

# Características Químicas e Mineralógicas e a Distribuição de Fontes de Fósforo em Terras Pretas de Índio da Amazônia Ocidental

Hedinaldo Narciso Lima  
Carlos Ernesto G.R. Schaefer  
Nestor Kämpf  
Marcondes Lima Costa  
Kleber Worsley de Souza

A ocorrência de Terras Pretas de Índio (TPIs) em diferentes unidades geomorfológicas e recobrando, principalmente, solos cauliníticos, constitui uma feição muito interessante da paisagem amazônica e representa um importante registro da ocupação humana e do uso do solo na Amazônia por populações pré-colombianas.

Esses solos têm sido objeto de vários estudos, mas algumas de suas características permanecem ainda pouco conhecidas, especialmente aspectos micromorfológicos e composição mineralógica. As informações atuais indicam com bastante segurança que as TPIs são produtos da ação humana, seja ela intencional ou não. Essa ação e a atuação dos processos pedogenéticos promoveram profundas alterações em várias características dos solos, especialmente morfológicas, com desenvolvimento de cor mais escura do horizonte superficial, e químicas, com destaque para os teores mais elevados de C orgânico e de nutrientes, especialmente, P e Ca (KERN & KAMPF, 1989; LIMA et al., 2002).

O P, na forma de fosfato, é especialmente apropriado para detectar solos influenciados por assentamentos humanos (EIDT, 1977). Porém, ao contrário dos fragmentos de artefatos cerâmicos e material lítico, que são facilmente identificáveis “in loco”, não é possível identificar as fontes primárias de P e Ca, atribuídos à incorporação de ossos de animais (e, possivelmente, de seres humanos), espinhas de peixes e carapaças de quelônios (SMITH, 1980), sem o auxílio de técnicas de análises químicas e microscópicas.

Por meio de análises químicas, como fracionamento das formas de P, é possível inferir-se com razoável segurança sobre a fonte primária de P, desde que o estágio de intemperismo da eventual fonte não seja avançado. A comprovação de algumas indicações químicas pode ser obtida com boa margem de segurança mediante o emprego de determinadas técnicas de análises, como a microscopia eletrônica acoplada à microsonda de dispersão de energia de raios-x (EDS), que permite analisar quimicamente os componentes minerais em seções finas.

Embora as TPIs ocorram com maior frequência nas áreas de terra firme (áreas não sujeitas a inundação), parece evidente que a ocupação histórica do espaço amazônico está intrinsecamente associada à penetração através da várzea, devido à maior riqueza desse ambiente em animais de fácil captura (peixes, quelônios, peixe-boi, e outros) e da facilidade de transporte. Além disso, os solos quimicamente mais ricos da várzea poderiam sustentar produções maiores e requerer menor esforço para preparo da área.

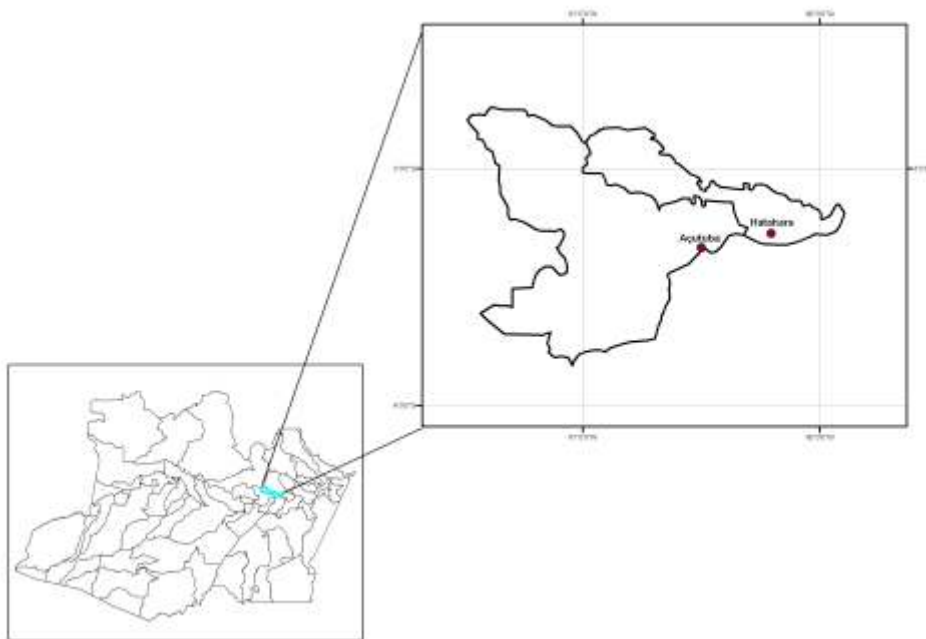
Assim, segundo DENEVAN (1996) e LIMA et al. (2002), a estratégia de sobrevivência das populações pré-colombianas teria envolvido a utilização sazonal da várzea, como área de cultivo e captura de peixes e outros animais, em combinação com sítios permanentes de moradia e cultivo, situados em áreas vizinhas de terra firme, nas barrancas dos rios ou nos interflúvios, mas sempre próximas aos cursos d'água.

Este capítulo aborda principalmente aspectos mineralógicos e micromorfológicos de TPIs e de solos adjacentes, identificando alguns atributos comuns e diferenciais, buscando compreender sua formação e relação com os solos do mesmo ambiente de terra firme e da várzea vizinha.

## Material e Métodos

### Área de estudo e seleção dos solos

Para realização deste estudo selecionou-se uma área na margem esquerda do Rio Solimões próxima à confluência com o Rio Negro, Município de Iraduba (AM), onde se tem observado grande ocorrência de sítios arqueológicos com a presença de TPIs. Na área, foram selecionados sete pedons, cinco dos quais em terra firme, incluindo-se três TPIs, e dois outros na planície aluvial do Rio Solimões (Fig. 1).



**Fig. 1** .Mapa de localização das áreas de coletas das amostras no Estado do Amazonas, Brasil.

Os solos selecionados foram assim classificados: Argissolo Amarelo eutrófico antrópico; Latossolo Amarelo eutrófico antrópico; Cambissolo eutrófico antrópico; Latossolo Amarelo distrófico típico; Latossolo Amarelo distrófico petroplântico; Gleissolo Háptico Ta eutrófico típico; e Neossolo Flúvico Ta eutrófico típico.

### Determinações de Fe, Al e Mn extraíveis e análises mineralógicas

Amostras de todos os solos, coletadas em diferentes profundidades, foram submetidas à análises químicas para determinação de pH, teores de nutrientes,  $Al^{3+}$ , H + Al de acordo com procedimento descrito por EMBRAPA (1997) e fracionamento de P, segundo KELLY et al. (1983). Foram ainda determinados os teores totais de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn da fração argila, solubilizada por uma mistura de  $HF + HNO_3 + HCl$  (USDA, 1996) e os teores de Fe, Al e Mn extraíveis por ditionito-citrato de Na (COFFIN, 1963) e por oxalato ácido de amônio (SCHWERTMANN, 1964). A quantificação foi realizada por espectrometria de absorção atômica. A identificação dos argilominerais e dos óxidos de Fe da fração argila tratada com ditionito-citrato de Na (COFFIN, 1963) e com solução  $NaOH 5 \text{ mol L}^{-1}$  (KÄMPF & SCHWERTMANN, 1982) foi realizada por difratometria de raios-x (USDA, 1996).

## Micromorfologia e microanálises em seções finas

Análises micromorfológicas e microquímicas foram realizadas em amostras não deformadas do Latossolo Amarelo eutrófico antrópico e do Latossolo Amarelo distrófico típico visando identificar as fontes primárias de P. Fragmentos de cerâmica e feições pedológicas como unidades estruturais, porosidade, nódulos, concreções e feições de acumulação de argila foram descritos de acordo com BULLOCK et al. (1985) e FITZPATRICK (1993).

As seções finas, previamente estudadas em microscópio petrográfico, foram analisadas e fotografadas em microscópio eletrônico de varredura, com detector de retroespalhamento eletrônico acoplado a espectrômetro de dispersão de energia de raios-x, visando obter mapas microquímicos das áreas selecionadas, para os elementos químicos Si, Al, Fe, Ti, Mn, Ca, Mg, P, K, Cu e Zn. Mais detalhes dos procedimentos analíticos aqui citados podem ser obtidos em LIMA (2001).

## Resultados e Discussão

Entre as aspectos mais distintivos das TPIs, em comparação aos solos adjacentes, destacam-se algumas de suas características químicas, como menor acidez, menor teor de  $Al^{3+}$  e teores mais elevados de nutrientes, como Ca, Mg, K (Tabela 1). É, porém, o teor muito elevado de P nas TPIs, a característica química mais marcante na diferenciação entre essas e os solos adjacentes, que tem sido observado por muitos autores (SOMBROEK, 1966; SMITH, 1980; KERN e KÄMPF, 1989) e atribuído à incorporação de ossos de animais (e, possivelmente, de seres humanos), de espinhas de peixes e de carapaças de quelônios (SMITH, 1980; LIMA et al., 2002).

**Tabela 1.** Características químicas dos solos estudados.

Horizonte	Prof. (cm)	pH em água	P <sup>(1)</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al
			mg kg <sup>-1</sup>			cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		
Argissolo Amarelo eutrófico antrópico								
A1	0 – 23	5,20	173	12	3,85	0,63	0,19	6,32
A2	23 – 42	5,23	136	6	2,38	0,28	0,45	6,16
Bt1	42 – 73	5,18	257	5	1,39	0,18	0,19	4,47
Bt2	73 – 130	5,13	145	4	1,31	0,12	0,13	3,36
Latossolo Amarelo eutrófico antrópico								
A1	0 – 30	6,16	1991	55	14,13	1,32	0,00	6,37
A2	30 – 60	6,21	2935	49	13,98	0,53	0,00	6,21
A3	60 – 100	6,40	3921	53	9,34	0,44	0,00	4,31
AB	100 – 130	6,49	3537	44	6,69	0,36	0,00	3,83
Bw	130 – 150	6,49	1567	27	4,37	0,30	0,00	3,36
Cambissolo eutrófico antrópico								
A1	0 – 15	6,28	1332	70	6,59	1,04	0,00	7,00
A2	15 – 40	6,39	2032	44	5,60	0,44	0,00	5,78
A3	40 – 55	6,33	816	36	2,35	0,86	0,00	3,52
Bi1	55 – 110	6,45	115	24	0,66	0,06	0,00	1,82
Bi2	110 – 180	6,04	92	18	0,55	0,08	0,00	1,50
Latossolo Amarelo distrófico típico								
A	0 – 18	4,57	1	15	0,01	0,03	1,06	6,84
AB	18 – 40	4,33	1	4	0,01	0,01	1,34	5,10
BA	40 – 64	4,39	1	3	0,01	0,01	0,86	3,52
Bw1	64 – 90	4,43	1	2	0,01	0,01	0,77	2,88
Bw2	90 – 150	4,45	1	2	0,01	0,01	0,77	2,72

**Tabela 1.** Continuação.

Horizonte	Prof. (cm)	pH em água	P <sup>(1)</sup>		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al
			mg kg <sup>-1</sup>					
Latossolo Amarelo distrófico petroplúntico								
A	0 – 20	4,71	2	16	0,01	0,03	1,63	6,89
AB	20 – 40	4,67	1	11	0,01	0,03	1,15	5,73
Bw	40 – 95	4,68	1	2	0,01	0,01	0,99	3,52
Bwc	95 – 150	4,76	1	2	0,01	0,01	0,67	3,36
Gleissolo Háptico Ta eutrófico								
Ag	0 – 13	4,84	69	46	9,86	3,21	2,50	6,37
ACg	13 – 35	5,83	34	39	12,45	4,99	0,48	3,44
Cg	35 – 62	5,94	33	30	11,92	5,33	0,35	2,57
2Cg	62 – 100	6,51	33	44	13,01	7,37	0,08	2,57
Neossolo Flúvico Ta eutrófico								
A	0 – 5	5,40	25	79	10,62	2,52	0,51	5,53
2C2	24 – 34	5,76	108	38	10,88	2,42	0,10	3,20
5C5	50 – 150	5,60	45	44	11,17	3,44	0,42	3,20

Resultados de análises de fracionamento químico de amostras de TPIs, realizadas por LIMA (2001), revelaram o predomínio, ou teores elevados, de P ligado a Ca (P-Ca) nesses solos em comparação aos demais solos adjacentes, indicando ser material rico em Ca e P a fonte original do P (Tabela 2). Ressalte-se que esse predomínio é mais marcante no horizonte superficial, onde foram depositados os resíduos. Nos horizontes subsuperficiais, tende a predominar P ligado a Fe (P-Fe) e P ligado a Al (P-Al), à semelhança do que ocorre nos solos adjacentes, embora o conteúdo de P-Ca seja elevado nos horizontes subsuperficiais das TPIs quando comparados aos solos adjacentes.

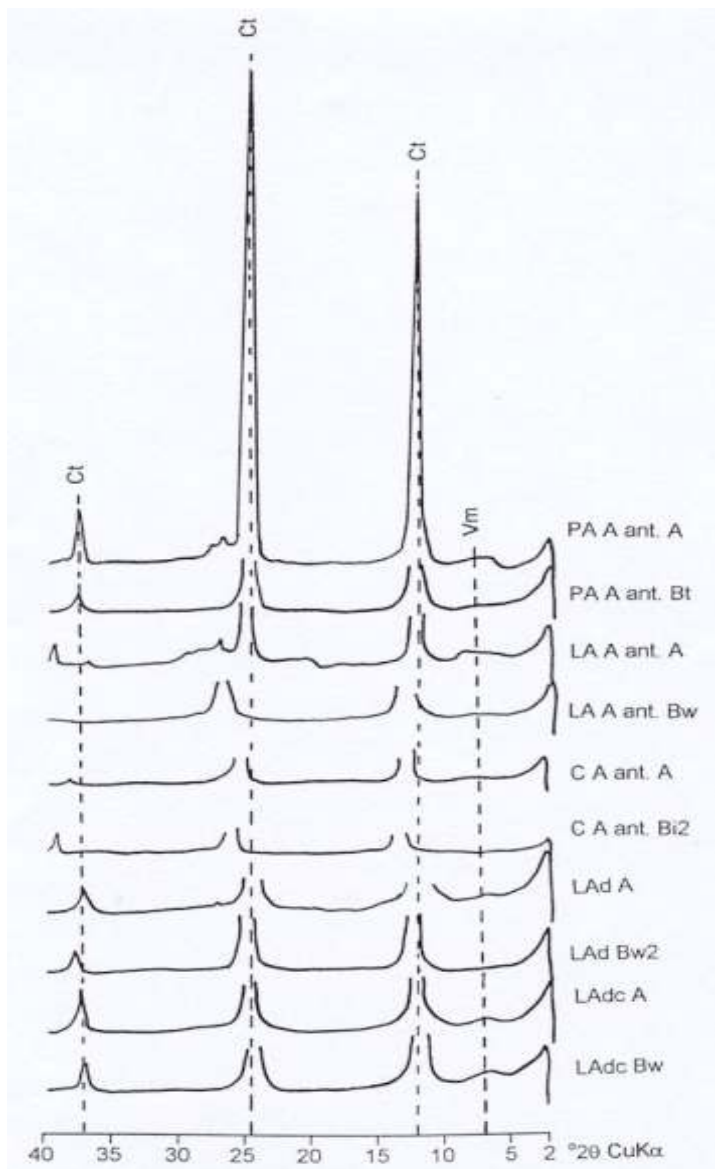
**Tabela 2.** Teor de P-total, P extraído por ácido cítrico e formas de P dos solos estudados.

Horizonte	mg kg <sup>-1</sup>					P-total	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>(6)</sup>
	P-Al <sup>(1)</sup>	P-Fe <sup>(2)</sup>	P-FAF <sup>(3)</sup>	P-FAH <sup>(4)</sup>	P-Ca <sup>(5)</sup>		
Argissolo Amarelo eutrófico antrópico							
A	273	246	156	29	201	1322	346
Bt	240	329	72	5	52	1343	322
Latossolo Amarelo eutrófico antrópico							
A	328	344	181	35	905	6057	4548
A3	358	491	86	19	1027	7632	7509
Bw	205	573	190	8	488	2987	3172
Cambissolo eutrófico antrópico							
A	188	344	226	37	1108	5068	3066
Bi1	211	230	82	9	596	2588	167
Bi2	92	60	14	2	78	774	124
Latossolo Amarelo distrófico típico							
A	43	11	17	3	13	188	Nd
Bw	39	1	20	2	2	201	Nd
Latossolo Amarelo distrófico petroplúntico							
A	37	23	32	5	13	141	Nd
Bw	41	36	19	2	10	186	Nd
Gleissolo Háptico Ta eutrófico							
A	55	161	86	12	40	722	Nd
C	43	73	45	4	42	540	Nd
Neossolo Flúvico Ta eutrófico							
A	39	112	40	11	50	697	Nd
C	49	104	39	4	48	551	Nd

<sup>(1)</sup>P ligado a Al; <sup>(2)</sup>P ligado a Fe; <sup>(3)</sup>P ligado à fração ácidos fúlvicos; <sup>(4)</sup>P ligado à fração ácidos húmicos; <sup>(5)</sup>P ligado a Ca; <sup>(6)</sup>P determinado no ácido cítrico; nd não-determinado.

## Características mineralógicas

Ao contrário das características químicas que mostraram diferenças expressivas entre as TPIs e os solos adjacentes, não se observaram diferenças expressivas na composição mineralógica da fração argila dos solos estudados, excetuando-se os solos de várzea, sendo esta dominada basicamente por caulinita (Fig. 2), com a ocorrência de goethita, hematita e óxidos de Ti. Também não se observaram diferenças na composição mineralógica das frações silte e areia fina desses solos.



**Fig. 2.** Difratomogramas de raios-X da fração argila desferrificada das Terras Pretas de Índio e dos solos adjacentes.

Observações mais recentes têm revelado a presença de maghemita na fração areia e em fragmentos de cerâmica presentes nas TPIs (COSTA et al., 2004; SÉRGIO et al., 2006). A ocorrência de maghemita em TPIs ratifica a hipótese do uso constante do fogo nas atividades humanas nessas áreas, em concordância com a natureza semi-carbonizada das substâncias húmicas encontradas nesses solos (BENITES et al., 2005).

Sabe-se que uma das principais vias para a formação da maghemita em solos é a transformação de óxidos de Fe pedogenéticos (goethita, lepidocrocita e ferridrita) por aquecimento, via queimadas (elevação da temperatura entre 300 e 425°C) na presença de compostos orgânicos (SCHWERTMANN & FECHTER, 1984).

Também não foram observadas diferenças expressivas nos teores de Fe e Al extraídos por ditionito citrato de Na e por oxalato de amônio das TPIs e dos solos adjacentes. Os teores de Mn, nos horizontes antrópicos, mostraram valores elevados, comparáveis àqueles observados nos solos de várzea, sendo muito baixos ou ocorrendo em níveis não-detectados por espectrofotometria de absorção atômica nos demais solos de terra firme e nos horizontes subsuperficiais das TPIs (Tabela 3).

Adicionalmente, não foram observadas grandes diferenças nos valores da substituição isomórfica estimada de Fe por Al nos óxi-hidróxidos de Fe da fração argila das TPIs e dos solos adjacentes, a qual variou entre 0,17 e 0,29 mol mol<sup>-1</sup>. Sendo esses valores superiores àqueles observados nos solos de várzea (Tabela 3).

**Tabela 3.** Ferro total, Fe do ataque sulfúrico, óxidos de Fe, Al e Mn e estimativa de substituição de Fe por Al nos solos estudados.

Horizonte	Al <sub>d</sub> <sup>(1)</sup>	Al <sub>o</sub> <sup>(2)</sup>	Fe <sub>d</sub> <sup>(3)</sup>	Fe <sub>o</sub> <sup>(4)</sup>	Fe <sub>t</sub> <sup>(5)</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>(6)</sup>	Mn <sub>d</sub> <sup>(7)</sup>	Mn <sub>o</sub> <sup>(8)</sup>	Sub. Fe/Al <sup>(9)</sup>
mg kg <sup>-1</sup>									
Argissolo Amarelo eutrófico antrópico									
A	15	5	72	8	79	34	0,50	0,45	0,24
Bt	16	2	78	2	90	82	0,01	0,01	0,27
Latossolo Amarelo eutrófico antrópico									
A	14	6	45	9	72	41	0,38	0,28	0,29
Bw	14	3	56	3	58	59	0,05	0,03	0,30
Cambissolo eutrófico antrópico									
A	13	6	49	8	75	43	0,28	0,21	0,26
Bi2	6	1	46	< 1	64	41	0,02	0,00	0,17
Latossolo Amarelo distrófico típico									
A	13	3	65	9	69	42	0,00	0,00	0,27
Bw	14	2	68	1	77	66	0,00	0,00	0,27
Latossolo Amarelo distrófico petroplântico									
A	14	3	63	5	67	41	0,00	0,00	0,29
Bw	14	2	66	2	71	53	0,00	0,00	0,27
Gleissolo Háptico Ta eutrófico									
A	4	4	36	29	57	58	0,59	0,43	0,14
Cg	4	2	26	12	68	58	0,24	0,17	0,16
Neossolo Flúvico Ta eutrófico									
A	4	4	46	38	59	53	0,69	0,53	0,09
C	4	4	34	28	54	52	0,48	0,41	0,02

<sup>(1),(3),(7)</sup> óxidos de Al, Fe e Mn extraídos por ditionito citrato de sódio na fração argila; <sup>(2),(4),(8)</sup> óxidos de Al, Fe e Mn extraídos por oxalato ácido de amônio na fração argila; <sup>(5)</sup> ferro total na fração argila; <sup>(6)</sup> ferro no ataque sulfúrico na TFSA; <sup>(9)</sup> substituição do Fe pelo Al, estimada segundo a fórmula:  $(Al_{Fe}/27)/[(Al_{Fe}/27) + (Fe_c/56)]$ , em que  $Al_{Fe} = Al_d$ ,  $Al_o$  e  $Fe_c = Fe_d - Fe_o$ .

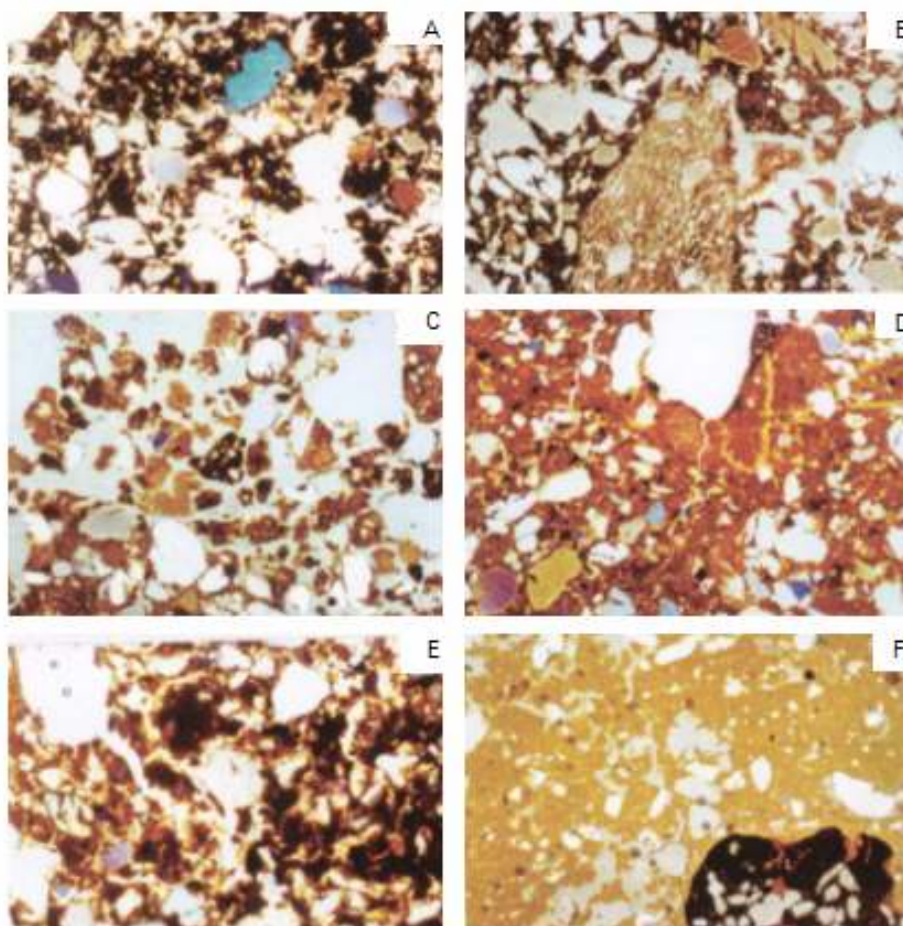
## Feições micromorfológicas

As feições micromorfológicas foram estudadas apenas em amostras do Latossolo Amarelo eutrófico antrópico (LAea) e do Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd). O horizonte A do LAea apresenta estrutura típica de solos com horizonte A chernozêmico (Fig. 3, A), mostrando uma mistura de agregados organo-minerais (Fig. 3, B e C), cuja impressão geral é de uma eficiente

mistura de materiais do horizonte A, rico em matéria orgânica, com agregados minerais dos horizontes subsuperficiais, o que se pode observar pelos abundantes canais de minhocas preenchidos por material escurecido no horizonte subsuperficial e com material do horizonte Bw no horizonte superficial. Por outro lado, o horizonte A do LAd mostra-se igualmente escurecido, mas não apresenta a estrutura típica de A chernozêmico (Fig. 3, E).

O horizonte subsuperficial do LAea e do LAd (Fig. 3, D e F) exibe um padrão de microagregados coalescidos, típico dos Latossolos Amarelos do Brasil (LIMA, 1981; SCHAEFER, 2001). O horizonte Bw do LAd (Fig. 3, F) exibe ainda fragmentos de petroplintita; e o horizonte Bw do LAea, abundantes fragmentos de carvão, resultantes da intensa atividade biológica incorporando material em profundidade.

Os fragmentos de cerâmica (Fig. 3, B) revelam a presença de mica, o que sugere que a argila empregada na sua produção foi, provavelmente, proveniente da várzea, uma vez que micas, comuns nos solos de várzea, ocorrem em níveis muito reduzidos ou estão ausentes nos solos bem drenados da Amazônia.



**Fig. 3.** Fotomicrografias dos horizontes A (A e B), AB (C) e Bw (D) do Latossolo Amarelo distrófico antrópico e A (E) e Bw (F) do Latossolo Amarelo distrófico típico.

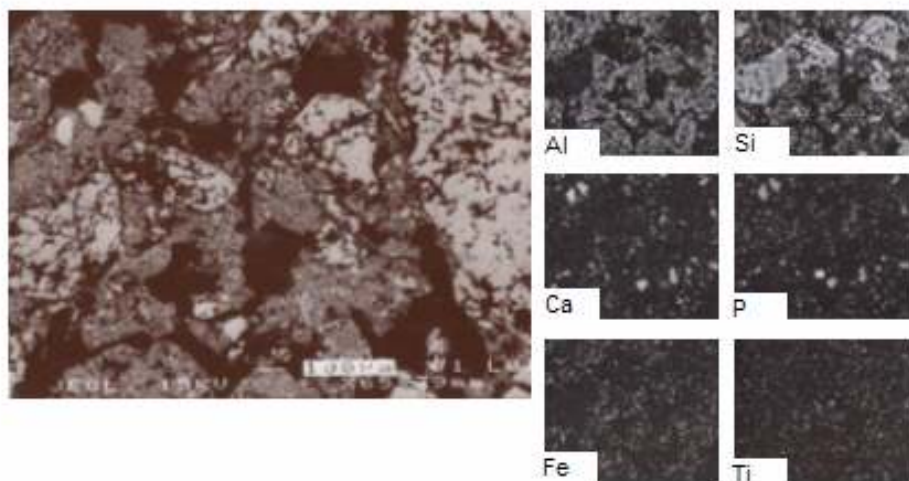
## Análises Microquímicas em MEV/EDS da Terra Preta e do Latossolo Amarelo

### Horizonte A antrópico

O horizonte A antrópico apresenta plasma caulinitico denso e coalescido, com ocorrência de grãos de quartzo e minerais de Ti. Ao lado desses, dispersos de forma aleatória na matriz do solo, ocorrem abundantes partículas de apatita biogênica, na forma de resíduos de ossos e espinhas de peixes, normalmente menores que 0,5 mm (Fig. 4).

As análises microquímicas de partículas de apatita biogênicas selecionadas neste estudo mostraram valores de CaO que variam de 35 a 46% e de  $P_2O_5$  variando de 16 a 22% (Tabela 4), com valor médio da relação Ca/P igual a 2,05, sendo, portanto, típica de material de apatita de ossos, segundo os valores reportados por LeGEROS e LeGEROS (1984).

A morfologia dos fragmentos de apatita é extremamente diversificada, compreendendo desde partículas de ossos menores que 0,2 mm de comprimento e forma arredondada (Fig. 5, 7 e 8), até fragmentos de espinhas de peixes alongadas menores que 0,1 mm de comprimento. Essas partículas podem ser observadas em conjunto, aleatoriamente distribuídas e dentro de agregados granulares ricos em matéria orgânica e bem individualizados.



**Fig. 4.** Fotomicrografia em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte A do Latossolo Amarelo distrófico antrópico. Aspectos gerais.

Embora os valores da relação Ca/P sejam similares entre os diferentes tipos de microfragmentos, a espinha de peixe mostra valores mais elevados de Al e Zn (Tabela 4), possivelmente em razão de diferenças biogênicas entre os materiais depositados ou do seu grau de pedoturbação.

No horizonte A do LAea ocorrem ainda formas de acumulação de P não associadas a valores de Ca elevados. São seções de canais biológicos (Fig. 6 e 9) com baixo retroespalhamento eletrônico, revelando, portanto, alto conteúdo de C orgânico e hidratação.

Essas formas de P ligadas à matéria orgânica e Al são possivelmente produtos da ingestão de minhocas e, provavelmente, de microartrópodes do solo. Apresentam sempre valores baixos de  $SiO_2$  (7%) em relação ao  $Al_2O_3$  (20%), com conteúdos de  $Fe_2O_3$  semelhantes ao plasma latossólico (13%), revelando ainda teores elevados de  $P_2O_5$  (11%) e mais reduzidos de CaO (3%) (Tabela 4).



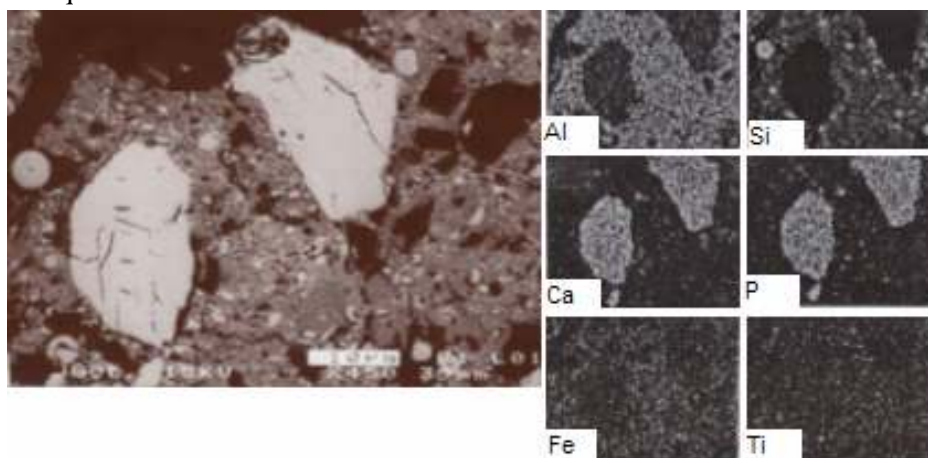
**Tabela 4.** Composição química de fragmentos de osso, espinha de peixe e canal biológico do horizonte A do Latossolo Amarelo eutrófico antrópico.

Óxidos	Fragmento de osso	Fragmento de osso	Fragmento de osso %	Fragmento de osso	Fragmento de espinha	Canal biológico
MgO	0,32	0,12	0,22	0,22	3,97	0,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,11	0,18	2,94	1,23	0,91	20,23
SiO <sub>2</sub>	0,40	0,29	0,31	nd	19,11	7,14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	21,75	16,45	22,43	17,89	0,31	11,29
K <sub>2</sub> O	0,28	0,08	0,31	0,12	35,97	0,74
CaO	45,95	35,45	43,08	37,78	0,18	3,35
TiO <sub>2</sub>	0,11	0,09	0,14	0,02	nd	1,06
MnO	nd	0,11	0,06	0,72	2,22	0,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,71	0,15	2,34	0,82	0,25	12,62
CuO	nd	nd	0,02	nd	0,40	0,32
ZnO	0,06	nd	0,08	nd		0,17

nd - não detectado.

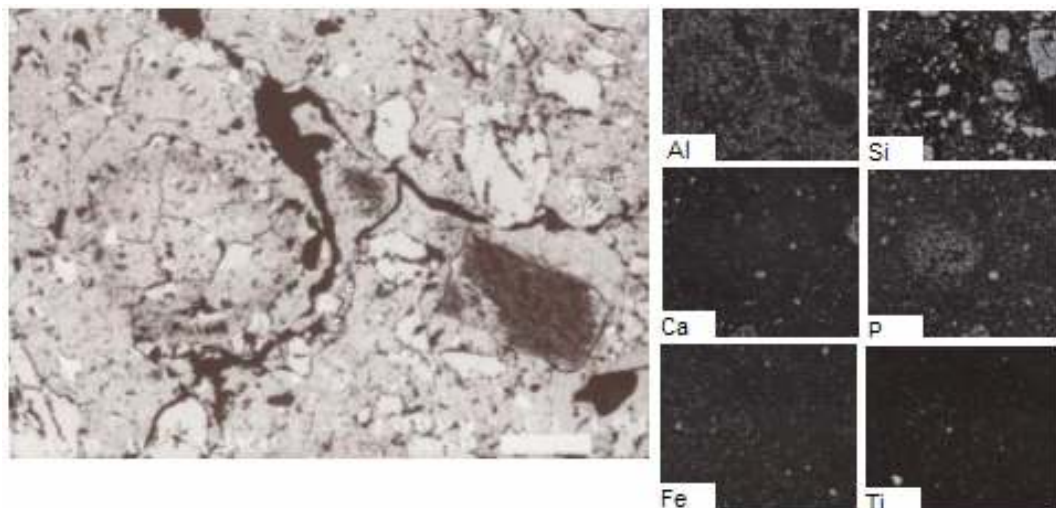
Constituem, portanto, formas secundárias de transformação da apatita primária pela ingestão por meio de organismos, predominantemente minhocas, que se revelam muito abundantes nas TPIs. Com a completa transformação da apatita, o P, menos móvel que o Ca, liga-se preferencialmente ao Al e Fe, além da matéria orgânica, constituindo formas residuais mais estáveis no ambiente onde estão presentes.

Em associação aos canais biológicos, diversos tipos de fragmentos de ossos, arredondados ou arestados, e carvão de diferentes formas, são encontrados no horizonte A do LAea (Fig. 5). A presença conspícua de fragmentos carbonizados, pobres em P ou Ca, ao redor de 0,1 mm, constitui registro das queimadas sobre os resíduos adicionados, tanto durante o período de formação das TPIs, quanto pelos cultivos subsequentes.

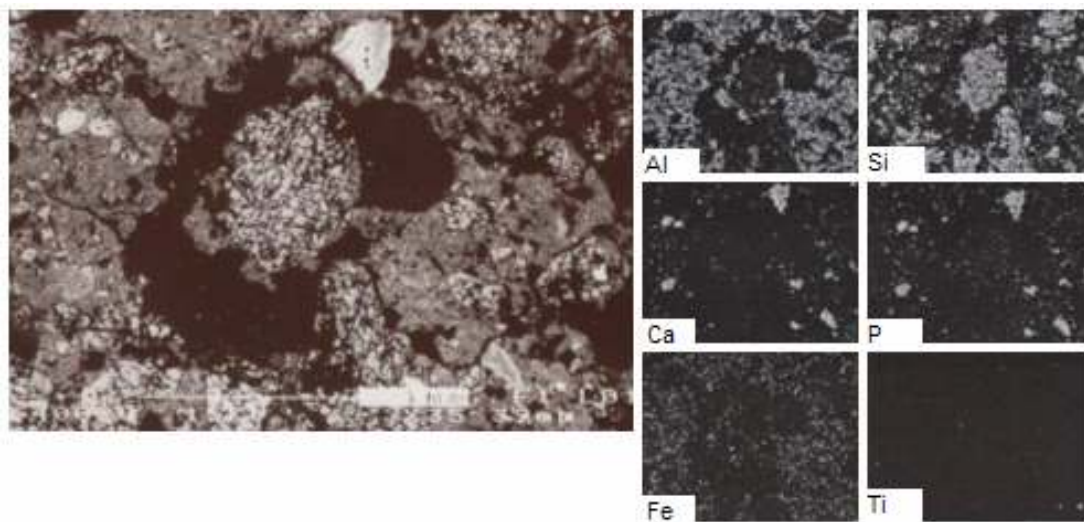
**Fig. 5.** Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte A do Latossolo Amarelo distrófico antrópico. Em destaque, fragmentos de ossos.

## Horizonte transicional AB

No horizonte transicional AB, as feições estruturais são mais assemelhadas aos materiais latossólicos cauliniticos, sendo a estrutura granular bem coalescida (Fig. 7). Há ocorrência de concentrações de microfragmentos de ossos (Fig. 6), ao lado de acumulações secundárias de P-Al, na forma de canais biológicos. Estes últimos possuem um padrão de baixo retroespalhamento, a exemplo do descrito no horizonte A, o que indica forte contribuição de P-orgânico em formas mais hidratadas.



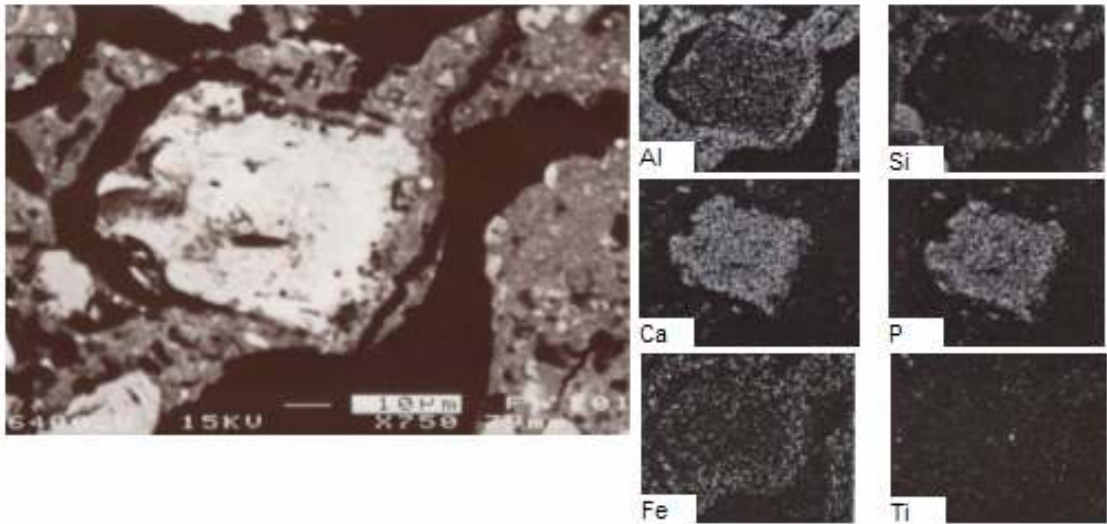
**Fig. 6.** Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte AB Latossolo Amarelo distrófico antrópico.



**Fig. 7.** Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte AB Latossolo Amarelo distrófico antrópico. Em destaque, massa latossólica e fragmentos de ossos.

A morfologia dos microfragmentos é extremamente variada, desde arestados (Fig. 5) até feições mais degradadas (Fig. 8), sem diferenças notáveis em relação ao horizonte A. Seções de canais biológicos são mais abundantes que no horizonte A, com formas arredondadas e elipsoidais, sempre com presença de plasma mais fino, com concentração de Al e marcante depleção de Si, exceto nos grãos residuais de quartzo muito pequenos que se distinguem como inclusões dentro do plasma aluminoso do canal biológico.

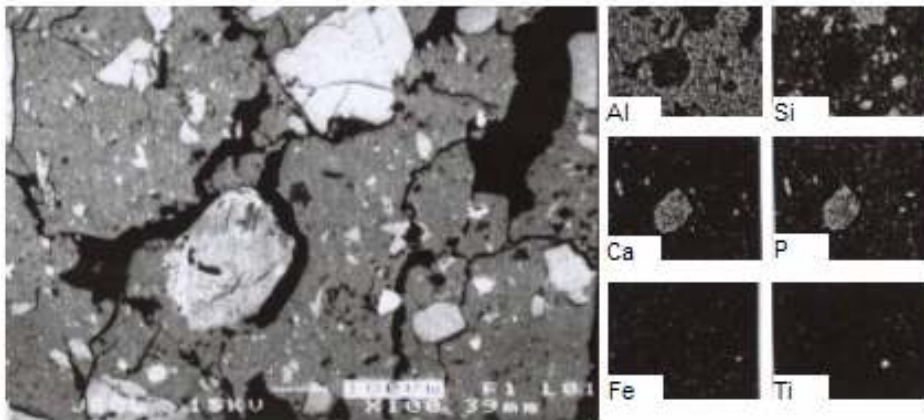
Nos grãos de quartzo maiores, os quais formam o esqueleto, observa-se uma infiltração ferruginosa ao longo das fraturas, sendo chamados de quartzo ruíniforme. Esses têm sido interpretados como litorelíquias de grãos de quartzo, com infiltrações provenientes da destruição de couraça ferruginosa pré-existente, sendo comuns em solos tropicais. Por sua vez o valor do Ki do plasma (1,71) revela sua composição predominantemente caulinítica, como mencionado anteriormente e observado nos difratogramas de raios-x.



**Fig. 8.** Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte AB Latossolo Amarelo distrófico antrópico. Em destaque, a morfologia de fragmentos de osso em processo de degradação.

### Horizontes B latossólicos: LAea versus LAd

No horizonte Bw do LAea, a microestrutura granular é fortemente coalescida, sendo típica de Latossolos Amarelos caulíníficos da área de Tabuleiros Costeiros, a exemplo do descrito por LIMA (1981) e SCHAEFER (2001). Os grãos do esqueleto são predominantemente quartzosos, mas ocorrem pontuações diminutas de apatita de ossos, bem menos frequentes do que nos horizontes A e AB, normalmente incluídas no plasma dos agregados e, ainda, nos espaços vazios e bordas (Fig. 9).

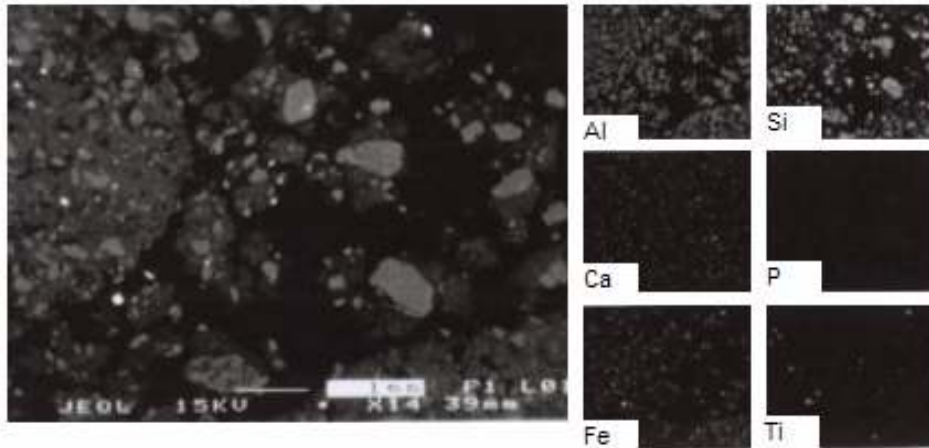


**Fig. 9.** Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte Bw do Latossolo Amarelo eutrófico antrópico. Em destaque, a microestrutura coalescida da massa latossólica, com grãos de quartzo formando o esqueleto e fragmentos de ossos em processo de degradação.

Além dessas partículas, de dimensão inferior a 0,1 mm e arredondadas, ocorrem também fragmentos ósseos em processo de degradação, com formas variadas e concentrações de P e Ca semelhantes aos materiais encontrados nos horizontes A e AB. Como se tratam de horizontes minerais, latossólicos e caulíníficos, a presença dessas partículas é atribuída à ação biológica de pedoturbação, já que se encontram distribuídas aleatoriamente e são de dimensões reduzidas.

Esse fato ilustra a ação enriquecedora de longo prazo do horizonte A para o horizonte Bw pela pedoturbação intensa, na presença de materiais orgânicos ricos e condições favoráveis à atividade da biota do solo. O enriquecimento do horizonte Bw do LAea é bem evidenciado quando se compara com os valores do plasma da massa latossólica do LAd (horizonte Bw2). Com relações molares  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  semelhantes e teores comparáveis de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$ , os solos se diferenciam nos teores de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , CaO e MgO, sempre maiores no plasma do Bw da TPI (Tabela 5).

Os mapas microquímicos do horizonte Bw2 do Latossolo Amarelo ilustram a ocorrência de plasma argiloso com valores negligíveis de P e Ca (Fig. 10; Tabela 5), e presença de minerais como óxidos de Ti e zircão, frequentes em solos muito intemperizados.



**Fig. 10.** Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte Bw do Latossolo Amarelo distrófico típico. Em destaque, a microestrutura coalescida da massa latossólica, com grãos de quartzo formando o esqueleto.

**Tabela 5.** Composição química de horizontes subsuperficiais do Latossolo Amarelo eutrófico antrópico e Latossolo Amarelo distrófico típico e do cimento ferruginoso em quartzo ruíniforme.

Óxido	Cimento ferruginoso na fratura do quartzo ruíniforme	Horizonte Bw (Laea)		Horizonte Bw2 (Lad)
		%		
MgO	0,20	0,58		0,10
$\text{Al}_2\text{O}_3$	12,29	19,83		12,55
$\text{SiO}_2$	7,98	20,17		15,48
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,68	0,58		nd
$\text{K}_2\text{O}$	0,08	0,25		0,20
CaO	nd	0,50		nd
$\text{TiO}_2$	0,73	1,42		1,57
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	42,32	8,25		6,12

nd - não detectado.

## Elementos-traços

Análises dos elementos-traços na fração argila revelaram altas concentrações de Mn e Zn nos horizontes antrópicos das TPIs, comparadas com os horizontes B destes mesmos solos e com os horizontes A e B dos solos adjacentes (Tabela 6). Concentrações significativamente elevadas de Mn e Zn foram também observadas por KERN e KÄMPF (1989) e KERN e COSTA (1997) em TPIs da Amazônia Oriental.

**Tabela 6.** Teor total dos elementos químicos Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Ni e Cr na fração argila dos solos estudados.

Horizonte	Fe g kg <sub>1</sub>	Mn	Cu	Zn	Cd	Ni	Cr
Argissolo Amarelo eutrófico antrópico							
A	79,4	627	104	150	21	78	172
Bt	90,2	71	62	45	22	84	146
Latossolo Amarelo eutrófico antrópico							
A	57,4	387	90	245	20	97	17
Bw	68,5	84	42	97	19	94	1
Cambissolo eutrófico antrópico							
A	59,3	289	69	248	18	88	3
Bi2	54,2	97	49	73	21	97	0
Latossolo Amarelo distrófico petroplúntico							
A	67,2	87	123	41	21	91	98
Bw	71,0	102	101	50	20	84	89
Latossolo Amarelo distrófico típico							
A	53,7	84	81	41	21	86	92
Bw	76,8	81	36	44	21	89	138
Gleissolo Háptico Ta eutrófico							
A	72,3	778	148	176	22	108	92
C	57,7	379	106	168	18	99	80
Neossolo Flúvico Ta eutrófico							
A	74,9	755	121	156	17	103	0
C	64,1	502	82	158	16	91	54

Valores elevados de Mn e Zn foram igualmente observados nos solos de várzea, o que poderia indicar ser esse local a possível fonte desses elementos. Todavia, nenhuma relação consistente foi observada para os teores de Cu, Cd, Ni e Cr.

## Conclusões

Apesar de haver diferenças em alguns dos atributos químicos e morfológicos entre as TPIs e os solos adjacentes, não se observou distinção na mineralogia da fração argila e em alguns dos aspectos químicos entre os referidos solos, o que reforça a idéia de que se tratam de solos originados a partir da mesma matriz mineral, sendo as TPIs produto de ações antrópicas sobre solos pré-existentes.

Microfragmentos de apatita biogênica na forma de ossos e espinhas de peixe com morfologias variadas constituem a fonte primária de P e Ca da TPIs. Formas secundárias e complexas de P-Al e P-Fe são provenientes da intensa pedoturbação, incorporando P em profundidade.

A distribuição de P em profundidade, enriquecendo o horizonte Bw do Latossolo Amarelo eutrófico antrópico, é resultante do intenso processo de pedoturbação nas áreas de TPIs.