

## FORMAS DE FÓSFORO EM TERRAS PRETAS DE ÍNDIO DA AMAZÔNIA BRASILEIRA COM DIFERENTES GRANULOMETRIAS

Phosphorous forms in Indian Black Earths with different granulometric fractions from Brazilian Amazon

SOUZA, K.W.<sup>1</sup>; LIMA, H. N.<sup>2</sup>; SCHAEFER, C. E.R. G.<sup>3</sup>; TEIXEIRA, W. G.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Doutorando, Universidade Federal de Viçosa/DPS. FAPEAM. [kleberson@ufam.edu.br](mailto:kleberson@ufam.edu.br)

<sup>2</sup> Professor Adjunto, Universidade Federal do Amazonas. E-mail: [hedinaldo@ufam.edu.br](mailto:hedinaldo@ufam.edu.br)

<sup>3</sup> Professor Associado, Universidade Federal de Viçosa. E-mail: [carlos.schaefer@solos.ufv.br](mailto:carlos.schaefer@solos.ufv.br)

<sup>4</sup> Pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental. E-mail: [wenceslau@cpaa.embrapa.br](mailto:wenceslau@cpaa.embrapa.br)

### Resumo

Apesar da importância agrícola das Terras Pretas de Índio (TPI) na Amazônia, há poucos relatos que relacionem a granulometria e a fertilidade nos solos de Terra Preta Índio na Amazônia, solos de origem pré-colombiana que ocorrem principalmente na região do vale do Amazonas, cuja fertilidade está relacionada a elevados teores de P, Ca e outros nutrientes. Com o objetivo de avaliar os teores totais de fósforo, suas formas químicas predominantes e o estágio de transformação das formas primárias de fósforo, foram estudados perfis de TPI situados em áreas com solos de composição granulométrica variável, bem como perfis de solos adjacentes às TPI como referência. A diferença granulométrica do solo nos diferentes sítios estudados teve um reflexo considerável na fertilidade, na transformação das formas primárias de P e, conseqüentemente, nas formas predominantes de P. Em solo de TPI com granulometria variando entre argila e muito argilosa foi observado maiores teores de P total e maiores teores da forma primária de P (P-Ca). No sítio de Rio Preto da Eva, com textura variando entre franco-arenosa e franco-argiloarenosa, de maneira geral observou-se maiores teores de P-Al e menores teores de P total. As TPI do sítio de textura mais rica em argila apresentaram maiores teores de P de maior labilidade extraídos com NH<sub>4</sub>Cl, embora diferentes dos teores extraídos com Mehlich-1.

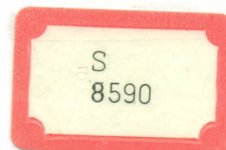
### Abstract

Despite the agricultural importance of the Indian Black Earths (IBE) in Amazonia, there are few reports that relate soil texture and fertility in IBE, soils of pre-colombian origin that occur across the Amazon valley, whose fertility is related to elevated contents of P, Ca and another nutritious. IBE profiles were studied, aiming to evaluate the total contents of P, their chemical forms and the primary forms P transformation phases, in areas with soils of variable texture, as well as IBE adjacent soils as reference. Soil texture showed considerable influence in soil fertility, in the transformation of the primary forms of P and, consequently, in P predominant forms in IBE. Soils with texture varying between clay and heavy clay had larger total P and primary Ca-P forms. In the Rio Preto da Eva site, with texture varying between sandy loam and sandy clay loam, we observed greater P-Al contents and lesser total P. The IBE of the site of clayey texture presented larger contents of readily-available P, extracted with NH<sub>4</sub>Cl, although different from Mehlich1-extracted amounts.

### Introdução

As Terras Pretas de Índio (TPI) são solos de origem antrópica na região do vale do Amazonas. Teores elevados de fósforo e cálcio, resultantes da incorporação de resíduos orgânicos de natureza diversa, como ossos, espinhas e carapaças de quelônios (LIMA et al., 2002; SCHAEFER et al., 2004), constituem das mais significativas características das TPI. Em contraste, os solos típicos de terra firme da Amazônia apresentam teores de nutrientes significativamente inferiores àqueles observados nas Terras Pretas.

A disponibilidade desses nutrientes por sua vez está relacionada com sua forma química ou mineralógica. De acordo com LIMA et al. (2002) e SCHAEFER et al. (2004), a forma primária adicionada às Terras Pretas é o fósforo ligado ao Ca (P-Ca), a qual não está prontamente disponível às plantas. Com o tempo, processos de dissolução da apatita biogênica podem



promover uma transformação da forma P-Ca, para outros compostos, mais ou menos solúveis, como fósforo ligado a alumínio (P-Al) e fósforo ligado a ferro (P-Fe).

Este trabalho teve por objetivo avaliar os teores totais de fósforo e suas formas químicas predominantes, avaliar o estágio de transformação das formas primárias de fósforo, da biodisponibilidade e do grau de evolução em algumas Terras Pretas de Índio.

### Material e Métodos

Foram estudadas amostras de dois sítios de Terras Pretas de Índio. O primeiro sítio está localizado na comunidade do Laranjal, às margens do rio Solimões, rio de águas brancas ou barrentas, no município de Manacapuru (Terra Preta 1 e 2), em áreas de Latossolos Amarelos. O segundo sítio está localizado no município de Rio Preto da Eva (Terra Preta 3 e 4), próximo ao rio homônimo. O referido rio apresenta águas pretas, com ocorrência regional de Argissolos Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelo e Espodossolos.

As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura. Após o preparo foram submetidas às análises químicas de rotina, segundo procedimentos descritos por EMBRAPA (1997).

Para determinação da classe textural do solo, empregou-se o procedimento da pipeta para argila e silte, sendo a fração areia separada por peneiramento. Os teores totais de P foram determinados segundo procedimento descrito por KUO, (1996), a partir de 0,5 g de TFSA pulverizado em um almofariz de ágata e passado em peneira de malha de 0,105 mm de diâmetro. O fracionamento das formas de P foi realizado de acordo com procedimentos descritos por KELLY et al., (1983) com algumas adaptações.

### Resultados e Discussão

Os perfis da área da comunidade do Laranjal apresentaram textura variando entre argila e muito argilosa, com baixa concentração de silte. Em contraste, nas Terras Pretas da região do município de Rio Preto da Eva observou-se predomínio da fração franco-arenosa, com textura arenosa em todas as camadas superficiais. Nas duas áreas estudadas há menor concentração de argila nas camadas superficiais e, em média, aumento dessa fração em profundidade, indicando a ocorrência de podzolização (eluviação de argila no perfil), ou maior intensidade do intemperismo nas camadas superficiais com maior destruição de argila.

As análises químicas revelam níveis mais elevados de fertilidade das terras pretas em relação aos solos adjacentes, especialmente em relação aos teores de P, Ca e, em menor magnitude, de Mg. Não se observaram variações expressivas nos teores de K tanto entre os sítios, quanto em relação aos solos adjacentes, o que contrasta com trabalhos anteriores (LIMA, 2001). Por outro lado, os teores de Al trocável são, de modo geral, menores nas Terras Pretas de Índio, do que nos solos adjacentes (Quadro 1). Entre os dois sítios de Terra Preta, em média, o nível de fertilidade do solo no sítio Laranjal (argiloso) é mais elevado do que no sítio Jiquitaia (arenoso) (Quadro 1). Os maiores valores de P, Ca e Mg observados no sítio Laranjal, pode estar relacionado à proximidade deste sítio com o ambiente de várzea do rio Solimões, ambiente naturalmente mais rico, o que poderia ter resultado em ambiente de maior concentração de recursos alimentares e, portanto em incorporação maior de resíduos, resultando em solos de maior fertilidade. O sítio Jiquitaia encontra-se em um ambiente de menor riqueza, mais arenoso, que aparenta ter sido mais cultivado e degradado. Os teores de fósforo extraível por Mehlich-1 nas Terras Pretas variaram entre 122 e 302 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto nos solos adjacentes, esses teores variaram entre 10 a 20 mg kg<sup>-1</sup> de P. Observa-se também que nas Terras Pretas os teores de fósforo continuam relativamente altos mesmo na profundidade de 60 cm (Quadro 1). No sítio Laranjal, os teores de P foram maiores na camada subsuperficial, em torno de 40 a 60 cm, do que na camada superficial, até 20 cm. Este fato foi observado por outros autores como KERN e KÄMPF (1989), LIMA (2001). Tal fato pode ser atribuído ao cultivo, que leva à depleção de nutriente em superfície. As alterações químicas que levaram à concentração de P-Ca nas camadas subsuperficiais das Terras Pretas podem ser atribuídas a intensa atividade biológica, que promoveu a incorporação de material mais rico da camada superficial para a camada subsuperficial (SCHAEFER et al., 2004). Outros autores explicaram a variação do P em profundidade pelo abandono temporário do sítio, à mudança no tamanho da população ou na forma de subsistência (SJOBORG, 1976). Outras razões podem ainda ser apontadas para incorporação de P em profundidade nesses perfis.

Os teores totais de fósforo apresentados demonstram a presença marcante deste elemento nos solos com horizontes antrópicos (Quadro 2), destacando-se o valor de 3500 mg kg<sup>-1</sup> para a Terra Preta 1 do sítio Laranjal. Presume-se que a fonte primária do fósforo presente nas Terras Pretas sejam resíduos de espinhas de peixe, ossos de mamíferos e quelônios e, em alguns casos, possivelmente, humanos incorporados aos solos por populações precolombianas, como demonstram (LIMA et al., 2002).

Quadro 1 – Características químicas e granulometria dos solos estudados

Prof. cm	pH		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P	Fe	Zn	Mn	Cu	Al <sup>3+</sup>	H+Al	C	Granulometria <sup>(1)</sup> (%)			
	H <sub>2</sub> O	KCl	cmol.kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>						cmol.kg <sup>-1</sup>	Dag kg <sup>-1</sup>	A G	A F	St	A
Terra Preta 1 Latossolo Amarelo com horizonte A Antrópico (Sítio Laranjal)																	
0-20	4,81	4,03	5	2	0,09	131	92	45	599	2	0	0	3	23	17	6	46
20-40	4,84	3,92	2	0	0,08	208	115	29	347	5	0	1	2	18	15	5	57
40-60	4,62	4,05	1	0	0,04	210	145	17	166	6	0	1	1	18	14	5	60
Terra Preta 2 Latossolo Amarelo com horizonte A Antrópico (Sítio Laranjal)																	
0-20	5,80	5,10	9	1	0,1	286	66	295	833	9	0	0	4	24	17	6	46
20-40	5,60	5,25	9	1	0,08	302	73	275	629	11	0	0	3	24	14	4	52
40-60	5,65	5,00	9	1	0,06	287	84	325	431	15	0	0	3	19	14	4	59
Solo adjacente Latossolo Amarelo (Sítio Laranjal)																	
0-20	4,40	3,65	1	0	0,05	10	185	7	46	2	1	2	3	25	19	5	45
20-40	4,20	3,85	0	0	0,03	5	200	3	35	3	1	2	2	18	13	3	65
40-60	4,50	4,00	0	0	0,03	4	120	5	28	2	1	1	1	17	12	3	66
Terra Preta 3 Argissolo Vermelho Amarelo com horizonte A Antrópico (Fzd. Jiquitaia Rio Preto da Eva)																	
0-20	6,00	4,71	3	1	0,05	213	78	66	537	7	0	0	1	45	40	2	15
20-40	5,50	4,30	0	0	0,03	122	161	21	274	6	0	0	0	45	35	2	15
40-60	5,30	4,20	0	0	0,03	60	253	15	120	8	0	0	0	39	32	3	24
Terra Preta 4 Argissolo Vermelho Amarelo com horizonte A Antrópico (Fzd. Jiquitaia Rio Preto da Eva)																	
0-20	5,70	4,05	1	0	0,06	195	59	63	562	0	0	1	2	42	34	3	14
20-40	5,30	4,00	0	0	0,04	156	53	45	415	0	1	1	2	41	35	2	16
40-60	5,20	4,00	0	0	0,04	155	54	42	405	0	1	1	2	41	35	3	17
Solo adjacente Argissolo Vermelho amarelo Tb distrófico (Fzd. Jiquitaia Rio Preto da Eva)																	
0-20	4,20	3,80	0	0	0,09	20	130	4	105	5	1	2	2	48	28	3	17
20-40	4,30	4,00	0	0	0,06	20	150	2	182	3	1	1	1	47	26	3	22
40-60	4,30	3,90	0	0	0,05	33	281	1	110	10	1	1	0	47	24	3	23

A G: Areia Grossa; A F: Areia Fina; St: Silte; A: Argila.

Quadro 2 – Teores totais e formas de fósforo dos solos estudados

Profundidade cm	P-NH <sub>4</sub> Cl <sup>(1)</sup>	PT-NH <sub>4</sub> Cl <sup>(2)</sup>	P-Al	P-Fe	P-NaOH <sup>(3)</sup>	FAH-P-AF	P-Ca	P-Total <sup>(4)</sup>
	mg kg <sup>-1</sup>							
Terra Preta 1 Latossolo Amarelo com horizonte A Antrópico (Sítio Laranjal)								
0-20	9	19	212	196	392	196	115	1001
20-40	8	16	245	190	347	157	106	2021
40-60	5	14	189	156	256	100	90	2052
Terra Preta 2 Latossolo Amarelo com horizonte A Antrópico (Sítio Laranjal)								
0-20	15	45	215	260	470	210	304	3005
20-40	23	52	231	235	425	189	201	3530
40-60	18	38	157	200	323	123	157	2856
Solo adjacente Latossolo Amarelo (Sítio Laranjal)								
0-20	2	4	43	28	48	20	35	300
20-40	2	5	38	29	39	10	15	256
40-60	1	3	30	17	25	8	6	211
Terra Preta 3 Argissolo Vermelho Amarelo com horizonte A Antrópico (Fzd. Jiquitaia Rio Preto da Eva)								
0-20	8	21	190	156	281	125	195	2043
20-40	8	24	189	145	234	89	157	1956
40-60	2	11	145	100	156	56	145	1000
Terra Preta 4 Argissolo Vermelho Amarelo com horizonte A Antrópico (Fzd. Jiquitaia Rio Preto da Eva)								
0-20	5	12	127	99	174	75	107	1800
20-40	4	9	120	81	127	46	105	1462
40-60	3	8	100	75	109	34	90	900
Solo adjacente Argissolo Vermelho amarelo Tb distrófico (Fzd. Jiquitaia Rio Preto da Eva)								
0-20	1	9	42	12	17	5	23	200
20-40	1	8	35	9	12	3	19	152
40-60	0,5	7	26	5	8	3	12	135

<sup>(1)</sup>P-NH<sub>4</sub>Cl - P inorgânico extraído com NH<sub>4</sub>Cl; <sup>(2)</sup>PT-NH<sub>4</sub>Cl - P total extraído com NH<sub>4</sub>Cl; <sup>(3)</sup>P total extraído com NaOH (FAF-P-FAH e P-Fe); <sup>(4)</sup>P total Kuo (1996).

Nas Terras Pretas de maior fertilidade, em solos argilosos (Sítio Laranjal), os valores de P mais prontamente disponível (P-NH<sub>4</sub>Cl), com e sem oxidação, são no mínimo 4 vezes maiores que os teores extraídos nos solos adjacentes, não antrópicos. Os valores de formas de P ligadas a Al, mais estáveis, foram da ordem de 4 vezes superiores aos valores de P-Al observados nos solos adjacentes, enquanto os valores de P-Fe (extraídos com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>) foram de 6-10 vezes maiores. Como os valores de P total são de cerca de 10 vezes maiores, pelo método de ataque ácido de KUO (1996), os dados indicam que, com o tempo, a maior parte do P reagiu com oxi-hidróxidos de Fe e Al para formar compostos mais estáveis e de menor solubilidade. Corroborando tal fato, destaca-se que os valores de P-Ca observados, e que representa a forma primária de apatita de ossos introduzida no solo, foram bem mais baixas que o somatório de formas de P ligadas a Fe e Al. Com base nos resultados obtidos para as formas ligadas aos ácidos fúlvicos e húmicos, observou-se que a magnitude dos teores acompanhou o P total (cerca de 8-10 vezes) na comparação aos solos adjacentes.

Os valores de P mais prontamente disponível (extraído com NH<sub>4</sub>Cl) do solo adjacente foram inferiores aos solos argilosos de referência, embora possa estar sob influência da TPI. Por outro lado, os teores de P-Al foram semelhantes. Os valores de P-Al e P-Fe foram cinco vezes maiores, enquanto os valores de P-Ca três vezes maiores que nos solos adjacentes. Por outro lado, os teores de P total nos solos arenosos foram inferiores àqueles observados nas áreas de solos mais ricos em argila.

### Conclusões

A formação de TPI na Amazônia deu-se em solos de granulometria muito variáveis, desde arenosos até argilosos, com reflexos significativos na fertilidade. As Terras Pretas de textura argilosa apresentaram maior fertilidade em comparação as Terras Pretas de textura mais arenosa, bem como teores mais elevados de P total, P-Ca e P-Fe.

As Terras Pretas de textura argilosa apresentaram maior fertilidade em comparação as Terras Pretas de textura mais arenosa, bem como teores mais elevados de P total, P-Ca e P-Fe.

As Terras Pretas de textura mais argilosa apresentaram maiores teores de P de maior labilidade extraído com NH<sub>4</sub>Cl, contudo observa-se diferenças entre os teores de P disponível extraídos com Mehlich-1.

### Referências

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

KELLY, J., LAMBERT, M.J. & TURNER, J. Available phosphorus forms in forest soils and their possible ecological significance. **Commun. in Soil Sci. Plant Anal.**, 14: 1217-1234, 1983.

KERN, D.C. & KAMPF, N. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná, Pará. **R. bras. Ci. Solo**, 13:219-225. 1989.

KUO, S. Phosphorus. In: **Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods**. D.L. Sparks et al. (eds.). Soil Science Society of American, 1996. p.869-919.

LIMA, H.N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. Viçosa: UFV, 2001. 176p. il. (Tese de doutorado).

LIMA, H. N., SCHAEFER, C. E. G. R., MELLO, J. W. V., GILKES, R. J. & KER, J. C. Pedogenesis and pre-Colombian land use of "Terra Preta Anthrosols" ("Indian Black Earth") of Western Amazonia. **Geoderma**, 110, 01 - 17, 2002.

SCHAEFER, C.E.G.R.; LIMA, H.N.; GILKES, R. J. & MELLO, J.W.V. Micromorphology and electron microprobe analysis of phosphorus and potassium forms of an Indian Black Earth (IBE) Anthrosol from Western Amazonia. **Australian Journal of Soil Research** 42:401-409, 2004.