

Atributos Químicos e Carbono Orgânico em Terra Preta Arqueológica e Latossolos Amarelos da Região de Caxiuanã (Melgaço, PA)¹

Chemical Characteristic and Organic Carbon in Archeological Black Soil and Yellow Latosols in the Caxiuanã Region (Melgaço, PA-Brazil)¹

Ewerton da Silva Cunha²
Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo³
Carlos Augusto Cordeiro Costa²

Resumo: Estudou-se a variação dos componentes químicos e físicos de cinco solos da região da Floresta Nacional de Caxiuanã, Melgaço, PA. Foram estudados um solo de Terra Preta Arqueológica (sítio TPA), localizado às margens da baía de Caxiuanã em área de proteção ambiental do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), e quatro Latossolos Amarelos (sítios TOR, PA, PB e CAP) localizados na Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn), pertencente ao Museu Paraense Emílio Goeldi. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-50 cm, sendo em cada ponto de coleta abertas três minitrincheiras com, aproximadamente, 1m de profundidade. As amostras foram secas e peneiradas (2 mm). Foram determinados alguns componentes químicos (N, P, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H⁺ + Al³⁺ e pH), carbono orgânico, substâncias húmicas e componentes físicos (teores de areia fina, grossa, argila e silte) nas amostras coletadas. As substâncias húmicas foram extraídas com NaOH 0,1N e as frações ácidos húmicos e fúlvicos obtidas pela acidificação do extrato alcalino com HCl 6N. Para a análise estatística foram utilizados os dados dos atributos químicos, sendo submetidos ao Teste Tukey a 5%. Foram verificados altos teores de C, N, P, Ca²⁺ e Mg²⁺ no sítio TPA, e um acúmulo de C, N e ácidos húmicos na camada superficial (0-5 cm) do sítio TOR, que foram atribuídos à drenagem imperfeita do solo dessa área. Altos teores de Al³⁺ foram encontrados nos sítios CAP e TOR. Os solos dos sítios TPA e CAP apresentaram textura média, enquanto nos sítios PA e PB a textura é franco-arenosa. No sítio TOR a textura é argilosa, dificultando a drenagem ao longo do perfil. Os latossolos apresentam predominância da fração ácidos fúlvicos, típico de outros solos da Amazônia. Por outro lado, a Terra Preta Arqueológica apresenta características químicas bem contrastantes aos demais sítios.

Palavras-Chave: Terra Preta Arqueológica. Latossolo. Caracterização química. Substâncias húmicas. Caxiuanã.

Abstract: The variation of chemical and physical components of five soils from the National Forest Reserve of Caxiuanã, located in Melgaço, Pará State, was studied. An Archaeological Indian Black Earth soil (TPA site), located in the vicinity of Caxiuanã Bay in an area belonging to IBAMA and four Latosols were studied. These latosols (TOR, PA, PB and CAP sites) are located in the Ferreira Penna Scientific Station (ECFPn), belonging to Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG). Soil samples were collected at 0- 5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm and 20-50 cm depth, being made three small trenches of 1m approximately in each site. Air-dried fine earth samples (<2 mm) were submitted to chemical (N, P, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H⁺ + Al³⁺, pH, organic carbon and humic substances) and physical (sandy, clay and silt) analysis. Humic substances were extracted with NaOH 0.1N and the humic and fulvic fractions obtained by acidification of the alkaline extract with HCl 6N. Statistical analysis were done by the Tuckey test (5%). High contents of N, P, Ca²⁺ and Mg²⁺ were observed at TPA site, while high contents of C, N and humic acids were found accumulated on the surface of TOR site (at 0-5 cm depth), due to the poor drainage. High levels of Al³⁺ were found in CAP and TOR sites. TPA and CAP soils showed a medium texture, while PA and PB soils have a sandy texture, whereas the TOR soil was clayed. The Latosols showed a dominance of fulvic acids, typical of Amazonian soils. The Archaeological Black Earth was very contrasting in relation to the other non-anthropogenic soils studied.

Key Words: Archaeological Black Earth. Latosols. Chemical characterization. Humic substances. Caxiuanã.

¹ Projeto LBA/ Sub-projeto "Variabilidade temporal e espacial dos fluxos de CO₂, água e energia: Medidas e Modelagem PA".

² UFRA - Universidade Federal Rural da Amazônia. Av. Perimetral, s/n. Terra Firme. CEP 66.077-530. Belém-PA

³ MPEG - Museu Paraense Emílio Goeldi. Coord. de Ciências da Terra e Ecologia. Av. Perimetral, 1901. Terra Firme. CEP 66.077-530. Belém-PA.



INTRODUÇÃO

Distando 400 km em linha reta da cidade de Belém, a Flona-Caxiuanã (FNC) é pouco habitada, possibilitando uma boa preservação do ambiente devido ao seu isolamento geográfico. Na porção norte da Flona-Caxiuanã, encontra-se a Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn), em uma área de 33.000 ha cedida pelo IBAMA, possuindo uma base do MPEG que oferece condições aos pesquisadores de desenvolver trabalhos a longo prazo. Na ECFPn, busca-se obter respostas para o entendimento da dinâmica da floresta amazônica (KERN, 1996).

O estudo dos solos da região de Caxiuanã, e especialmente da matéria orgânica do solo e de seus componentes húmicos (substâncias húmicas), é de suma importância, pois os dados da pedogênese aliados aos dados climáticos e da cobertura vegetal possibilitam o melhor entendimento da dinâmica dos ecossistemas de terra firme do baixo Amazonas, como é o caso de Caxiuanã, principalmente no que se refere ao ciclo do carbono.

O presente trabalho objetivou estudar a distribuição dos componentes orgânicos, minerais e atributos físicos em Latossolos e Terra Preta Arqueológica da Região de Caxiuanã, através de características químicas, físicas e da quantificação de substâncias húmicas (ácidos fúlvicos e húmicos) dos solos em questão.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização da área de estudo

A área em estudo encontra-se no interior e no entorno da Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn), localizada no interior da Floresta Nacional de Caxiuanã, no município de Melgaço, estado do Pará. A Flona-Caxiuanã dista 400 km em linha reta e a oeste da cidade de Belém, localizando-se nos municípios de Portel e Melgaço, no estado do Pará.

Aspectos fisiográficos

Pela classificação de Köppen, o clima de Caxiuanã é do tipo Am₁, caracterizado como clima tropical úmido com precipitação pluviométrica mais intensa em alguns meses e um período mais curto com pluviosidade menor. A temperatura média anual situa-se em torno de 26°C, sendo que as temperaturas médias mais baixas ocorrem nos meses de janeiro a março e os meses mais quentes são outubro, novembro e dezembro, registrando-se nesses meses temperaturas médias acima de 27°C.

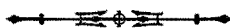
Quatro dos solos estudados são, em sua maioria, Latossolos Amarelos e apenas um deles Terra Preta Arqueológica ou *Terra Preta do Índio*. Segundo registros de Kern (1996), esse tipo de solo formou-se a partir de um Latossolo, sendo denominado "solo com Terra Preta Arqueológica", com ocorrência pontual na Amazônia.

Sítios amostrados

Cinco áreas em Caxiuanã foram escolhidas para as amostragens de solos. À exceção da Terra Preta Arqueológica, todos os demais solos (Latosolos) foram amostrados em áreas pertencentes à ECFPn sendo três deles sob vegetação primária e o outro sob vegetação secundária (capoeira), na área do antigo heliporto da ECFPn. O solo de TPA encontra-se em um sítio arqueológico localizado às margens da baía de Caxiuanã.

SÍTIO TPA - A TPA foi coletada em um sítio arqueológico conhecido localmente como sítio "Manduquinha", localizado às margens da baía de Caxiuanã, na área de proteção do IBAMA. Nesse sítio encontra-se uma mistura de espécies outrora cultivadas com espécies da vegetação secundária em regeneração sobrepondo-se a estas, além da vegetação de floresta de terra firme.

SÍTIO CAP - Corresponde à área produzida por ação antrópica para a construção do heliporto. Localiza-se às margens do rio Curuá e apresenta



vegetação recente. O solo dessa área é um Latossolo Amarelo de textura média.

SÍTIO TOR - Área de vegetação primária onde fica localizada a torre de observações micrometeorológicas do projeto LBA. Segundo Ruivo *et al.*, (2001), o solo dessa área é um Latossolo Amarelo de textura argilosa e apresenta drenagem restrita.

SÍTIOS PA e PB - Corresponde a uma área de vegetação primária dentro da ECFPn, onde foram separados dois plotes, designados **plote A (PA)** e **plote B (PB)**, para implantação do experimento denominado ESECAFLOR, pertencente ao projeto LBA. Os solos dessa área, segundo classificação de Ruivo *et al.*, (2001), são Latossolos Amarelos bem drenados, com textura arenosa.

Em cada sítio foram abertas três minitrincheiras de aproximadamente 1 m de profundidade, separados em 7 m de distância. Foram coletadas amostras nas profundidades de: 0-5, 5-10, 10-20 e 20-50 cm. As amostras de solo foram destorroadas, manualmente, e secas ao ar livre, sendo, posteriormente, passadas em peneira com malha de 2 mm.

Análises laboratoriais

As análises químicas de solo foram realizadas segundo os métodos empregados pelo Laboratório de Análises de Solos da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, atual Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), descritos por Silva (1991).

- Carbono orgânico total (COT)-Foi determinado por volumetria de oxi-redução pelo método de Walkley e Black modificado.
- Nitrogênio total-Utilizou-se o método de Kjeldahl.
- Fósforo trocável-Determinado por colorimetria, após extração com Mellich.
- Cálcio e magnésio trocáveis - Utilizou-se o método de extração com KCl 1N a pH 7,0.

- Alumínio trocável-Utilizou-se o método para extração de cálcio e magnésio trocáveis com KCl 1N a pH 7,0.
- Acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$)-A acidez potencial foi determinada por volumetria de neutralização. Foi feita a extração com acetato de cálcio 1N a pH 7,0.
- pH em água-O pH em água foi determinado potenciometricamente.
- Fracionamento da matéria orgânica-Foi utilizado o método descrito por Schnitzer (1982), para obtenção do ácido fúlvico, fração solúvel em solução de NaOH 0,1N e em meio ácido e do ácido húmico, solúvel em solução de NaOH 0,1N e insolúvel em meio ácido.

Análises estatísticas

As características químicas avaliadas foram submetidas à análise de variância e ao teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico ESTAT, Versão 2.0. Os atributos químicos e granulométricos foram, ainda, avaliados por correlação simples de Pearson, pelo programa BIOESTAT, Versão 2.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características químicas

Dentre os sítios estudados, os maiores teores de carbono foram encontrados no sítio TPA, com valor máximo encontrado na camada de 0-5 cm ($48,53 \text{ g kg}^{-1}$) e o valor mínimo na camada de 20-50 cm ($13,40 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 1). De modo geral, os valores de carbono decresceram com o aumento da profundidade, à exceção dos sítios CAP e PA, onde os teores de carbono não obedeceram tal padrão em suas camadas mais superficiais (0-5 e 5-10 cm).

Na camada de 0-5 cm, o sítio TPA diferiu, significativamente, dos demais quanto aos teores de carbono orgânico total. O sítio CAP diferenciou-se

do sítio TPA, PA e PB, e não do sítio TOR para a mesma característica. Os sítios PA e PB não se distinguiram, significativamente, entre si em relação ao carbono orgânico, porém diferiram dos demais sítios. Os valores de carbono orgânico total são significativamente maiores na camada superficial da Terra Preta Arqueológica. Entre os Latossolos, os sítios TOR e CAP superam os sítios do experimento ESECAFLOR.

De acordo com Silva (1991), é considerado baixo o teor de carbono igual ou menor que 0,8% (8g kg^{-1}); teores entre 0,8 e 1,4% (14g kg^{-1}) são considerados médios e acima disso os valores são considerados altos. Baseado nesse critério foram verificados valores muito altos no sítio TPA, correspondente ao solo com Terra Preta Arqueológica, nas camadas de 0-5 a 10-20 cm, e um valor alto na faixa de 20-50 cm. No sítio CAP, referente à área de capoeira, os valores foram altos nas camadas de 0-5 cm a 10-20 cm, sendo o conteúdo baixo na faixa de 20-50 cm. Os teores de carbono nos sítios PA e PB variaram de médios a baixos, conforme o aumento da profundidade, sendo, de modo geral, mais baixos em relação aos demais sítios estudados. Na área da torre de observações do LBA, sítio TOR, os teores de carbono nas camadas mais superficiais foram altos, decrescendo com a profundidade.

Kern (1988) e Lima *et al.* (2002), comparando solos com TPA com solos de áreas adjacentes (Latosolos) em Oriximiná (PA) e Manaus (AM), respectivamente, encontraram valores significativamente mais elevados de C, P e Ca dos solos com TPA em relação aos solos não-antropogênicos.

Os solos referentes aos sítios CAP, PA, PB e TOR apresentaram características representativas de carbono para Latossolos Amarelos da região Amazônica, com teores de médios a altos na camada superficial e baixos a médios nas camadas inferiores. Observa-se que, dentre esses sítios, o teor médio de C foi maior nos sítios CAP e TOR e menor nos

sítios PA e PB. Estudando a matéria orgânica e algumas propriedades físico-químicas de Latossolos e Podzólicos da Amazônia, Wollersen e Dutra (1986) mostraram que os solos de capoeira apresentam tendência a teores médios maiores do que os solos sob mata primária. Estudando a mesma área em Caxiuanã, Ruivo *et al.*, (2001) observaram que no sítio TOR ocorre um maior acúmulo de carbono orgânico total na superfície do solo, decaindo bruscamente em profundidade em contraste aos sítios PA e PB, onde a redução é mais gradual (Tabela 1), o que foi corroborado no presente estudo. A autora relata que essa diferença na distribuição de C ao longo do perfil pode estar relacionada à drenagem imperfeita do solo no sítio TOR, inibindo a mineralização de C na superfície do solo.

Tabela 1. Valores de carbono orgânico total, nitrogênio total e razão C/N de solos de Caxiuanã.

Prof. (cm)	Sítios	g Kg ⁻¹		
		COT	N	C/N
0-5	TPA	48,53 a	3,17 a	15,73 a
	CAP	19,08 b	1,70 b	11,41 ab
	PA	10,33 c	1,50 b	6,95 b
	PB	13,70 c	1,30 b	11,07 ab
	TOR	26,52 b	2,83 a	9,38 ab
5-10	TPA	42,50 a	2,70 a	19,21 a
	CAP	32,43 ab	1,80 a	12,54 a
	PA	10,52 c	1,67 a	6,39 a
	PB	7,13 c	1,27 a	5,62 a
	TOR	16,93 bc	2,00 a	8,47 a
10-20	TPA	35,80 a	1,87 a	27,64 a
	CAP	14,67 b	1,57 a	9,35 a
	PA	6,60 bc	1,27 a	8,60 a
	PB	4,73 c	1,10 a	4,27 a
	TOR	13,37 b	1,20 a	15,01 a
20-50	TPA	13,40 a	1,23 a	10,79 a
	CAP	6,99 b	1,13 a	6,13 a
	PA	4,35 b	1,03 a	4,21 a
	PB	3,48 b	1,00 a	3,51 a
	TOR	7,35 b	1,00 a	9,74 a

Letras iguais nas colunas não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tuckey a 5%.



A influência da drenagem no teor de carbono foi também observada por Martins e Cerri (1986) ao estudarem o solo de um ecossistema natural de floresta na Amazônia Oriental, detectando uma maior concentração de carbono nas camadas de 0-2 e 2-6 cm (4,77 e 1,42%, respectivamente, correspondendo a 47,7 e 14,2 g kg⁻¹) no solo imperfeitamente drenado, caindo para 0,8 até 0,16% (8 a 1,6 g kg⁻¹, respectivamente) na camada inferior, enquanto que nos pedons moderadamente drenados e bem drenados as concentrações de carbono foram menores (2,01 e 1,12% no primeiro e 2,59 e 1,10% no segundo) nas camadas de 0-2 e 2-6 cm.

Os maiores teores de nitrogênio total foram observados no sítio TPA, nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm (3,2 g kg⁻¹ e 3,3 g kg⁻¹, respectivamente), caindo abruptamente na camada de 10-20 cm (1,9 g kg⁻¹). Em todos os solos, houve decréscimo do N com o aumento da profundidade. Verificou-se que nas demais camadas de solo não se observaram diferenças significativas entre os sítios estudados.

Altas razões C/N foram evidenciadas na TPA nas camadas de 0-5 a 10-20 cm (15:1, 13:1 e 19:1) (Tabela 1). Como ocorrido para os dados de nitrogênio, em relação à razão C/N só houve diferenças significativas na camada de 0-5 cm. O sítio TPA diferiu significativamente apenas do sítio PA, enquanto os Latossolos não apresentaram diferenças significativas entre si. Nas demais camadas, de modo semelhante ao nitrogênio, os sítios não apresentaram diferenças significativas entre si, provavelmente em função dos baixos teores de nitrogênio.

Quanto aos demais sítios, apresentaram razões mais estreitas, próximas de 10 (CAP) ou abaixo desse valor (PA, PB e TOR), o que indica um estágio próximo ao equilíbrio, característica comum aos solos não cultivados, onde a proporção de C e N é praticamente constante, variando de 7 a 15:1 (KERN, 1988). Por sua vez, solos ácidos

possuem tendência de mineralização do C mais rápida do que a do N, o que torna a razão C/N mais estreita (SANCHES, 1976, apud KERN, 1988). Isso explica as razões C/N mais altas nas camadas do sítio TPA, um sítio de pomares outrora cultivado, quando comparado aos outros sítios, em sua maioria ecossistemas de vegetação primária (PA, PB e TOR).

No sítio TPA os valores de Ca, Mg e P trocáveis são mais elevados, contrastando com os demais solos estudados (Tabela 2). Nesse sítio, os teores de cálcio variaram de 2324,71 mg kg⁻¹ (camada de 0-5 cm) até 1269,08 mg kg⁻¹ (camada de 10-20 cm) e os de magnésio variaram de 352,4 mg kg⁻¹ (0-5 cm) até 50,91 mg kg⁻¹ (10-20 cm). Nos demais sítios, os teores são bem menores, concentrando-se na camada de 0-5 cm.

Tabela 2. Valores de cálcio trocável, magnésio trocável e fósforo trocável de solos de Caxiuanã.

Prof. (cm)	Sítios	mg Kg ⁻¹		
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	P
0-5	TPA	2324,71 a	352,39 a	41,61a
	CAP	115,65 b	73,26 b	6,54 b
	PA	70,11 b	55,90 b	5,13 b
	PB	94,89 b	106,02 b	4,65 b
	TOR	73,88 b	49,91 b	4,77 b
5-10	TPA	2101,49 a	274,46 a	30,48 a
	CAP	65,74 b	34,82 b	4,77 b
	PA	56,14 b	31,00 b	3,00 b
	PB	56,32 b	35,55 b	2,61 b
	TOR	56,50 b	29,04 b	2,46 b
10-20	TPA	2006,16 a	242,83 a	28,20 a
	CAP	49,96 b	23,77 b	3,27 b
	PA	48,11 b	25,32 b	2,07 b
	PB	52,07 b	25,01 b	1,83 b
	TOR	58,88 b	26,14 b	1,47 b
20-50	TPA	1269,08 a	171,95 a	14,73 a
	CAP	50,91 b	21,18 b	1,11 b
	PA	48,18 b	22,63 b	1,26 b
	PB	49,94 b	20,77 b	0,72 b
	TOR	50,97 b	26,27 b	0,84 b

Letras iguais nas colunas não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tuckey a 5%.



Os teores mais baixos dos elementos Ca e Mg nos latossolos são uma característica comum aos solos amazônicos mais intemperizados, em decorrência da intensa lixiviação que sofrem. Segundo Kern (1988), os teores mais elevados de cálcio nos solos com TPA ocorrem no horizonte A (16,2 – 9,4 mE/100 g), tornando-se constantes com o aumento da profundidade, enquanto que nos Latossolos os teores são baixos no horizonte superficial (0,3 mE/100 g) e nulo nos demais.

Os altos teores de Ca e Mg são apontados como “*anomalias*” nos solos, mas podem ser explicados pelo processo de formação das TPA's, com aportes de material pelo homem pré-histórico (lixo e excremento), principalmente de produtos de origem vegetal (mandioca, açaí, bacaba etc.) e animal (ossos, carapaças de animais como tatu, jabuti, caranguejo, conchas etc.), que produzem grande quantidade de matéria orgânica que não é consumida, permanecendo no local e aumentando o teor dos elementos químicos como o Ca, o Mg e o P (KERN, 1996). Apenas o sítio TPA diferiu, significativamente, dos demais em todas as profundidades e nos dois casos. Os demais sítios, correspondentes aos Latossolos, não se distinguiram significativamente entre si, por possuírem baixo teor desses elementos, em contraste à Terra Preta Arqueológica.

Em relação aos valores de fósforo trocável, são bem evidentes os teores encontrados no sítio TPA, que sobressaem aos demais. Os valores dos solos dos demais sítios equipararam-se em termos numéricos. Em todos os perfis, os teores diminuem com a profundidade. Considerando-se as faixas de teores de P (SILVA, 1991), constata-se que os valores encontrados no sítio TPA são muito altos (41,61 a 14,73 mg kg⁻¹). No sítio CAP, o teor de fósforo é médio na camada de 0-5 cm (6,54 mg kg⁻¹) e a partir da camada de 5-10 cm os valores são baixos (3 até 1,26 mg kg⁻¹). Nos sítios PA, PB e TOR, os valores de fósforo trocável são baixos em todas as camadas analisadas. Da mesma forma que o nitrogênio, o

fósforo é, na sua maior parte, de origem orgânica, o que explica suas maiores concentrações no horizonte A1 dos solos, podendo haver transporte para o horizonte B (BRITTEZ *et al.*, 1997).

Estudando a distribuição de fósforo total e trocável em Terra Preta Arqueológica do sítio Manduquinha, na Floresta Nacional de Caxiuanã, área correspondente ao sítio TPA do presente estudo, Costa e Kern (1999) observaram altos valores de fósforo, particularmente nos horizontes A₁ e A₂. Observaram, ainda, que os compostos de P nesse solo apresentam certa redistribuição, permitindo-os alcançar horizontes mais profundos. Isto mostra que, mesmo além dos 50 cm estudados, poderiam certamente ser encontrados teores mais elevados que os encontrados nos sítios CAP, PA, PB e TOR. Segundo Lima *et al.*, (2002), a intensa bioturbação nas Terras Pretas do Índio resulta em redistribuição de P no perfil, enriquecendo horizontes subsuperficiais.

A análise estatística mostrou que o sítio TPA difere, significativamente, de todos os outros sítios em relação ao fósforo trocável, sendo esse comportamento igual em todas as profundidades dos perfis de solo estudados. Os demais solos não diferem, significativamente, entre si em nenhuma das camadas.

Verifica-se que os valores de pH foram moderadamente ácidos para o sítio TPA (Tabela 3), diminuindo com a profundidade. Nos demais sítios, o pH do solo variou de 3,9 a 4,56, sendo extremamente ácido (pH < 4,5). Os dados estão consistentes com os encontrados por Ruivo *et al.*, (2001).

Os valores de pH do sítio TPA distinguem-se, significativamente, dos demais sítios em todas as camadas, uma vez que a TPA apresenta valores de pH mais elevados que dos Latossolos. As únicas diferenças significativas observadas entre os Latossolos ocorreram na profundidade de 20-50 cm, entre os sítios CAP e TOR. Devido ao baixo teor de alumínio trocável, o sítio TPA apresentou diferenças significativas com os demais sítios nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm. Na

camada de 20-50 cm não houve grandes diferenças entre os sítios.

Tabela 3. Valores de pH, acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) e alumínio trocável (Al^{3+}) de solos de Caxiuanã.

Prof. (cm)	Sítios	cmol Kg ⁻¹		
		pH	$H^+ + Al^{3+}$	Al^{3+}
0-5	TPA	6,13 a	7,09 c	0,20 c
	CAP	4,09 b	14,19 a	2,60 a
	PA	4,17 b	5,61 c	1,70 b
	PB	4,37 b	8,28 bc	1,73 b
	TOR	3,89 b	13,56 ab	2,87 a
5-10	TPA	6,06 a	8,08 bc	0,23 c
	CAP	4,07 b	16,70 a	2,93 a
	PA	4,11 b	4,85 c	1,60 b
	PB	4,17 b	6,86 c	1,50 b
	TOR	3,91 b	11,98 b	2,57 a
10-20	TPA	5,98 a	9,67 a	0,23 c
	CAP	4,32 b	12,57 a	2,73 a
	PA	4,01 b	4,16 c	1,63 b
	PB	4,18 b	5,31 bc	1,53 b
	TOR	4,02 b	9,28 ab	2,07 b
20-50	TPA	5,68 a	8,28 a	1,17 a
	CAP	4,56 b	7,13 ab	2,13 a
	PA	4,16 bc	3,96 c	1,30 a
	PB	4,31 bc	4,62 bc	1,43 a
	TOR	4,03 c	7,26 ab	1,77 a

Letras iguais nas colunas não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tuckey a 5%.

Características granulométricas

O teor de argila no solo referente ao sítio TPA variou de 192 g kg⁻¹ a 286,6 g kg⁻¹ da camada de 0-5 cm até a de 20-50 cm, indicando que o solo com Terra Preta Arqueológica apresenta textura média (Tabela 4). De acordo com as definições das classes de textura de solos apresentada por Vieira (1988), constatou-se que no solo com Terra Preta Arqueológica a textura varia de franco-arenosa (0-5 cm) a franco-argilo-arenosa (camadas de 5-10 a 20-50 cm). No sítio CAP o teor de argila variou de 134,6 g kg⁻¹ a 402,7 g kg⁻¹, sendo esse um solo de textura média.

As camadas mais superficiais (0-5 e 5-10 cm) apresentaram textura franco-arenosa e as demais

texturas argilo-arenosa (10-20 cm) e franco-argilosa (20-50 cm). Os solos dos sítios do experimento ESECAFLOR (PA e PB) apresentaram texturas areia franca (PA) e arenosa (PB) em suas camadas mais superficiais (0-5 cm) e textura média nas demais profundidades. Segundo classificação textural mostrada em Vieira (1988), esses solos enquadram-se na condição de solos de textura franco-arenosa. Neles o teor de argila variou de 119,7 g kg⁻¹ a 192,5 g kg⁻¹ (PA) e de 148,4 g kg⁻¹ a 177,2 g kg⁻¹ (PB).

No sítio TOR os teores mais elevados de argila (415,9 g kg⁻¹ a 610,6 g kg⁻¹) indicam que o solo dessa área apresenta textura argilosa.

Os solos dos sítios TPA e TOR apresentaram maiores teores de silte em relação aos solos dos sítios CAP, PA e PB. Segundo Klamt e Van Raewijk (2000), o baixo conteúdo de silte é uma característica comum aos solos fortemente intemperizados.

As relações silte/argila para os solos em estudo mostram valores acima dos citados pela literatura para Latossolos, o que nos leva a supor que houve problemas de dispersão com a presença de silte funcional, altamente resistente à dispersão em meio alcalino. Outra possibilidade pode estar relacionada ao material de origem, já que os que deram origem a esses solos são sedimentos rico em silte, que muitas vezes foram formados em cima de perfis lateríticos, e na base desses temos caulinita e material síltico.

Substâncias húmicas

O ácido fúlvico foi encontrado em maiores proporções que os ácidos húmicos em todos os sítios estudados (Figura 1). A maior proporção de AF é uma característica comum aos solos ácidos da Amazônia, enquanto que a presença de ácido húmico denota melhores condições de humificação da MOS. Nesse sentido, observou-se que os maiores percentuais de ácido húmico encontram-se no sítio TPA, com valores entre 14,33 e 18%, sendo maior na camada de 10-20 cm, e no sítio



Tabela 4. Atributos granulométricos dos solos referentes aos sítios estudados

Sítios	Prof.(cm)	g Kg ⁻¹				
		Areia Fina	Areia Grossa	Silte	Argila	Silte/Argila
TPA	0-5cm	52,1	539,3	205,0	192,0	1,07
	5-10cm	54,3	498,2	241,9	205,7	1,18
	10-20cm	59,5	453,6	240,9	244,9	0,98
	20-50cm	61,7	403,8	247,9	286,6	0,86
CAP	0-5cm	156,5	626,2	82,7	134,6	0,61
	5-10cm	214,2	518,9	96,9	169,9	0,57
	10-20cm	192,0	435,6	148,5	224,0	0,66
	20-50cm	159,3	298,3	139,6	402,7	0,35
PA	0-5cm	251,7	565,3	63,3	119,7	0,53
	5-10cm	233,7	514,7	99,3	152,4	0,65
	10-20cm	265,0	489,7	78,3	167,0	0,47
	20-50cm	281,9	438,1	87,6	192,5	0,46
PB	0-5cm	257,3	537,9	56,5	148,4	0,38
	5-10cm	286,4	442,0	82,8	188,8	0,43
	10-20cm	271,7	474,1	77,0	177,2	0,43
	20-50cm	296,6	486,3	67,1	150,0	0,45
TOR	0-5cm	186,1	258,4	139,6	415,9	0,34
	5-10cm	182,7	241,3	147,7	428,4	0,34
	10-20cm	170,5	192,7	156,3	480,5	0,32
	20-50cm	136,9	144,6	107,8	610,6	0,18

TOR, em sua camada mais superficial (0-5 cm), com 19,38%. No sítio CAP, as maiores concentrações foram encontradas nas camadas de 0-5 a 10-20 cm, entre 10,59 e 13,84%. A maior quantidade de ácidos húmicos no sítio TPA indica húmus de maior estabilidade.

No processo de formação das substâncias húmicas, o material primordial é a matéria orgânica oriunda dos resíduos de vegetais e animais que se deposita na camada superficial e que sofre ação de microrganismos formando, assim, compostos de alto peso molecular. Dessa forma, espera-se que, via de regra, as quantidades de compostos húmicos seja maior nas camadas mais superficiais, devido aos aportes oriundos da biomassa vegetal. No sítio TPA, no entanto, a maior quantidade de ácidos húmicos na camada de 10-20 cm pode estar associada à sua pedogênese, pois na Terra Preta Arqueológica o revestimento florístico exerce influência menor na

formação do húmus se comparado aos aportes originários do próprio solo. Sendo assim, nele o húmus forma-se em função das condições de enriquecimento do solo e dos elevados teores de carbono nele presentes. Pode-se considerar, ainda, as condições de pH, uma vez que o pH do solo no sítio TPA está em torno de 5,5 a 6,13 (Tabela 3). Valores de pH entre 5,6 e 6,8 proporcionam a maior produção de ácidos húmicos (Primavesi 1990). Segundo Oades (1989), em pH abaixo de 5,5, agentes da decomposição da MOS, como as minhocas, são inibidos, resultando em um aumento da fração ácidos fúlvicos, sendo esse material formado rico em fragmentos de plantas.

A evolução das frações húmicas pode ainda ser explicada em função do conteúdo de cálcio, o qual possui um papel importante na estabilização da matéria orgânica do solo, segundo Oades (1989), e que é resultante, em parte, da formação de



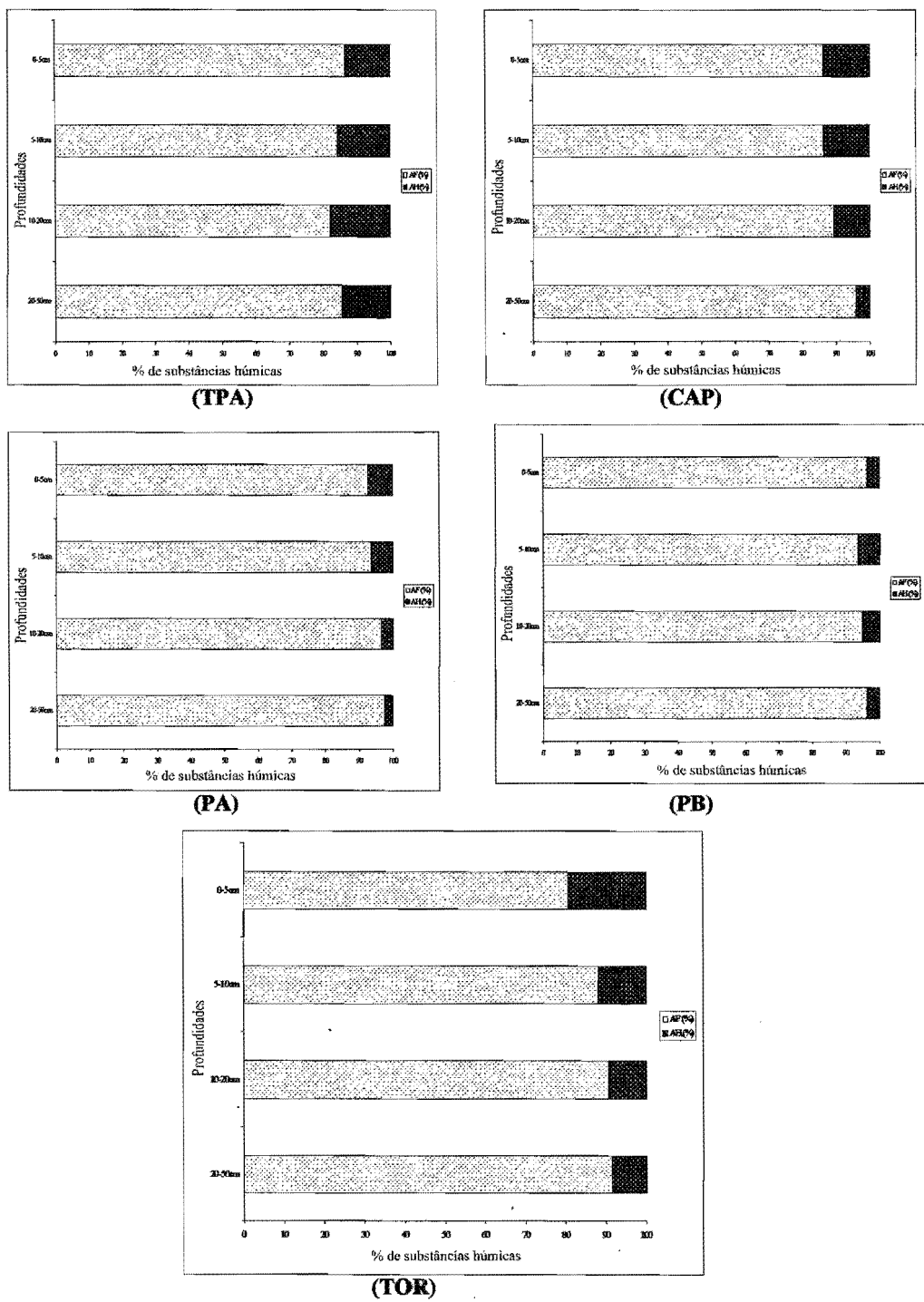


Figura 1. Percentual de substâncias húmicas (ácidos fúlvicos e ácidos húmicos) nos solos estudados em Caxiuanã.

humatos de cálcio. Segundo Gaiffe *et al.*, (1984), tem sido demonstrado que a remoção do cálcio do solo estimula a decomposição da matéria orgânica e a mineralização do nitrogênio, e, de modo inverso, sua adição inibe a liberação de CO₂, estabilizando a estrutura do solo. Como foi verificado nas características químicas dos solos estudados, os teores de cálcio foram bastante elevados no sítio TPA (Tabela 2).

No sítio TOR, o percentual de ácidos húmicos é mais elevado na camada de 0-5 cm e menor nas camadas mais profundas. As quantidades de ácidos fúlvicos tornam-se maiores com o aumento da profundidade, uma vez que esses ácidos possuem maior mobilidade no solo, percolando para camadas mais profundas com maior facilidade. Nos solos dos sítios PA e PB, que apresentam textura franco-arenosa, as quantidades de ácidos húmicos foram menores em relação aos demais sítios estudados, variando de 2,56 a 7,34% no sítio PA e de 3,8 a 6,4% no sítio PB.

CONCLUSÕES

O sítio Terra Preta Arqueológica apresentou teores significativamente maiores dos elementos C, N, P, Ca e Mg em relação aos demais solos, os quais apresentaram características típicas para os Latossolos da região Amazônica. Em relação à acidez, o solo com TPA apresentou pH mais elevado e valores mais baixos de H⁺ + Al³⁺ e alumínio trocável.

Houve predominância de ácidos fúlvicos em todos os sítios estudados. Os maiores percentuais da fração ácidos húmicos foram evidenciados no sítio no TPA e, em seguida, nos sítios TOR e CAP.

Os solos dos sítios estudados estão dispostos na seguinte ordem de fertilidade: TPA (Terra Preta Arqueológica) > TOR (Latossolo Amarelo de textura argilosa) @ CAP (Latossolo Amarelo de textura média) > PA = PB (Latossolo Amarelo de textura arenosa), tendo-se como critério as características químicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam prestar seus agradecimentos ao Projeto "Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia" (LBA) pelo apoio e reconhecimento a esta pesquisa, ao Museu Paraense Emílio Goeldi pela infra-estrutura concedida para efetivação de análises laboratoriais e ao Dept.^o de Solos da Universidade Federal Rural da Amazônia, onde também foram executadas análises dos solos estudados.

REFERÊNCIAS

- BRITEZ, R. M. *et al.* 1997. Nutrientes no solo de duas florestas na planície litorânea da Ilha do Mel, Paranaçuá, PR. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 21, p. 625-634.
- COSTA, M. L.; KERN, D. C. 1999. Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil. **J. Geochem. Explor.**, Elsevier, v. 66, p. 369-385.
- GAIFFE, M.; DUQYET, B. *et al.* 1984. Stabilité biologique et comportement physique d'un complexe argilo-humique placé dans différentes conditions de saturation en calcium ou en potassium. **Plant soil**, v. 37, p. 271-284.
- KERN, D. C. 1988. **Caracterização pedológica de solos de Terra Preta Arqueológica na região de Oriximiná-Pará**. Porto-Alegre: Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 231 p.
- KERN, D. C. 1996. **Geoquímica e pedogeoquímica em sítios arqueológicos com Terra Preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel-PA)**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará/Centro de Geociências/ Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Belém.
- KLAMT, E.; VAN REEUWIJK, L. P. 2000. Evaluation of morphological, physical and chemical characteristics of Ferralsols and related soils. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 24, p. 573-587.
- LIMA, H. N. *et al.* 2002. Pedogenesis and pre-Colombian land use of "Terra Preta Anthrosols" (Indian black earth) of Western Amazonia. **Geoderma**, v. 110, p. 1-17.
- LISBOA, P. L. B.; FERRAZ, M. G. 1999. **Estação Científica Ferreira Penna: ciência e desenvolvimento sustentável na Amazônia**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi. 151 p.
- MARTINS, P. F. S.; CERRI, C. C. 1986. O solo de um ecossistema natural de floresta localizado na Amazônia Oriental. I. Caracterização física e química. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1. 1986. Belém. **Anais...** Belém: EMBRAPA-CPATU, 1986. 6 v. p. 271-286. (Documentos. 36).
- OADES, J. M. 1989. An introduction to organic matter in mineral soils. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of América. cap. 3. p. 89-153.

PRIMAVESI, A. 1990. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 9. ed. São Paulo: Nobel. 549 p.

RUIVO, M. L. P. *et al.* 2001. Solos dos sítios do experimento ESECAFLOR-Caxiuanã, PA. In: LISBOA, P.L.B (Ed.). **Caxiuanã: populações tradicionais, meio físico e diversidade biológica**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi. p. 206-213.

SCHNITZER, M. 1982. Organic matter characterization. In: PAGE, A. L. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: ASA/SSSA. p. 581-594. v. 2.

SILVA, S. B. 1991. **Análise química de solos**. Belém: FCAP, Serviço de Documentação e Informação. 41 p. (FCAP, Informe Didático, 11).

VIEIRA, L. S. 1988. **Manual da Ciência do Solo: com ênfase aos solos tropicais**. 2. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 464 p.

WOLLERSEN, T. W.; DUTRA, S. 1986. Matéria orgânica e algumas propriedades físico-químicas de Latossolos e Podzólicos da Amazônia. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1. 1986, Belém, **Anais...** Belém: EMBRAPA-CPATU, 1986. 6 v. (Documentos, 36).

Recebido: 10/01/2002
Aprovado: 03/02/2003

