

Métodos de Caracterização Química de Amostras de Horizontes Antrópicos das Terras Pretas de Índio

Adônis Moreira
Wenceslau Geraldes Teixeira
Gilvan Coimbra Martins
Newton Paulo de Souza Falcão

Os horizontes antrópicos típicos das Terras Pretas de Índio (Sombroek et al. 1966, Lehmann et al. 2003; Kampf & Kern, 2005) são caracterizados por elevados níveis de nutrientes, principalmente cálcio e fósforo, altos teores de matéria orgânica e atividade biológica mais elevada que os solos adjacentes (Steiner et al., 2004), na sua maioria cauliniticos e fortemente intemperizados (Teixeira & Martins, 2003; Moreira & Fageria, 2008 ; Teixeira et al. neste volume). Entretanto ainda são escassos trabalhos para uma correta caracterização desses solos (Kern & Kämpf, 1989 ; Lehmann et al., 2003; Teixeira et al., neste volume), havendo a necessidade de pesquisas mais aprofundadas sobre esse assunto.

Buscando indicar metodologias compatíveis para essas condições, este capítulo apresenta, os resultados já obtidos em sítios de TPI localizados nos estados do Amazonas e Pará, sendo esses: Costa do Açutuba, nas margens do Rio Negro, Município de Iranduba (AM); Hatahara, nas margens do Rio Solimões, Município de Iranduba (AM); Caldeirão, nas margens do rio Solimões, Município de Iranduba (AM); Jiquitaia, nas margens do Rio Preto da Eva, Município de Rio Preto da Eva (AM); Costa do Laranjal, nas margens do Rio Solimões, Município de Manacapuru (AM); Itapeçu, nas margens do Rio Amazonas, Município de Urucurituba (AM); Cajutuba, nas margens do Rio Tapajós, Município de Santarém (PA); Caburi, nas margens do Rio Amazonas, Município de Parintins (AM); Rio Urubu, na margem do Rio Urubu, Município de Rio Preto da Eva (AM) e Terra Preta do Limão, nas margens do Rio Amazonas, Município de Barreirinha (AM).

O levantamento e caracterização das área, a análise de solo são os principais instrumentos para transferência de informações sobre o diagnóstico da fertilidade de um determinado local. A interpretação dos resultados depende, em grande parte, da qualidade da amostragem e do grau de eficiência na determinação do elemento proporcionado pelo método utilizado. Em qualquer tipo de solo, a definição de extratores padrões é bastante complexa pela grande variedade de métodos que apresentam, de certa forma, vantagens e desvantagens no seu manuseio e grau de interpretação.

Na Tabela 1 estão listados alguns métodos atualmente utilizados na determinação da disponibilidade de alguns elementos no solo e os seus respectivos extratores. Observa-se grandes diferenças nas soluções, mesmo naquelas que extraem apenas um elemento, podendo estas serem provenientes de diluições de ácidos fortes (Mehlich 1, Bray 1 e Mehlich 3), ácidos fracos (acetato de sódio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$), quelatizantes (DTPA-TEA), soluções alcalinas tamponadas (Olsen), resinas trocadoras de íons e técnicas de trocas isotópicas (Valor L e E).

Pela peculiaridade na formação dos horizontes antrópicos conhecidos como “Terra Preta de Índio”, este capítulo tem o objetivo de mostrar a potencialidade e a capacidade de diferentes métodos e extratores para caracterização da fertilidade do solo, obtidos em amostras de TPIs.

Tabela 1. Alguns métodos usados para análise de solo.

Método	Referência	Elemento(s)
Acetato de cálcio 0,5 mol L ⁻¹	Peech (1965)	H+Al trocável
Água quente	Berger & Truog (1939)	B disponível
Bray 1	Bray & Kurtz (1945)	P disponível
Água e CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹	Vettori (1969)	PH
Mehlich 1	Mehlich (1978)	P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn disponível
Mehlich 3	Mehlich (1984)	P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn disponível
DTPA-TEA	Lindsay & Norvell (1978)	Cu, Fe, Mn e Zn disponível
Valor E e L	Mclauffe et al. (1948); Larsen (1957)	P disponível
Olsen	Olsen et al. (1954)	P disponível
KCl 1,0 mol L ⁻¹	Chapman (1965); Moreira & Castro (2004)	Ca, Mg e Al trocável e B disponível
Resina trocadora de íons	Cooke & Hislop (1963); Raij et al. (1986)	P, K, Ca e Mg disponível
Tampão SMP	Shoemaker et al. (1961)	PH e H+Al trocável

Acidez do Solo

A acidez do solo limita a produção, estando ligada à disponibilidade de macronutrientes (N, P, K, Ca, Me S) e micronutrientes (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) e ao aparecimento de elementos em níveis tóxicos, em especial o Al (Havlin et al., 1999). Nas análises de rotina, o índice de acidez é medido pelo valor de seu pH, sendo utilizado duas metodologias: (1) solução de água desionizada e destilada na proporção 1:2,5 água:solução (v:v) e (2) solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ na proporção de 1:2,5 solo:solução, v:v (Raij et al., 1997; Embrapa, 1997).

O pH determinado em água, embora seja uma das medidas mais comuns, pode fornecer valores variáveis em diferentes épocas do ano ou, ainda, sujeito ao manuseio das amostras, devido à existência de quantidades variáveis de sais no solo. Para contornar esse problema, por promover a floculação dos colóides do solo, minimizando os erros, a opção utilizada é a determinação em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ (Raij, 1991).

Nos trópicos, os solos são, em grande parte, naturalmente ácidos, devido à pobreza de materiais de origem desprovidos de bases trocáveis ou por condições de pedogênese ou de formação de solo que favoreçam a remoção de elementos químicos ou fatores climáticos diversos, tais como chuva e vento que ocasionam a volatilização e lixiviação de bases do solo (Novais & Smith, 1999).

Nos horizontes antrópicos, outro fator que afeta o pH é tipo de rio localizado nas proximidades dos sítios, que podem ser os de água barrenta (Rio Amazonas, Rio Solimões, Rio Madeira, entre outros), caracterizados pela riqueza de sedimentos provenientes da Cordilheira dos Andes, e os de águas negras ou claras (rios Negro, Tapajós, Urubu, entre outros) que, ao contrário, apresentam acidez elevada e pobreza de sedimentos (Horbe et al., 2005).

Resultados obtidos em onze sítios de terra preta, mostram que, independentemente da metodologia utilizada, a localização dos sítios influencia o pH do solo (Fig. 1). Pelas características dos solos eutróficos adjacentes (várzea alta e baixa) e dos ambientes mais ricos em nutrientes nas margens dos rios de água barrenta, os sítios próximos apresentaram os maiores valores, ao contrário dos locais localizados nas margens dos rios de águas escuras ou claras, que, dependendo da estação chuvosa ou seca, têm o valor de pH variando entre 3,8 a 5,4 (Horbe et al., 2005).

Independentemente da localização, o pH em H₂O e CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ na camada de 0 a 20cm variou entre 4,2 a 6,73 e 3,72 a 4,84 respectivamente; valores esses, em muitos casos, estão acima dos

encontrados nos solos da Região Amazônica (Argissolos, Latossolos, Neossolos Flúvicos, Espodossolos e Cambissolos), que estão entre 3,79 a 4,72 em H_2O e de 3,52 a 4,40 em $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1} (Moreira, 2007).

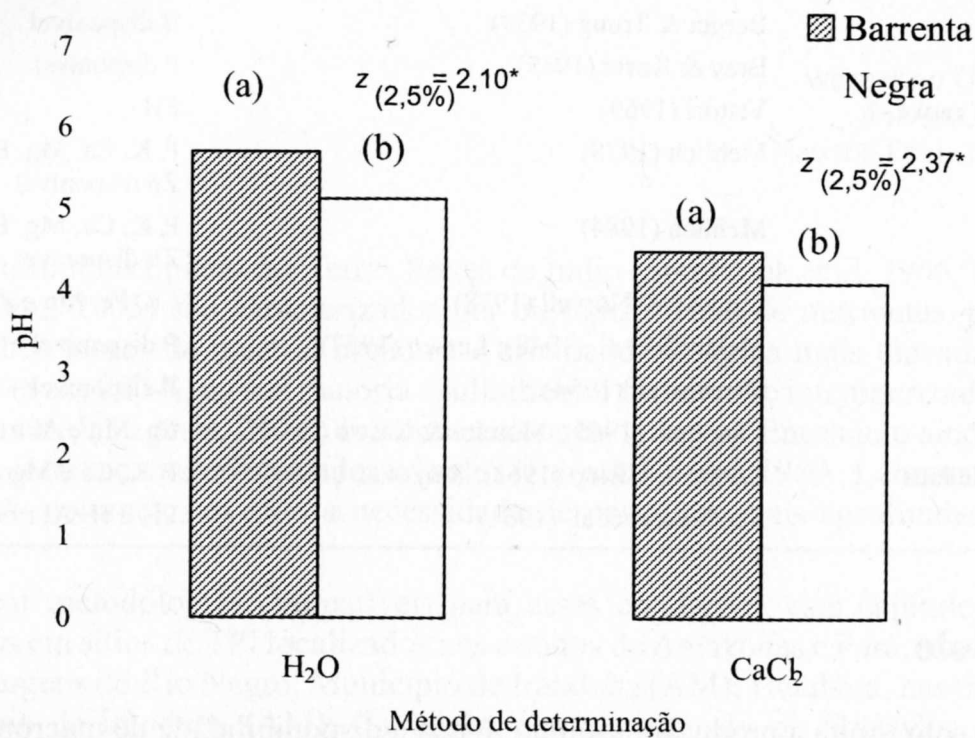


Fig. 1. Médias do pH do solo determinados em água e $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1} em sítios situados nas proximidades dos rios de águas barrenta e negra na Amazônia. Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney. (Moreira, 2007).

Carbono Orgânico

Em solos tropicais, a matéria orgânica tem grande importância no fornecimento de nutrientes, na retenção de cátions, na complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, na estabilidade da estrutura, na infiltração e retenção de água, na aeração e na atividade da biomassa microbiana, constituindo-se num componente fundamental da capacidade produtiva (Bayer & Mielniczuk, 1999).

Nessas condições, os ciclos do carbono e dos nutrientes operam graças à entrada fotossintética do gás carbônico e pela decomposição acelerada e contínua da matéria orgânica do solo realizada pelos microorganismos decompositores (Malavolta, 1987; Moreira & Fageria, 2008). A qualidade e a quantidade de matéria orgânica é diretamente proporcional à atividade da biomassa microbiana, que é a principal responsável pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo, exercendo sua influência tanto na transformação da matéria orgânica quanto na estocagem do carbono e nutrientes minerais, ou seja, na liberação e na imobilização de nutrientes (Jenkinson & Ladd, 1981).

Na determinação da matéria orgânica do solo, Moreira (2007) verificou na TPI, que os teores de carbono determinados pelo método Walkley-Black (solução de $K_2Cr_2O_7$ 0,4 mol L^{-1} + H_2SO_4 concentrado, Embrapa, 1997) e pelo analisador C-CHN (combustão por via seca a $960^\circ C$ em cápsula de Sn) apresentaram correlações significativas entre si, e apesar da significância, o Walkley-Black tiveram menor sensibilidade na determinação em solos com teores de carbono orgânico superior a 64,0 $g\ kg^{-1}$, o que não foi verificado com o analisador C-CHN (Fig. 2).

Isso ocorre porque esses solos têm grande quantidade de carbono na forma de carbono pirogênico (carvão), de difícil digestão com ácido sulfúrico concentrado (Steiner et al., 2004). Dependendo do tipo de solo, a eficiência na determinação do carbono por Walkley-Black pode variar de 56 % a 100 %, o que não ocorre com o método de oxidação por combustão, que converte todo C em presença do oxigênio para CO_2 durante o processo de aquecimento (Skjemstad & Taylor, 1999).

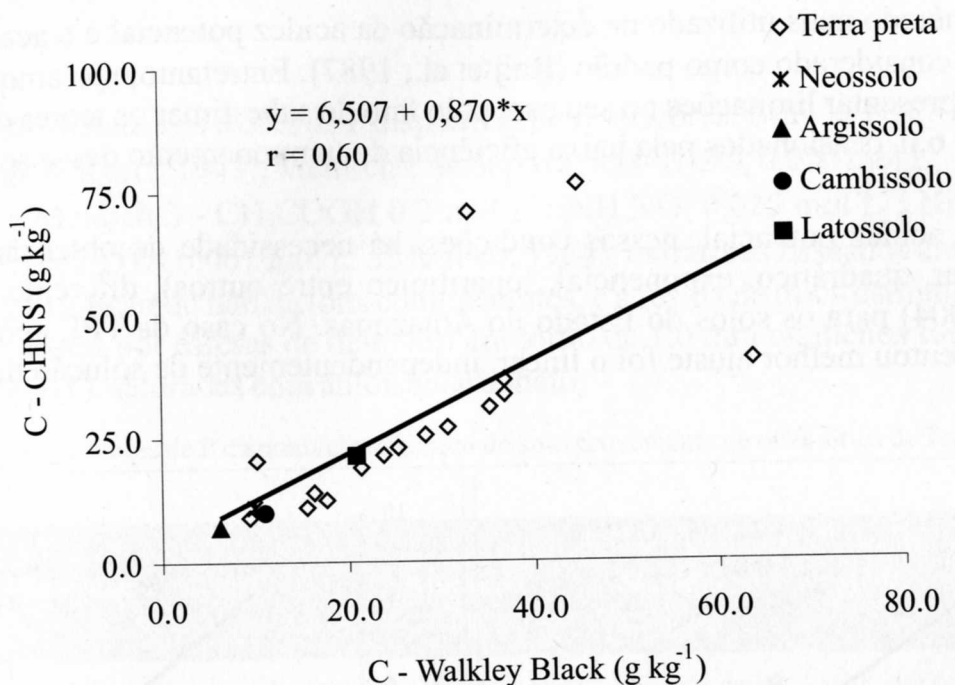


Fig. 2. Relação entre C-CHNS e C-Walkley Black em horizontes de TPI e de cinco amostras de solo representativas da região: Latossolo, Argissolo e Neossolo Flúvico e Espodossolo.

Porém, tais inferências sobre os métodos necessitam de mais estudos. Pereira et al. (2006), também encontraram correções significativas entre os métodos C-CHN (x) e Walkley-Black (y), com 53 amostras de solo com altos teores de matéria orgânica ($y = 27,796 + 0,796x$, $r = 0,92$), neste caso, o teor obtido nas amostras foi apenas 13% maior no C-CHN que no Walkley-Black.

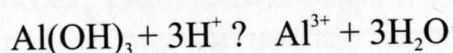
Os teores de C, obtidos na TPI pelo Walkley-Black e pelo analisador C-CHN são, dentro dos mesmos métodos, 96,19 % e 115,68 %, respectivamente, maiores que nos solos representativos da região (Argissolos, Latossolos e Neossolos Flúvicos) (Moreira, 2007). Os horizontes antrópicos são caracterizados por materiais originados da matéria orgânica do solo (MOS) na forma estável com alto peso molecular e estruturas de anéis aromáticos unidos, situação diferente da encontrada, em especial, nos Latossolos, com os polissacarídeos totalmente degradados, sendo essa característica da MOS na terra preta, provavelmente, devida à atividade microbiana do solo (Zech et al., 1990).

Apesar dessa estabilidade, a relação C/N nos horizontes antrópicos de TPI é apenas 20% maior do que a camada superficial do Latossolo, Cambissolo e Argissolo e 158% menor que no Neossolo Flúvico (Moreira, 2007). Devido à complexidade do assunto, para maior entendimento da dinâmica da matéria orgânica (carbono pirogênico) e da fertilidade dos solos antrópicos, ver os capítulos escritos por Cunha et al. (neste volume), Falcão et al. (neste volume) e Madari et al. (neste volume).

Acidez potencial

As características edáficas distintas dos solos antrópicos quando comparadas com a maioria dos outros solos da Amazônia e as tecnologias geradas em determinadas regiões nem sempre poderão ser utilizadas sem sofrer algumas modificações. Nesta situação encontra-se a acidez potencial, que é constituída do somatório da parte não dissociada do H⁺ com o Al³⁺ do solo, extraídos com soluções de sais tamponados ou misturas de sais neutros com solução-tampão (Peech, 1965).

Em solos muito ácidos com H⁺ e, principalmente, Al³⁺ presentes no complexo de troca ocorre a dissolução deste último (Havlin et al., 1999), ocasionando a seguinte reação:



No Brasil, o método mais utilizado na determinação da acidez potencial é o acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0, considerado como padrão (Raij et al., 1987). Entretanto, nas amostras de TPI, este método poderia apresentar limitações no seu uso, pelo fato de subestimar os teores de H⁺Al em solos com pH acima de 6,0, ocasionados pela baixa eficiência do tamponamento dessa solução em pH, em torno de 7,0 (Raij, 1991).

Para definir a acidez potencial, nessas condições, há necessidade da obtenção de um modelo matemático (linear, quadrático, exponencial, logarítmico entre outros), diferente do proposto por Moreira et al. (2004) para os solos do Estado do Amazonas. No caso da TPI, após a calibração, o modelo que apresentou melhor ajuste foi o linear, independentemente da solução de pH utilizada na extrato (Fig. 3).

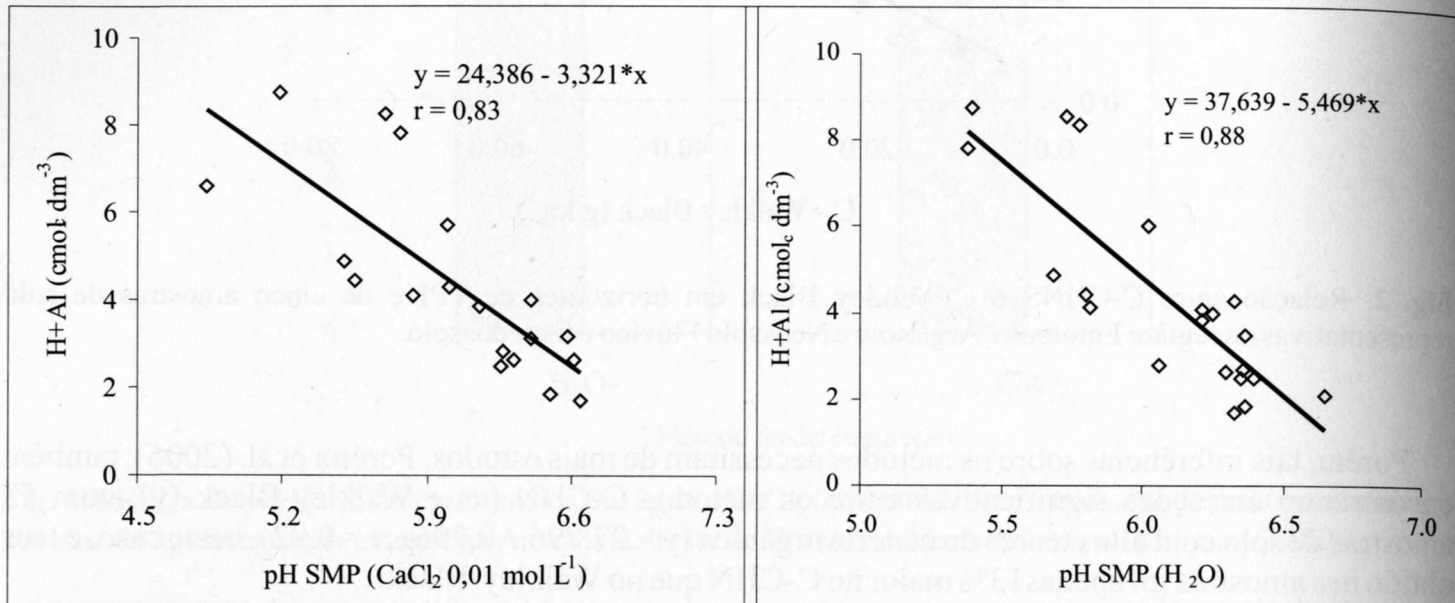


Fig. 3. Relação entre teores de H⁺Al extraídos por Ca(CH₃COO)₂.H₂O 0,05 mol L⁻¹ e pH SMP obtidos em água e CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, ambos analisados na relação de 1:2,5. Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. (Moreira, dados não publicados).

Com base nas equações foram definidos os valores da acidez potencial a partir 2,8 e 6,8 no pH em água e de 2,8 a 7,1 em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ nas condições edáficas dos horizontes antrópicos de TPI (Tabela 2).

Tabela 2. Estimativa da acidez potencial em H₂O e CaCl₂ a partir do pH SMP para horizontes antrópicos de TPI da Amazônia.

pH SMP	H ⁺ Al (H ₂ O)	H ⁺ Al (CaCl ₂)	pH SMP	H ⁺ Al (H ₂ O)	H ⁺ Al (CaCl ₂)
2,8	22,33	15,09	5,2	9,20	7,12
3,0	21,23	14,42	5,4	8,11	6,45
3,2	20,14	13,76	5,6	7,01	5,79
3,4	19,04	13,09	5,8	5,92	5,12
3,6	17,95	12,43	6,0	4,83	4,46
3,8	16,86	11,77	6,2	3,73	3,80
4,0	15,76	11,10	6,4	2,64	3,13
4,2	14,67	10,44	6,6	1,54	2,47
4,4	13,58	9,77	6,8	0,45	1,80
4,6	12,48	9,11	7,0	-	1,14
4,8	11,38	8,44	7,1	-	0,47
5,0	10,29	7,78	7,2	-	-

Fósforo

Na Tabela 3 estão listadas os teores de P disponível nos extratores: Bray 1 - NH_4F $0,03 \text{ mol L}^{-1}$ + HCl $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ (Bray & Kurtz, 1945), Mehlich 1 ou duplo ácido - H_2SO_4 $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ + HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ (Mehlich, 1978) e Mehlich 3 - CH_3COOH $0,2 \text{ mol L}^{-1}$; NH_4NO_3 $0,025 \text{ mol L}^{-1}$; NH_4F $0,015 \text{ mol L}^{-1}$; HNO_3 $0,013 \text{ mol L}^{-1}$ e EDTA $0,001 \text{ mol L}^{-1}$ (Mehlich, 1984), extratores baseados em soluções diluídas de ácidos fortes com adição ou não de íons complexantes, e a resina de troca catiônica e aniônica (Raij et al., 1986), compostas por esferas de diâmetro em torno de 1,0 mm ou menos formadas por grupos funcionais ($-\text{NR}_3+\text{OH}$), saturadas com ânion bicarbonato.

Tabela 3. Comparação dos teores de P disponível e orgânico do solo proveniente de onze sítios de Terra Preta em diferentes soluções extratoras.

Extrator	Referências	P disponível			Desvio padrão
		Mínimo	Máximo	Média	
		(mg kg ⁻¹)			
Bray 1	Bray & Kurtz (1945)	5,56	1153,34	422,59	319,19
Mehlich 1	Mehlich (1978)	8,57	1371,64	599,53	447,08
Mehlich 3	Mehlich (1984)	5,99	753,36	369,80	235,49
Resina	Raij et al. (1986)	14,00	289,00	144,88	87,84
P-orgânico	Olsen & Sommer (1982)	30,38	987,63	404,32	303,14

Os três primeiros métodos citados acima, a proporção extrator-solo foi de 10:1 (v:v), agitação por 5 minutos, filtragem ou decantação e determinação analítica, enquanto a resina de troca catiônica e aniônica é bem mais trabalhosa na análise, consistindo nas seguintes etapas: a) desagregação do solo, em suspensão com água na proporção 1:10; agitação do solo com resina em suspensão aquosa durante 16 horas; c) separação da resina do solo com o uso de peneiras; d) filtragem e leitura do sobrenadante.

À semelhança do que ocorre com os fosfatos naturais não reativos, os altos teores de P disponível obtidos com os extratores Bray 1, Mehlich 1 e Mehlich 3, possivelmente estejam superestimados, haja vista, que as soluções ácidas dissolvem predominantemente o P ligado ao Ca (o que é o caso do P oriundo de ossos ou espinhas de peixes, fonte das elevadas concentrações de P nas TPI Lima et al. 2005) e quantidades menores de P ligado a Fe e Al (Olsen & Khasawneh, 1980). Isso indica que esses extratores podem ser os menos indicados para determinação da disponibilidade de P em solos de TPI.

No caso da resina de troca catiônica e aniônica, a extração dá-se durante a agitação da suspensão solo-água-resina. Esse processo tem semelhança com a absorção de P pelas plantas (Raij, 1991), caracterizada pela transferência do P lábil para a solução do solo e daí para as raízes:

P lábil ? P solução ? P resina,
P lábil ? P solução ? P raiz.

Um outro aspecto relacionado ao P disponível foi enfatizado por Raij & Quaggio (1990), no qual, solos contendo grande quantidade de sítios de adsorção de P nos óxidos de Fe e Al, a aplicação de calcário acarreta em aumento na disponibilidade de P para as plantas, porém, a utilização dos extratores Bray 1 e Mehlich 1 não indicam o efeito da calagem, o que não ocorreu com o método da resina trocadora de íons, que refletiu com coerência o aumento da fitodisponibilidade de P no solo para as plantas.

Moreira (2007) verificou que, exceto o sítio de TPI Serra Baixa, com $8,6 \text{ mg dm}^{-3}$ de P disponível, as outras amostras apresentaram altos teores de P disponível, corroborando as afirmativas de elevados teores de P nos sítios de TPI (Sombroek, 1966, Kern & Kämpf, 1989, Lehmann et al. 2003, Kämpf & Kern, 2005). Os teores de P variaram de $8,6 \text{ mg dm}^{-3}$ no Sítio Serra Baixa (Manacapuru, AM) a $1.371,6$

mg dm⁻³ no Sítio Hatahara (Manacapuru, AM). Esses valores estão definidos como bons por Alvarez Venegas et al. (1999) na classe de interpretação (P = 8,1 a 12 mg dm⁻³ e Ca = 0,36 a 0,6 cmol_c dm⁻³), utilizando os extratores Mehlich 1. Nesses sítios, 27,3% das amostras de TPI não apresentaram os teores de P disponível > 180 mg kg⁻¹ (extrator Mehlich 1), proposto por Kern & Kämpf (1989) como um dos requisitos para classificação dos solos antrópicos. E provavelmente, também ficaram abaixo de 250 mg kg⁻¹ de P (pelo método do ácido cítrico) para caracterizar um horizonte A, como antrópico (Embrapa, 1999) e também no sistema americano de classificação (USDA, 1975).

Para interpretação, os teores obtidos com Mehlich 1 correspondem a > 67 mg kg⁻¹ de P, para o extrator resina trocadora de íons através do modelo: $y = 34,027 + 0,1849 * x$, $r = 0,94$, > 162 mg kg⁻¹ de P, para o extrator Mehlich 3 ($y = 72,268 + 0,4963 * x$, $r = 0,94$) e > 167 mg kg⁻¹ de P para o extrator Bray 1 ($y = 65,202 + 0,5661 * x$, $r = 0,83$) (Moreira, 2007).

O fósforo orgânico, determinado pela diferença entre P determinado em ácido sulfúrico 5,0 N, em amostras de solo incineradas a 550°C e a não incinerada, é constituído pelos fosfatos remanescentes nos resíduos orgânicos parcialmente alterados e pela mistura do protoplasma microbiano e dos produtos de sua decomposição (Dallal, 1977). Estudos indicam que nas TPIs, grande parte do P disponível é proveniente da ação antrópica, haja vista que na média dos solos da região o P orgânico é inferior a 3,5 mg kg⁻¹, sendo que na média das amostras analisadas de horizontes antrópicos de TPI nesse estudo o valor foi acima de 400 mg kg⁻¹ (Tabela 3).

Cálcio

Os sítios de TPI apresentam altos teores de Ca trocável, variando de 0,9 cmol_c dm⁻³ no Sítio Cajutuba (Santarém, PA) a 23,8 cmol_c dm⁻³ no Sítio Caldeirão (Iranduba, AM) (Moreira, 2007). Esses valores são superiores aos encontrados em outros solos representativos da Amazônia. Na classificação proposta por Alvarez Venegas et al. (1999), as TPIs seriam classificadas, em sua maioria, na classe de interpretação Bom (Ca = 0,36 a 0,6 cmol_c dm⁻³, extrator KCl 1,0 mol L⁻¹).

As diferenças nos teores de Ca trocável entre os sítios amostrados podem ser atribuídas ao uso agrícola intensivo atual, às perdas por erosão superficial (os produtores não fazem nenhuma prática de manejo de conservação do solo), à localização (Lima et al., 2002) e ao tamanho e período de ocupação das populações indígenas nas localidades (Sjoberg, 1976).

Os solos tropicais são caracterizados por baixa saturação por bases, o que corresponde ao baixo conteúdo de elementos trocáveis, entre eles o cálcio, o que contrasta com os solos de TPI (Schroth et al., 2002; Moreira & Malavolta, 2005; Moreira & Fageria, 2008). Independentemente da solução extratora (resina, Mehlich 3 ou KCl 1,0 mol L⁻¹), o cálcio trocável originário, possivelmente, de restos vegetais e animais (Fig. 4a) pode corresponder em até 67,8 % do Ca total no solo (A. Moreira, dados não publicados).

Na média, os sítios de TPI apresentam 3140 mg kg⁻¹ de Ca total, o que mostra o insignificante aporte de cálcio advindo do solo de origem, no caso do Latossolo (30,2 mg kg⁻¹), Neossolo Flúvico (50,0 mg kg⁻¹), Argissolo (44,0 mg kg⁻¹) e Cambissolo (70,0 mg kg⁻¹) (Fig. 4b). Nesses solos, o Ca trocável corresponde a apenas 38 %, 18 %, 10 % e 24 %, respectivamente, do total. Nos solos do Estado do Amazonas, 88,4% das amostras apresentam teores abaixo de 1,17 cmol_c dm⁻³ (Moreira et al., 2005), valor esse, considerado baixo na classe de interpretação com extrator KCl 1,0 mol L⁻¹ (Alvarez Venegas et al., 1999).

Apesar de trabalhos mostrando semelhança dos dados para determinação do Ca trocável na TPI, em termos comparativos, o extrator ácido (Mehlich 3) apresenta maior capacidade de extração (Fig. 4a), com a seguinte tendência: Mehlich 3 > KCl 1,0 mol L⁻¹ > resina.

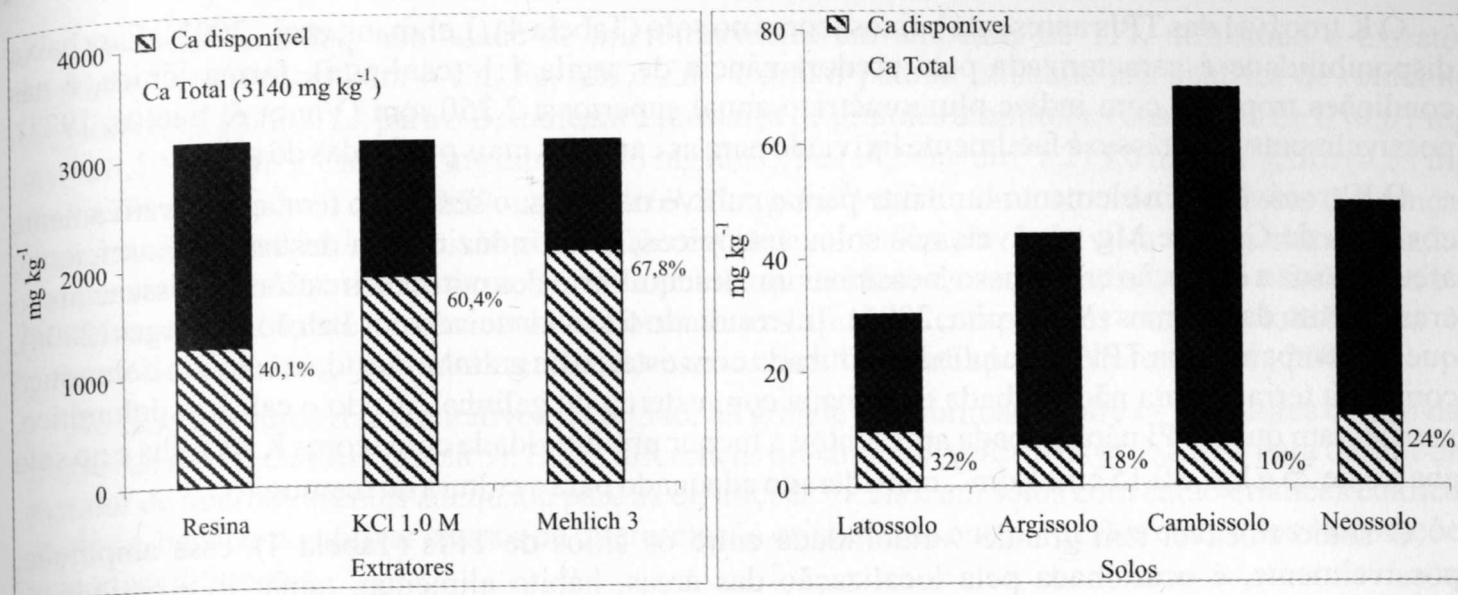


Fig. 4. Quantidade de cálcio disponível e total em horizontes antrópicos de TPI (a) e Latossolo, Argissolo e Neossolo Flúvico (b) da Amazônia (Moreira, dados não publicados).

Potássio, Magnésio e Sódio

Exceto a obtenção do magnésio trocável com o extrator Mehlich 1, a determinação das quantidades de Mg, K e Na trocável do solo utilizando os métodos aplicados nos laboratórios de rotina do Brasil (resina no Estado de São Paulo e KCl 1,0 mol L⁻¹ nos demais estados) apresentam semelhanças (Tabela 4), não havendo a necessidade de substituir o método em uso por outro, independentemente do tipo de solo analisado.

Tabela 4. Comparação de valores de Mg, K e Na trocáveis, por meio de diferentes extratores para os horizontes antrópicos de TPI e o Latossolo Amarelo distrófico.

Elementos	Extrator	Mínimo			Máximo			Média	Latossolo
		(cmol. dm ⁻³)							
Magnésio	Resina	0,20	3,4	1,4	0,10			0,10	
	KCl 1,0 mol L ⁻¹	0,06	6,3	2,3	0,10			0,10	
	Mehlich 3	0,03	1,3	0,5	0,05			0,05	
Potássio	Resina	0,04	0,30	0,12	0,07			0,07	
	Mehlich 1	0,01	0,47	0,11	0,05			0,05	
	Mehlich 3	0,03	0,48	0,12	0,07			0,07	
Sódio	Mehlich 1	0,01	0,65	0,16	0,03			0,03	
	Mehlich 3	0,03	0,30	0,11	0,05			0,05	

A. Moreira (dados não publicados), média de 28 amostras de TPI.

Os teores de Mg trocável na TPI estão acima de 2,0 cmol_c dm⁻³, situando dentro da faixa considerada média e alta por Alvarez Venegas et al. (1999), com o extrator KCl 1,0 mol L⁻¹ e por Raij et al. (1997) com a resina trocadora de íons. A quantidade de magnésio total (A. Moreira, dados não publicados), em amostras de TPI, determinada em HCl concentrado, variam de 20 a 900 mg kg⁻¹, ficando na média em 350 mg kg⁻¹, 337 % superior à média dos Latossolos, Argissolo, Espodossolo, Neossolos Flúvicos e Cambissolo.

O K trocável das TPIs apresenta baixos teores no solo (Tabela 4) (Lehmann et al., 2003). Essa baixa disponibilidade é caracterizada pela predominância de argila 1:1 (caulinita), forma iônica, e nas condições tropicais com índice pluviométrico anual superior a 2.250 mm (Vieira & Santos, 1987), possivelmente, o potássio é facilmente lixiviado para as camadas mais profundas do solo.

O K trocável é um elemento limitante para o cultivo nas TPIs, o seu baixo teor, comparativamente aos altos de Ca e de Mg trocáveis nos solos antrópicos, pode induzir a um desbalanço nutricional, afetando sua absorção e, com isso, ocasionar um desequilíbrio dos nutrientes catiônicos essenciais ao crescimento das plantas (Malavolta, 2006). Tal resultado foi evidenciado por Falcão & Borges (2006), que ao comparar uma TPI não adubada e adubada com esterco de galinha curtido e calcário dolomítico com uma terra mulata não adubada e adubada com esterco de galinha curtido e calcário dolomítico, verificaram que a TPI não adubada apresentou a menor produtividade com teores K na folha e no solo abaixo de 25 g kg^{-1} e $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, considerado adequado para a cultura do mamoeiro.

O sódio trocável tem grande variabilidade entre os sítios de TPIs (Tabela 4), essa amplitude, possivelmente, é ocasionada pela localização das áreas, hábito alimentar, tamanho e período de ocupação da população pré-colombiana. Com relação aos extratores, apesar da maior amplitude do extrator Mehlich 1, esse é semelhante ao Mehlich 3 na determinação do Na disponível.

Micronutrientes

Por não existir limites de interpretação para os teores de micronutrientes em TPIs, utilizou-se as faixas estabelecidas por Alvarez Venegas et al. (1999) para o extrator Mehlich 1 e por Raij et al. (1997) para a solução de DTPA-TEA.

Na determinação da disponibilidade de micronutrientes, a utilização do DTPA-TEA, indicou maior frequência de dados na classe alta ($\text{Cu} > 0,8 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Fe} > 12 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Mn} > 5,0 \text{ mg dm}^{-3}$ e $\text{Zn} > 1,2 \text{ mg dm}^{-3}$) nos solos dos horizontes antrópicos quando comparado com o extrator Mehlich 1 (Tabela 5), que apresenta melhor distribuição dos dados nas três classes de interpretação, ou seja, pode-se inferir maior sensibilidade na determinação da disponibilidade de micronutrientes no solo (Moreira et al., 2009).

Tabela 5. 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).

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

⁽¹⁾ Alvarez Venegas et al. (1999); ⁽²⁾ Raij et al. (1997). Fonte : Moreira et al. (2009).

Estudo sobre a disponibilidade de micronutrientes em amostras de TPI, utilizando o extrator Mehlich 1 (referência para o Cu, Fe, Mn e Zn - extrator padrão utilizado nas análises de rotina na região) e KCl 1,0 mol L⁻¹ para o B, indicam a presença de grandes amplitudes nos teores 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 as amostras de TPI. Essas diferenças dentro da TPI, possivelmente, são conseqüências de sua localização, haja vista que os sítios situados nas proximidades dos rios de água barrenta (maior quantidade de sedimentos), como o Solimões e o Madeira, normalmente, apresentam maiores teores quando comparados com os localizados às margens dos rios de águas escuras ou claras, como os rios Negro e Tapajós (Moreira et al., 2009).

No caso dos solos representativos da região, há grande variabilidade entre os extratores dentro das classes de interpretação (Tabela 5). Essas diferenças novamente realçam os problemas para definir um extrator de micronutrientes adequado para as condições locais e em solos com características edáficas distintas, bem como utilizar classes de interpretação oriundas de outras regiões com solos e condições climáticas diferentes.

As TPIs são caracterizadas por apresentar altos teores de P e Zn disponíveis (Kern & Kämpf, 1989), porém, é comum na literatura, estudos mostrando a inibição do tipo não competitiva entre esses dois nutrientes (Malavolta et al., 1997). Mesmo com esse efeito de inibição, Moreira et al. (2009) observaram que o P disponível determinado pelos extratores Mehlich 1 e resina apresentaram correlação significativa e positiva com o teor de Zn disponível no solo. Com o 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 apresenta correlação significativa somente com o Zn na solução DTPA-TEA.

Trabalhos realizados por Rodrigues (1998) e Moreira et al. (2009) verificaram que os teores de B disponível nas TPI são menores que nos solos adjacentes (Tabela 6), porém, inferiores ao teor médio de 0,5mg kg⁻¹ relatado por Malavolta (1987) para os solos da Amazônia. O mesmo autor salienta que, nesse caso específico, que para manter o teor em níveis considerados adequados, a lixiviação do nutriente, possivelmente, é impedida pela fixação aos sesquióxidos e matéria orgânica, sendo o reservatório de B disponível em solos de floresta primária também mantido pela ação combinada da mineralização e reciclagem do nutriente. Porém, com a retirada da floresta e rápida mineralização da matéria orgânica e ausência de adubação de manutenção, a reserva de B disponível no solo chega a níveis de deficiência para as plantas, sintoma comumente encontrado nos plantios da região.

Tabela 6. Teor de B disponível obtido em KCl 1,0 mol L⁻¹, Mehlich 1 e água quente.

Extrator	Solos			
	Antrópico	Latossolo	Argissolo	Neossolo Flúvico
	(mg kg ⁻¹)			
KCl 1,0mol L ⁻¹ ⁽¹⁾	0,08	0,11	0,10	0,01
Mehlich 1 ⁽²⁾	0,12	0,18	0,14	0,28
Água quente ⁽²⁾	0,25	0,81	0,70	0,21

Fonte: ⁽¹⁾Moreira & Castro (2007); ⁽²⁾Rodrigues (1998).

A Figura 5, elaborada a partir dos dados de Rodrigues (1998), mostra os teores disponíveis de molibdênio obtidos com solução extratora AB-DTPA (NH₄HCO₃+NH₄OH+DTPA ácido, solução solo extrator 1:1) descrita por Soltanpour et al., (1979). Há exceção do Neossolo Flúvico, o teor de Mo na TPI é semelhante ao do Latossolo e Argissolo que representam cerca de 70 % dos solos da região.

Independentemente desse desbalanço ou falta de nutrientes, os solos da Amazônia, nos quais se inclui a TPI, apresentam altos teores de matéria orgânica (Karimian & Cox, 1978; Malavolta, 1987), que em condições inalteradas é constantemente renovada com deposição de folhas, raízes, ramos e galhos, mantendo o poder tampão e os teores de nutrientes suficientes para o desenvolvimento das plantas.

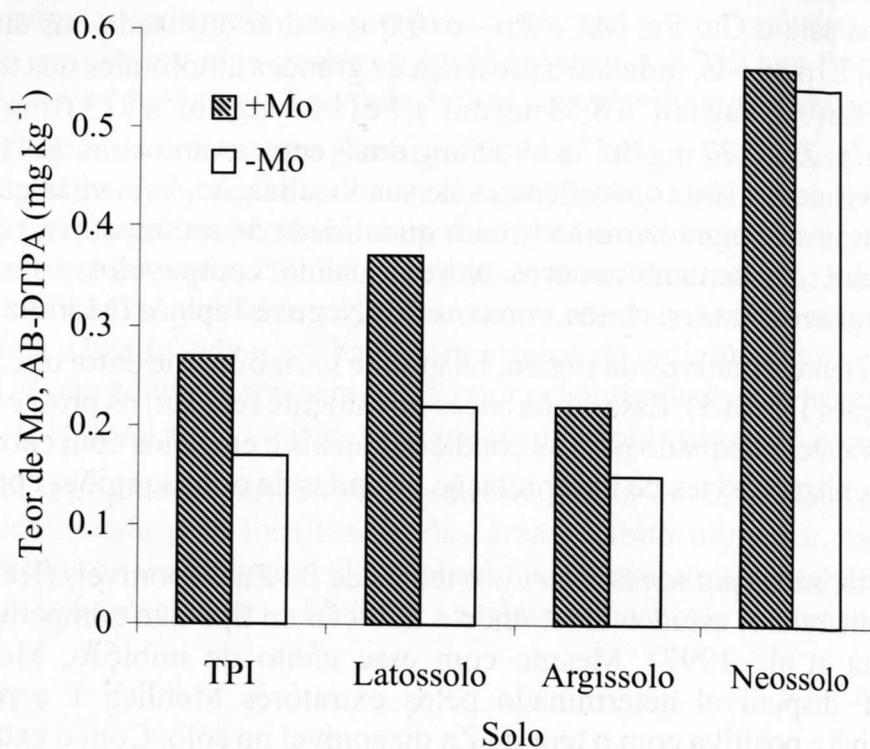


Fig. 5. Teor de Mo disponível em horizonte antrópico de TPI, Latossolo, Argissolo e Neossolo Flúvico. Fonte: Rodrigues (1998).

Considerações Finais

Para a caracterização dos solos horizontes antrópicos das TPIs são necessários os seguintes estudos: a) obter a real disponibilidade de nutrientes para as plantas com ensaios conduzidos em condições controladas (casa de vegetação) e de campo; b) verificar a presença de correlação entre a produção de matéria seca, grãos ou frutos e o teor foliar com o teor no solo determinado por extratores utilizados em cada elemento; c) comparar o potencial de produtividade com solos eutróficos do Brasil.