,5	87,5	20,0	> 1,20	100,0	20,0

¹ Alvarez Venegas *et al.* (1999); ² Raji *et al.* (1997).

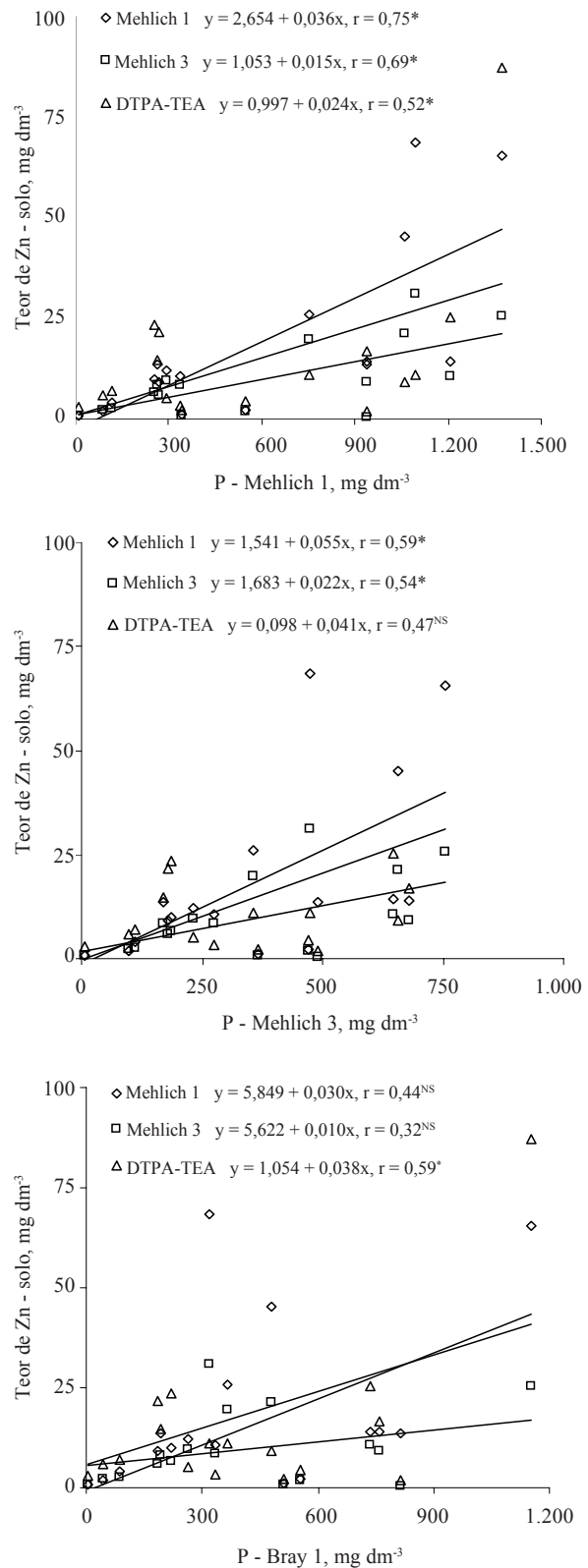
TEA do que com o Mehlich 1. Mesmo ficando grande porcentagem das amostras dentro da classe alta, o mesmo apresentou melhor distribuição eqüitativa dos dados por todas as três classes de interpretação, ou seja, maior sensibilidade na determinação da disponibilidade de micronutrientes no solo (Tabela 4).

No caso dos solos representativos da região, houve grande variação entre os extratores dentro das classes de interpretação (Tabela 4). Essas diferenças novamente realçam os problemas de se definir um extrator de micronutrientes adequado para as condições locais e em solos com características distintas, bem como a dificuldade de utilizar classes de interpretação oriundas de outras regiões com solos e condições climáticas diferentes.

Os solos com horizonte A antrópico são caracterizados por apresentar altos teores de P e Zn disponível (Kern & Kämpf, 1989), porém, é comum na literatura encontrar estudos mostrando a presença de inibição do tipo não competitiva entre esses dois nutrientes (Malavolta *et al.*, 1997). Neste caso, observou-se que o P disponível determinado pelo extrator Mehlich 1 apresentou correlação significativa com o teor de Zn disponível no solo, independentemente da solução extratora. No extrator Mehlich 3, o P disponível correlacionou significativamente com o Zn disponível obtido com as soluções de Mehlich 1 e de Mehlich 3, enquanto que o P extraído por Bray 1 apresentou correlação somente com o Zn determinado na solução de DTPA-TEA (Fig. 1). Esses resultados evidenciam que, apesar de toda diferença existente entre os métodos estudados, o extrator Mehlich 1, atualmente utilizado na rotina dos laboratórios da região como método padrão para os solos de TPI, mostra ser o mais recomendável por apresentar uma distribuição mais uniforme dentro das faixas de interpretação. Outra vantagem deste extrator é que permite determinar no mesmo extrato o P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn, permitindo a avaliação de todos esses nutrientes em apenas uma solução extratora.

Figura 1. Equações de regressão e coeficiente de correlação entre os teores P disponível extraídos por Mehlich 1, Mehlich 3 e Bray 1 com os teores de Zn disponível extraídos por DTPA-TEA, Mehlich 1 e Mehlich 3. *Significativo a 5% pelo teste F e ^{NS}Não significativo.

Figure 1. Regression analysis and relationship coefficient between available P in Mehlich 1, Mehlich 3 and Bray 1 with available Zn in DTPA-TEA, Mehlich 1 and Mehlich 3. *Significant at the 5% probability and ^{NS}Non significant.



AGRADECIMENTOS

A Embrapa Amazônia Ocidental (CPAA), pelo financiamento através do Macroprograma 2, projeto «Terra Preta Nova». Aos revisores, cujos comentários e observações permitiram melhorar o manuscrito.

REFERENCIAS

- Alvarez Venegas, VH; RF Novais; NF Barros; RB Cantarutti & AS Lopes. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. Pp.25-32. *En: Ribeiro, AC; PTG Guimarães & VH Alvarez Venegas (eds.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação.* CFSEMG, Viçosa.
- Embrapa. 1997. Manual de métodos de análise de solo. CNPS/Embrapa, Rio de Janeiro. 212 pp.
- Embrapa. 1999. Sistema brasileiro de classificação de solos. CNPS/Embrapa, Rio de Janeiro. 412 pp.
- Kern, DC & N Kämpf. 1989. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná, Pará. *R. Bras. Ci. Solo* 13: 219-225.
- Lima, HN; CER Schaefer; JWV Mello; RJ Gilkes & JC Ker. 2002. Pedogenesis and pre-Colombian land use of «Terra Preta Anthrosols» («Indian Black Earth») of Western Amazonia. *Geoderma* 110: 1-17.
- Lindsay, WL & WA Norvell. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and cooper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
- Malavolta, E. 1987. Fertilidade dos solos da Amazônia. Pp. 374-416. *En: Vieira, LS; PCTC Santos (eds.) Amazônia; seus solos e outros recursos naturais.* Agronômica Ceres, São Paulo.
- Malavolta, E; GC Vitti & SA Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Potafós, Piracicaba. 319 pp.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant; a modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15: 1409-1416.
- Mehlich, A. 1978. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 9: 477-492.
- Moreira, A & C Castro. 2004. Extrator KCl 1,0 mol L⁻¹: novo extrator para determinar o teor de boro disponível no solo. Pp.23-27. *En: Congreso Nacional y Internacional de la Ciencia del Suelo, 9. Cuzco, 2004. Resumos.* Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Universidad Nacional Agraria La Molina, Cuzco.
- Moreira, A & E Malavolta. 2002. Variação das propriedades químicas e físicas do solo e na matéria orgânica em agroecossistemas da Amazônia Ocidental (Amazonas). CENA/USP, Piracicaba. 79 pp.
- Nicholaides, JJ; PA Sanchez; DE Bandy; JH Villachica; AJ Couto & CS Valverde. 1983. Crop production system in the Amazon Basin. Pp.101-154. *In: EF Moran (ed.). The dilemma of Amazonia Development.* Westview Press, Boulder.
- Olsen, SR. & LA Dean. 1976. Phosphorus. Pp.1035-1049. *In: CA Black (ed.). Methods of Soil Analysis.* America Society of Agronomy, Madison.
- Pimentel Gomes, F & CH Garcia. 2002. Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais. FEALQ, Piracicaba. 309 pp.
- Raij, B van. 1991. Fertilidade do solo e adubação. Agronômica Ceres/Potafós, Piracicaba. 343 pp.
- Raij, B van; H. Cantarella; JA Quaggio & AMC Furlani. 1997. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. IAC, Campinas. 285 pp.
- Ribeiro Júnior, PJ. 1995. Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo. 99 pp. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», Universidade de São Paulo.
- Rodrigues, MRL. 1998. Disponibilidade de micronutrientes em solos da Amazônia. Piracicaba, 156 pp. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», Universidade de São Paulo.
- Silva, FC & B van Raij. 1999. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. *Pesq. Agropec. Bras.* 34: 267-288.
- Sjoberg, A. 1976. Phosphate analysis of antropic soils. *J. Field Arch.* 3: 447-454.
- Steiner, C; WG Teixeira; J Lehmann & W Zech. 2004. Microbial response to charcoal amendments of highly weathered soils and Amazonian dark earths in Central Amazonia – preliminary results. Pp 195-212 *In: Glaser, B. & WI Woods (eds.). Amazonian Dark Earths: Explorations in space and time.* Springer, London.
- Teixeira, WG & GC Martins. 2003. Soil physical characterization. Pp.271-286. *In: Lehmann, J.; DC Kern; B Glaser & WI Woods (eds.). Amazonian Dark Earths; origin, properties and management.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht,;
- Tran, TS; M Giroux; J Guilbeaut & S Audess. 1990. Evaluation of Mehlich III extractant to estimative the P available P in Quebec soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 21: 1-28.
- Woods, WI. 2003. Development of antrosol research. Pp. 3-14 *In: Lehmann, J; DC Kern; B Glaser & WI Woods (eds.). Amazonian Dark Earths; origin, properties and management.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.