

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALOGIA DE
SOLOS ANTRÓPICOS DA AMAZÔNIA (Terras Pretas de
Índio) ENTRE COARÍ-MANAUS-AM

FRANCISCO WELITON ROCHA SILVA

M A N A U S
Amazonas – Brasil
2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL

FRANCISCO WELITON ROCHA SILVA

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALOGIA DE
SOLOS ANTRÓPICOS DA AMAZÔNIA (Terras Pretas de
Índio) ENTRE COARÍ-MANAUS-AM

Dissertação apresentada
ao Programa de Pós-
Graduação em Agronomia
Tropical da Faculdade de
Ciências Agrárias da
Universidade Federal do
Amazonas, como requisito
parcial para a obtenção do
título de mestre em
Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Hedinaldo Narciso Lima

M A N A U S
Amazonas – Brasil
2008

TERMO DE APROVAÇÃO

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALOGIA DE SOLOS ANTRÓPICOS
DA AMAZÔNIA (TERRA PRETA DE ÍNDIO) ENTRE COARI-MANAUS-AM

Por

FRANCISCO WELITON ROCHA SILVA

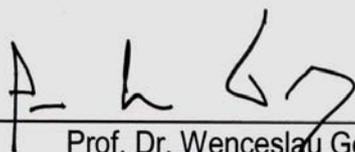
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Agronomia.

APROVADA: 25 de setembro de 2008.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Hedinaldo Narciso Lima
(Orientador)



Prof. Dr. Wenceslau Geraldes Teixeira
(Co-orientador)



Prof. Dr. Carlos Alberto Franco Tucci

Ficha Catalográfica
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Silva, Francisco Weliton Rocha

S586c Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos da Amazônia (terras pretas de índio) entre Coari-Manaus-AM / Francisco Weliton Rocha Silva. - Manaus: UFA M, 2008.
166 f.; il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Universidade Federal do Amazonas, 2008.

Orientador: Prof. Dr. Hedinaldo Narciso Lima

1. Solos – Propriedades químicas 2. Solos - Amazônia 3. Fertilidade dos solos 4. Mineralogia dos solos I. Lima, Hedinaldo Narciso II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

CDU 631.41/.416.8(811)(043.3)

Ao meu filho, Felipe Willyam.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus.

À Universidade Federal do Amazonas.

Ao Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão da bolsa de estudos.

À minha mãe pela solidariedade e pelo carinho e a toda a minha família pelo apoio e incentivo.

À minha mulher, Fabíola, pelo companheirismo, pelo apoio e pela paciência nas horas difíceis.

Ao Professor Hedinaldo Narciso Lima, pela oportunidade, pela orientação, pela amizade, pelas aulas e pelos ensinamentos, e pela confiança em mim depositada desde o início da minha vida científica.

Ao Professor Wenceslau Geraldes Teixeira, pela orientação e pelo apoio, pelos ensinamentos, pelo entusiasmo e pela amizade.

Ao Professor Eduardo Góes Neves, do Museu de Arqueologia e Etnologia, da Universidade de São Paulo, pelo apoio e pela contribuição dada a este trabalho.

Ao Professor Nilton Falcão do INPA, pelo apoio e incentivo.

Ao Professor James Roberto, do departamento de História da UFAM pela amizade e pelo apoio.

À Profa. Dra Maria Silvia, pela amizade e pelos ensinamentos.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical FCA/UFAM.

Ao Amigo Marcelo Batista Motta, e a Professora Adriana Maria Coimbra do departamento de Geologia da UFAM, pelo apoio e ajuda nas análises de mineralogia.

Ao PIATAM, na pessoa do professor Carlos Edward, por ter proporcionado o apoio logístico necessário para realização deste trabalho.

Ao Museo Amazônico pelo fornecimento de dados e amostras, nas pessoas de Carlos Augusto, Cláudio e Marjore do Nascimento Lima.

Aos colegas do programa que tornaram as aulas mais prazerosas.

Aos alunos e amigos Sérgio Tavares, e Lauro Costa, pelo apoio nas análises.

Ao amigo Kleberson, pelo apoio e incentivo.

E a todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente para realização deste sonho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização da área de estudo, trecho Coari-Manaus-AM.....	16
Figura 2	Perfil de solo do sítio Jacuruxí.....	19
Figura 3	Perfil de solo do sítio Lauro Sodré.....	21
Figura 4	Horizonte A antrópico sob camadas de deposição de um Neossolo na profundidade de 160 cm na Comunidade Lauro Sodré (várzea).....	21
Figura 5	Artefatos cerâmicos encontrados na Comunidade Lauro Sodré..	22
Figura 6	Artefatos cerâmicos encontrados na Comunidade Lauro Sodré..	22
Figura 7	Agitador de peneiras utilizado no fracionamento da areia.....	27
Figura 8	Colunas de separação de minerais pesados.....	27
Figura 9	DRX das frações argila, areia, pesados e magnéticos do solo do sítio Comunidade S. João Batista.....	41
Figura 10	DRX das frações argila, areia e magnéticos do solo do sítio Pilão.....	42
Figura 11	DRX das frações argila e areia do solo do sítio Lago do Limão..	42
Figura 12	DRX das frações argila, areia e pesados do solo do sítio Jacuruxí.....	44
Figura 13	DRX das frações argila e areia do solo do sítio Lauro Sodré.....	44
Figura 14	DRX das frações argila e areia do solo do sítio Ena.....	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Composição granulométrica e matéria orgânica do solo (MOS) dos solos avaliados.....	30
Quadro 2	Característica química dos solos avaliados.....	36
Quadro 3	Soma de bases (SB), capacidade de troca cátions (t e T), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m).....	38
Quadro 4	Ferro, alumínio, silício e fósforo no ataque sulfúrico, e, índices Ki e Kr nos solos avaliados.....	48

RESUMO

SILVA, F.W.R. **Caracterização Química e Mineralogia de Solos Antrópicos da Amazônia (Terras Pretas de Índio) entre Coarí-Manaus-AM.** Manaus: UFAM, 2008. 56 p. (Dissertação, Mestrado em Agricultura Tropical)

As Terras Pretas da Amazônia são horizontes de solo de cor escura, com elevada fertilidade e teor de matéria orgânica. Podem ser encontradas sobre várias classes de solos na paisagem amazônica, sendo mais frequentes próximo aos cursos d'água, apresentado como característica típica um Horizonte A antrópico, contendo em sua massa fragmentos de cerâmica e carvão. O entendimento de suas características químicas e da composição mineralógica pode melhorar a compreensão de sua gênese, riqueza e sustentabilidade. O presente trabalho foi realizado com o intuito de avaliar as principais características químicas e a composição mineralógica das frações argila e areia de seis solos de sítios arqueológicos com Horizonte A antrópico localizados na Bacia sedimentar do Amazonas e do Solimões, trecho Coarí-Manaus, sendo eles: Sítio Ena, Comunidade S. J. Batista, Lago do Limão, Lauro Sodré, Jacuruxí e Pilão. As amostras foram coletadas, preparadas e submetidas a análises granulométrica e química realizadas nos Laboratórios de química do solo da UFAM e EMBRAPA, e mineralógicas realizadas no Laboratório de difração de raios-X da UFAM. Os resultados da caracterização química revelaram que nos solos de sítios Arqueológicos avaliados, os valores de pH em água variaram entre 5,1 e 7,05, revelando na maioria das amostras acidez moderada; os teores de elementos trocáveis apresentaram elevados teores de P e Ca^{2+} e baixos valores de alumínio trocável. Entretanto, neste estudo, o solo do sítio Jacuruxi apresentou menores teores de Ca^{2+} , acidez elevada e altos teores de Al^{3+} , enquanto os teores de P observados foram

elevados, variando entre 42 e 113 mg kg⁻¹. A composição mineralógica dos solos avaliados pela difratometria de raios-X, revelaram que a fração argila dos sítios localizados em ambiente de terra firme (Comunidade S. J. Batista, Lago do Limão, Jacuruxí e Pilão) é dominada por caulinita, à semelhança do que se observa normalmente nos solos de mesma superfície geomórfica na Amazônia. No entanto, a mineralogia dos sítios localizados em ambiente de várzea (Lauro Sodré e Ena), revela uma composição mineral mais heterogênea, composta por caulinita, goethita e minerais 2:1, realçando a presença de materiais menos intemperizados nesse ambiente. Na fração areia, houve o predomínio total do mineral quartzo em todos os solos avaliados independente das características do ambiente; entretanto, através da separação por líquido denso nesta fração em dois solos (Comunidade S. J. Batista e Jacuruxí), foi possível detectar além do mineral quartzo, também a presença de hematita, rutilo, anatásio, ilmenita, zircão e maghemita, e através da separação magnética também nesta fração em dois solos (Comunidade S. J. Batista e Pilão), detectou-se a presença de hematita e maghemita. O ataque sulfúrico realizado nas amostras avaliadas apresentou baixos teores de ferro, principalmente no sítio Jacuruxí localizado em área de ocorrência de Plintosso, que representa um ambiente de remoção de ferólise. Os teores de P-total revelaram a magnitude da concentração deste elemento nos horizontes antrópicos dos solos de sítios arqueológicos avaliados, destacando-se o sítio de várzea (Lauro Sodré) com Horizonte A antrópico enterrado sobre a camada de um Neossolo na profundidade de 160 cm, e que chegou ao teor de 8840 mg kg⁻¹ de P-total nesta profundidade.

Palavras-chave: Solos Arqueológicos, gênese, fertilidade, sustentabilidade, magnéticos

ABSTRACT

SILVA, F.W.R. **Chemical and Mineralogy characterization of Anthropogenic Dark Earths (Terras Pretas de Índio) Coarí- Manaus-AM intervals.** Mao: UFAM. 56 p. (Dissertação, Mestrado em Agricultura Tropical)

Anthropogenic Dark Earths (Terras Pretas de Índio) are soil horizons of dark color with high fertility and organic matter content. They could be found about different types of soils on the Amazon landscape, being more frequently next to water courses, presenting as a typical characteristic an anthropic horizon A, containing in its mass ceramic fragments, lithic material and charcoal. Understanding of its chemical characteristics and mineralogical composition could improve comprehension of its genesis, richness and sustainability. The present study was realized with the purpose of evaluate the main chemical characteristics and mineralogical composition of clay and sand fractions of six soils in archeological sites with horizon A localized at the Sedimentary Basin of the Amazon and Solimões, between Coari-Manaus intervals, being those; Ena site, Comunidade S.J. Batista, Lago do Limão, Lauro Sodré, Jacuruxi and Pilão. Samples were collected prepared and submitted to granulometric and chemical analysis realized at soil chemistry laboratories at UFAM and EMBRAPA, and mineralogical analysis at X-ray diffraction (XRD) UFAM laboratory. Results from chemical characterization has shown that in evaluated soils of archeological sites the pH in water varied between 5.1 and 7.05, displaying in most samples a moderate acidity; elements contents available and changeable as well presented high contents of P and Ca^{2+} and low potassium (K^+) and aluminum Ca^{2+} contents. Meanwhile, in this study, soil from Jacuruxi site presented lower Ca^{2+} contents, high acidity, and

high Al^{3+} contents, meantime, observed available P contents (mehlich-1) were high, varying from 42 to 113 $mg\ kg^{-1}$ mineralogical soil composition evaluated by DXR has shown that argile from upland (terra firme) localized sites, (Comunidade S.J. Batista, ENA, Lago do Limão, Jacuruxi, and Pilão) are Kaolinite prevailed, which is normally observed in soils of same geomorphologic surface in the Amazon. Anyhow, mineralogy of clay fraction at localized soil floodplain (várzea) ecosystem at Lauro Sodré, has shown a more heterogeneous mineral composition, composed by Kaolinite, goethite and type 2:1 minerals, enhancing current materials less temperate in such environment. On the sand fraction there was a total predominance of quartz mineral in all evaluated soils independent of environment characteristic, meanwhile through mineral separation by dense liquid means in this fraction of two soils (Comunidade S.J. Batista and Jacuruxi), it was detected the appearance of hematite, rutile, anatase, ilmenite, zircon and maghemite, and through magnetic separation, also on this fraction, in two soils (Comunidade S.J. Batista and Pilão) the analysis detected hematite (Hm) and maghemite (Mh) contents. The sulfuric acid attack done on evaluated samples has shown low iron contents, mainly at Jacuruxi site localized at hydromorphosis incidental area, that represents a removal environment of ferrous. The contents of P-total has shown the concentration magnitude of this elements on the anthropic soils horizons of archeological sites already evaluated, outstanding the floodplain site (Lauro Sodré) with anthropic Horizon A beneath disposal layers of neo-soil at depth of 160 cm, achieving contents of 8840 $mg\ kg^{-1}$ of P-total at this depth.

Key Words: Archeological Soils, genesis, sustainability, maghemite, magnetics

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	1
INTRODUÇÃO	3
OBJETIVOS	6
2.1 Geral.....	6
2.2 Específicos.....	6
REVISÃO DE LITERATURA	7
3.1 Solos Antrópicos da Amazônia (Terras Pretas de Índio), origem e ocorrência.....	8
3.2 Característica química, cor e matéria orgânica do solo (MOS).....	10
3.3 Mineralogia	12
MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1 Áreas de estudo.....	14
4.1.1 Sítio Barro Branco (Comunidade S.J. Batista).....	15
4.1.2 Sítio Ena.....	15
4.1.3 Sítio Jacuruxí.....	16
4.1.4 Sítio Pilão.....	17
4.1.5 Sítio Lauro Sodré.....	18
4.1.6 Sítio Lago do Limão.....	21
4.2 Coleta e Preparação das amostras.....	21
4.3 Análise Granulométrica.....	21
4.4 Caracterização química.....	22
4.4.1 pH em água e em solução KCl 1 mol L ⁻¹	22
4.4.2 Cálcio e magnésio trocáveis.....	22
4.4.3 Potássio e sódio trocáveis.....	22
4.4.4 Alumínio trocável.....	22
4.4.5 Acidez potencial (H+Al).....	23
4.4.6 Fósforo extraível.....	23
4.5 Carbono orgânico.....	23
4.6 Mineralogia.....	23
4.7 Ataque sulfúrico.....	26
RESULTADOS E DICUSSÃO	27
5.1 Textura e matéria orgânica do solo (MOS).....	27
5.2 Característica química.....	29
5.2.1 pH em água e em solução KCl 1 mol L ⁻¹	29
5.2.2 Alumínio (Al ³⁺) e Acidez potencial (H+Al).....	30
5.2.3 Cálcio (Ca ²⁺), magnésio (Mg ²⁺) e potássio (K ⁺).....	30
5.2.4 Fósforo extraível (P) (Mehlich 1).....	31
5.3 Soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (T e t), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m).....	35
5.4 Mineralogia.....	37
5.4.1 Componentes minerais da fração argila e areia total.....	37
5.4.2 Componentes minerais pesados e magnéticos da fração areia.....	43
5.5 Ataque sulfúrico.....	44
CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho se originou a partir de pesquisas feitas pelo grupo de solos da UFAM, com contribuição do Museu Amazônico e apoio logístico do Projeto PIATAM - Potenciais Impactos e Riscos Ambientais da Indústria do Petróleo e Gás Natural no Amazonas.

Objetivando uma melhor compreensão dos atributos químicos e da composição mineralógica dos solos com Horizonte A antrópico na paisagem Amazônica. Foram selecionados e estudados seis solos de sítios arqueológicos, denominados Terra Preta de Índio (TPI) ou Terra Preta Arqueológica (TPA), inseridos na bacia sedimentar do Amazonas e Solimões, em pontos distribuídos ao longo do trecho Coari-Manaus-AM, em área de influência do gasoduto e também na calha do Solimões.

Apesar de constituírem pequenas manchas de solos, as Terras Pretas possuem diferenciais nos seus atributos em relação aos solos bem drenados e caulíníficos de maior ocorrência na Amazônia, principalmente no que diz respeito à característica química, teor e estabilidade da matéria orgânica do solo. O que tem chamado atenção e despertado o interesse de vários pesquisadores no estudo destes solos.

São apresentados e discutidos neste trabalho os principais atributos químicos e mineralógicos de Terras Pretas localizadas em ambientes de terra firme, várzea e também em área com ocorrência de hidromorfismo, mostrando os teores de alguns elementos químicos disponíveis, composição granulométrica, teor de matéria orgânica do solo (MOS), a composição mineralógica da fração argila, e os componentes minerais pesados e magnéticos presentes na fração areia, e, por fim,

são apresentados e discutidos no último item os teores totais de elementos químicos no ataque sulfúrico e os índices Ki e Kr dos solos, bem como, os teores de fósforo total nas Terras Pretas avaliadas.

Em relação aos resultados obtidos nas análises, de maneira geral, os solos de sítios arqueológicos ou Terras Pretas de Índio, apresentaram elevada fertilidade, observada principalmente sobre solos com composição mineralógica semelhante aos solos fortemente intemperizados dos ambientes bem drenados de terra firme da Amazônia.

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALOGIA DE SOLOS ANTRÓPICOS DA AMAZÔNIA (Terras Pretas de Índio) ENTRE COARÍ-MANAUS-AM

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia possui uma vasta área repleta de riquezas naturais, e uma exuberante floresta com uma grande diversidade de espécies na sua flora e fauna, formando um ambiente com vários ecossistemas, dentro de um conjunto variado de paisagens sobre solos cauliníticos fortemente intemperizados, que, em sua grande maioria, são pobres em nutrientes, notadamente, os de ecossistema de terra firme, como vêm evidenciando os vários estudos realizados sobre os solos da Amazônia, indicando não existir correlação entre vigor e vastidão da floresta com a riqueza dos solos da região, como se imaginava outrora.

Nos ambientes mais elevados da paisagem Amazônica, as porções de terra que não estão sujeitas a inundações sazonais mesmo durante as grandes enchentes são regionalmente denominadas de terra firme. Via de regra, na terra firme predominam solos com características químicas e mineralógicas que refletem a pobreza do material de origem, como solos ácidos com argilominerais de baixa capacidade de troca de cátions.

Por outro lado, na planície de inundação fluvial dos rios de água brancas (barrentas), denominada de várzea na paisagem amazônica, ocorrem ciclos anuais de inundações e deposição de material rico em sedimentos trazidos pelos rios de águas brancas. Nessas áreas é onde está concentrada a maior faixa contínua de solos férteis, e, onde se intensificam as atividades de pesca e agricultura na região pelos povos ribeirinhos, que é como são chamadas as famílias que reside nesse

ambiente, e sobrevivem basicamente da exploração desses recursos naturais, e da agricultura familiar que é baseada no uso do solo pelo conhecimento tradicional sem a utilização de “tecnologias”, ou seja, praticamente desprovida de insumos agrícolas. Mas que possibilita sobrepor às limitações de uso do solo e produzir de forma satisfatória para sua subsistência.

Os solos dessas áreas são eutróficos, com elevada capacidade de troca de cátions. Em contraste com os solos de terra firme, os solos de várzea apresentam uma composição mineral mais variada, como reflexo da diversidade e da natureza recente do material de origem e do reduzido grau de pedogênese (LIMA, 2001).

A ocorrência de solos alterados por populações pré-colombianas na paisagem amazônica, conhecidos regionalmente como Terra Preta de Índio (KERN e KAMPF, 2005), representa um importante registro da ocupação humana e do uso do solo na Amazônia (LIMA, 2001).

As Terras Pretas de Índio (TPI) são horizontes de solo encontrados geralmente nos ambientes de terra firme da Amazônia, na parte mais elevada da paisagem, frequentemente próximos aos cursos d’água, com ocorrência sobre várias classes de solos, e possui como característica típica um Horizonte A antrópico com elevados níveis de fertilidade e de carbono orgânico, além de materiais cerâmicos e carvão na massa do solo.

O ecossistema de terra firme amazônico apresenta limitação de uso agrícola devido à baixa fertilidade natural da maioria dos solos desse ambiente. Vale ressaltar, ainda, que os solos férteis do ecossistema de várzea na paisagem amazônica apresentam limitação de uso do solo devido à elevação do lençol freático e também ao fato dessas áreas serem inundadas boa parte do ano; desta forma, o uso dos solos de ecossistemas de terra firme com elevada fertilidade, como as

Terras Pretas, representam uma alternativa importante e estratégica para o desenvolvimento sustentável da região, principalmente no que diz respeito ao desenvolvimento do modelo agrícola familiar de produção de alimentos.

Apesar dos estudos e citações sobre as Terras Pretas (KATZER, 1993; FRANCO, 1962; SOMBROEK, 1966; RANZANI *et al.*, 1970; SMITH, 1980; KERN e KÄMPF, 1988; PABST, 1991; LEHMANN *et al.*, 2003; NEVES *et al.*, 2003, entre outros) algumas questões, como característica química, teores de matéria orgânica do solo e a mineralogia de Terras Pretas, precisam se mais bem avaliadas, valendo ressaltar que a característica dos componentes minerais pesados e magnéticos presentes na fração areia ainda permanece obscura. Assim, visando contribuir para uma melhor compreensão e entendimento da gênese, riqueza e sustentabilidade desses solos na Amazônia, propôs-se com o presente trabalho, avaliar os atributos químicos e a composição mineralógica da fração argila e areia de solos antrópicos da Amazônia (TPI).

2 - OBJETIVOS

2.1 Geral

- Avaliar a distribuição granulométrica, as características químicas e a composição mineralógica de Terras Pretas de Índio da Amazônia Central.

2.2 Específicos

- Avaliar os teores de elementos químicos.
- Avaliar a distribuição granulométrica.
- Identificar os minerais presentes na fração argila e areia.

3 - REVISÃO DE LITERATURA

Os solos da Amazônia, em termos de ocorrências de classes, não diferem, significativamente, das demais regiões úmidas brasileiras. Embora a região possua uma proporção relativamente maior de Plintossolos, Espodossolos e Gleissolos, os Latossolos e Argissolos distróficos ou álicos perfazem cerca de 70% do total de solos (RODRIGUES, 1996). As características químicas e mineralógicas dos solos da região são, em grande parte, ditadas pela natureza geológica do substrato (SCHAEFER *et al.*, 2000). De maneira geral, na terra firme, as condições bioclimáticas atuais, as características do material de origem e as geoformas levam à formação de solos profundos e intemperizados (LIMA, 2001).

Nas áreas de terra firme, predominam solos ácidos, com baixos teores de nutrientes, teores relativamente elevados de alumínio trocável e argila de atividade baixa (IRION, 1978), constituindo grande parte da Amazônia, sendo, talvez, o fator de maior limitação regional (RODRIGUES, 1996), para a produtividade e sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (CUNHA, 2005).

A terra firme é recoberta por sedimentos cretáceos/terciários na formação Alter do Chão (DAEMON, 1975; SANTOS, 1984), e também por sedimentos terciários na formação Solimões (RADAMBRASIL, 1997). A várzea é recoberta por sedimentos quaternários holocênicos (SIOLI, 1951; SOMBROEK 1966) e pleistocênicos. Mais detalhes e outras unidades geológicas que representam as litologias da Amazônia estão descritas no projeto RADAMBRASIL.

Na várzea, os solos possuem teores elevados de silte e de areia fina. Esses solos, via de regra, são eutróficos, com elevada capacidade de troca de cátions e

elevados teores de cátions trocáveis, especialmente cálcio, magnésio e alumínio. (LIMA, 2001).

3.1 Solos antrópicos da Amazônia (Terras Pretas de Índio), origem e ocorrência

Nos ambientes de várzea, ou próximo destes, os grupamentos pré-colombianos passaram a concentrar a exploração dos recursos abundantes da várzea e dos rios, reunindo caça e pesca em torno das habitações. Com o passar do tempo, esses materiais ricos em nutrientes incorporam-se ao solo superficial (SCHAEFER *et al.*, 2000).

A ocorrência de manchas de solos profundos com horizonte superficial de cor escura e com elevados níveis de fertilidade, recobrando, principalmente, solos cauliniticos, constitui uma das feições mais interessantes da paisagem amazônica, e representa um importante registro da ocupação humana e do uso do solo na Amazônia por populações pré-colombianas (LIMA, 2001). Esses solos são conhecidos comumente como Terra Preta de Índio (TPI), Terra Preta Arqueológica (TPA) (KERN e KAMPF, 1989) e ainda, como solos Arqueológicos (EDEN *et al.*, 1984).

As Terras Pretas de Índio podem ser encontradas em grande parte da Amazônia (SOMBROEK, 1966; KERN *et al.*, 2003). São solos que foram alterados pelas populações pré-colombianas (KERN e KAMPF, 2005), e, que estão localizadas em terra firme, próximos à água corrente e em posição topográfica que permitia uma boa visibilidade como um todo, fator importante para estratégia de sobrevivência do homem pré-histórico (KERN e COSTA, 1997).

As primeiras teorias sobre esses solos relatam que essas manchas formaram-se a partir de depósitos de poeiras vulcânicas, ou de material orgânico acumulado em lagos (FALESI, 1972), e que os artefatos cerâmicos encontrados nessas áreas foram deixados pelos Ameríndios, atraídos pela elevada fertilidade natural desses solos (GOUROU, 1949). Outra teoria considera a possibilidade de origem natural; para tanto, o que haveria atraído os assentamentos teria sido o ambiente com condições favoráveis para sua ocupação (SOARES, 1963).

No entanto, a origem antrópica é a mais aceita atualmente, e vêm sendo reforçada através dos estudos atuais (WOODS e McCANN, 1999) e pela presença de cerâmicas, fragmentos líticos e carvão, que estariam associados à ocupação humana (GOUROU, 1949; SOMBROEK, 1996; ÉDEN *et al.*, 1984; RODRIGUES, 1993). Outras características também tem contribuído para reforçar a teoria antrópica, tais como a semelhança entre a textura apresentada pela Terra Preta e dos solos adjacentes, conforme observado por alguns autores (SOMBROEK, 1996; RODRIGUES, 1993; WOODS e McCANN, 1999; LIMA, 2001; LEHMANN *et al.*, 2006), e a semelhança existente entre a composição mineralógica das Terras Pretas e dos solos vizinhos (LIMA, 2001; LEHMANN *et al.*, 2006). Entretanto, o que ainda não está elucidado é se sua origem foi intencional ou não (NEVES *et al.*, 2003).

Os solos de coloração mais clara que circundam as TPI's, denominados de Terra Mulata (TM), e que possuem características tais como: teores relativamente elevados de matéria orgânica, pouco ou nenhum fragmento cerâmico, e teores de P e Ca^{2+} , inferiores aos encontrados nas Terras Pretas, foram desenvolvidos em áreas onde, possivelmente, os povos indígenas praticavam intensamente a agricultura (NEVES *et al.*, 2003).

A ocorrência de um arbusto cheio de espinhos, localmente conhecido como limorana (*Chomelia anisomeris*), é um fator que tem auxiliado na identificação de Terras Pretas de Índio na Amazônia, por serem encontrados geralmente associados a esses solos, onde cresce em função, possivelmente, de sua boa fertilidade (MORAES, 2006).

3.2 Características químicas, cor e matéria orgânica do solo (MOS)

A Terra Preta de Índio (TPI) é conhecida regionalmente como um solo com elevada fertilidade (SOMBROEK, 1966), e apresentam cor escura, elevados teores de matéria orgânica e de nutrientes, principalmente fósforo e cálcio (DENEVAN, 1996). A cor escura e a presença de fragmentos cerâmicos e líticos incorporados à massa do horizonte superficial constituem feições morfológicas marcantes das Terras Pretas, sendo estes atributos suficientes para diferenciá-las dos solos adjacentes (LIMA, 2001).

São solos que apresentam pH geralmente variando entre 5,2 e 6,4 e P disponível, em geral acima de 250ppm (FALCÃO *et al.*, 2001), além disso, neles se encontram, elevados teores de alguns micronutrientes como manganês e zinco (SOMBROEK, 1966; KERN e KÄMPF, 1989). Os altos teores totais de fósforo e cálcio são provenientes, provavelmente, de ossos humanos e de animais (SMITH, 1990). O predomínio de P-Ca (fósforo ligado a cálcio), é proveniente dos resíduos incorporados aos solos por populações pré-colombianas, tratando-se principalmente espinhas de peixe, ossos de mamíferos e carapaças de quelônios e, em alguns casos, possivelmente ossos humanos, o que evidencia de forma inequívoca a fonte primária de P presente nos horizontes superficiais das TPI's (LIMA, 2001).

Os solos da Amazônia que possuem Horizonte A antrópico (Au) apresentam elevada fertilidade natural geralmente atribuída ao teor elevado de matéria orgânica e à sua elevada reatividade (CUNHA *et al.*, 2007). De acordo com vários autores (CUNHA *et al.*, 2007; STEINER *et al.*, 2004; LIMA, 2001; GLASER *et al.*, 2000; SOMBROEK, 1966; RANZANI, 1970; SMITH, 1980; EDEN *et al.*, 1984; PABST, 1991), as Terras Pretas apresentam elevados teores de COT, comparando-se com as áreas adjacentes. A matéria orgânica nas TPI's pode chegar a ser seis vezes mais estável que nas áreas adjacentes (PABST, 1991). Ainda de acordo com Lima (2001), as frações altamente humificadas (frações ácidos húmicos e humina) apresentam-se dominantes, em relação às frações mais móveis (fração ácido fúlvicos) nas TPI's, o que é comprovado pela relação FAH/FAF.

A cor preta dos horizontes superficiais das Terras Pretas é atribuída ao maior acúmulo de material orgânico (KERN e KAMPF, 1989) e, principalmente, aos resíduos das queimadas (SMITH, 1980). A ocorrência de carvão, de acordo com Glaser *et al.* (2000), é outro atributo comum nas TPI's, sendo ele uma forma de carbono de origem pirogênica (GLASER, 1999). E em razão de sua natureza inerte, o Black Carbon (BC) persiste no ambiente por milhares de anos (GLASER *et al.*, 2000). Ainda de acordo com esses autores, o carvão pode representar entre 35-45% da MOS nas TPI's.

O termo Black Carbon (BC) tem sido usado atualmente para descrever uma grande variedade de materiais orgânicos pretos e altamente aromáticos formados durante a combustão incompleta, mas que não precisam ter a estrutura grafítica. Os termos carbono pirogênico ou Black Carbon (BC) são usados para descrever o mais inerte componente da matéria orgânica, o componente grafítico (SMERNICK *et al.*, 2000) *apud* (SOARES, 2007).

O *Black Carbon* (BC) é considerado um fator-chave na retenção de nutrientes em uma ampla variedade de processos biogeoquímicos no solo (LEHMANN, 2006). Têm surgido fortes evidências de influencia do *Black Carbon* (BC) na dinâmica de ciclagem de nutrientes no solo (LEHMANN *et al.*, 2003).

A manutenção do conteúdo elevado de carbono orgânico nas Terras Pretas, em condições favoráveis a sua decomposição, como temperatura e precipitação elevadas, associadas ao caráter eutrófico dos horizontes antrópicos, poderia ser explicado pela formação de complexos matéria orgânica-cálcio, à composição da MOS, rica em carvão (LIMA, 2001), ou ainda, como relata Zech *et al.*, (1990), à dominância de estruturas aromáticas com baixo grau de substituição de oxigênio.

Steiner e Teixeira (2002) relatam que a estabilidade da matéria orgânica e das substâncias húmicas das TPI's pode estar ligada à combustão incompleta do carvão, que contribui para manutenção da fertilidade desses solos. E em razão de suas características físicas, da elevada fertilidade e sustentabilidade, as Terras Pretas são bastante requeridas para o cultivo de espécies alimentares, principalmente, hortaliças e fruticultura (TEIXEIRA e MARTINS, 2002), que na sua maioria são distribuídas em áreas de dois a cinco hectares (TEIXEIRA e MARTINS, 2003).

3.3 Mineralogia

A difratometria de raios-X é a principal técnica para identificação de compostos cristalinos, particularmente válida quando há mais de uma fase cristalina (mais de um mineral), situação comum nos solos (Resende *et al.*, 2005). O conhecimento da composição mineralógica do solo permite avaliar sua riqueza em

reserva mineral, sendo importante para estimativa da fertilidade potencial (KIEHL, 1979). Os solos tropicais apresentam elevado grau de intemperismo predominando minerais silicatados do tipo 1:1 na fração argila (RESENDE *et al.*, 1995), e óxidos de ferro e de alumínio (FERREIRA *et al.*, 2003).

De acordo com (FERREIRA, 2003), os óxidos de ferro mais comumente encontrados nos solos brasileiros são hematita, goethita, maghemita, magnetita e ilmenita. Hematita e goethita são, mais comumente, fases residuais de decomposição de silicatos, maghemita e magnetita podem ser herdadas diretamente do material de origem ou ser formadas ou alteradas durante a pedogênese, a ilmenita tende a ter origem litogênica.

A origem pedogenética da maghemita nos solos pode ocorrer a partir da oxidação da magnetita, ou a partir do aquecimento da lepidocrocita (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989). No entanto, sua ocorrência também pode estar associada ao efeito do fogo (SCHWERTMANN e FITZPATRICK, 1992), onde exige temperaturas próximas a 500 °C para sua formação (RESENDE *et al.*, 2005). Por meio de transformações a partir de outros minerais na presença da matéria orgânica como agente redutor (BERNDT, 2008; ALVES, 2002).

Existem poucos estudos a este respeito sobre os solos Antrópicos da Amazônia. Estudos relacionados à mineralogia das TPI's foram reportados por Lima (2001), o qual relata que não é comum observar grandes diferenças na composição mineralógica das frações argila e areia das Terras Pretas e dos solos adjacentes, sendo a fração argila dominada por caulinita e predominando entre os óxidos, a goethita. Na fração mais grosseira (areia e silte), é observado o predomínio total do mineral quartzo, à semelhança do que se observa normalmente nos solos de terra firme da Amazônia. LEHMANN *et al.* (2006) reafirmam que a mineralogia da fração

argila das Terras Pretas apresenta características semelhantes a dos solos adjacentes, predominando minerais de argila caulinítica 1:1 nos dois ambientes.

De acordo com Lima (2001), os teores de Fe e Al extraídos pelo ditionito citrato de sódio e por oxalato de amônio, em Terras Pretas de Índio e de solos adjacentes, comprovaram não haver diferenças expressivas nos teores desses elementos nos solos. Concentrações elevadas de elementos-traço como Mn e Zn em horizontes antrópicos foram observados por (KERN e COSTA, 1997; LIMA, 2001) em Terras Pretas na Amazônia.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Áreas de estudo

Foram selecionados e estudados seis sítios arqueológicos, situados na bacia sedimentar do Amazonas e do Solimões, Estado do Amazonas, trecho Coari-Manaus (Figura 1), inseridos na paisagem em ambientes de terra firme (sítio Lago do Limão, Pilão, Comunidade São João Batista e Ena), em ambiente com deficiência de drenagem (sítio Jacuruxí), e, também, na planície aluvial “várzea” (sítio Lauro Sodré) na calha do Solimões.

Na região próxima a Manaus, o clima predominante é do tipo Am, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por um clima tropical com precipitação pluviométrica anual igual ou superior a 2.000 mm. A umidade relativa do ar é sempre alta, chegando a 90%. Na região de Coari-AM, segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Af, correspondendo ao clima de floresta tropical, constantemente úmido, com um mínimo de variação anual.

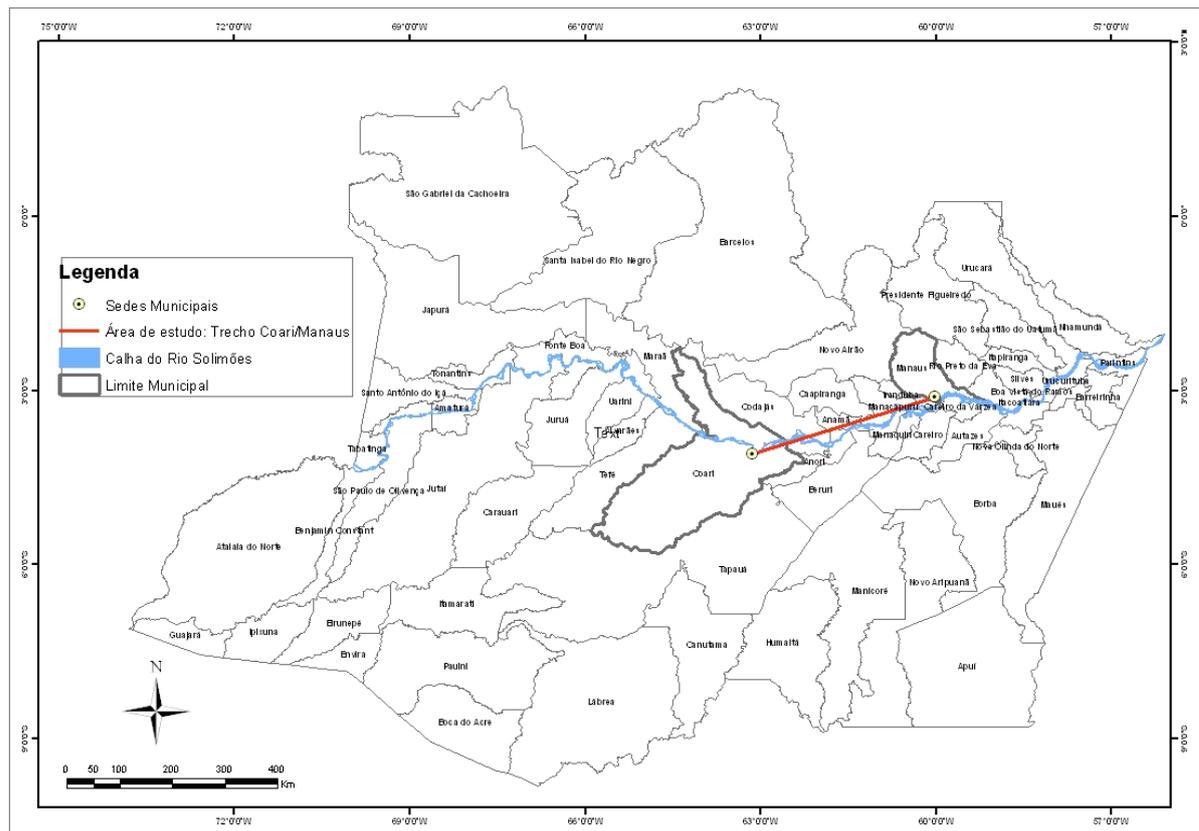


Figura 1: Mapa de localização geográfica da área de estudo, trecho Coari-Manaus-AM.
Fonte: Freitas e Silva 2008

Os sítios arqueológicos aqui estudados estão descritos de acordo com os relatórios de levantamento (Neves, 2000 e 2003) elaborados pela equipe de Arqueologia do Prof. Dr. Eduardo Góes Neves,¹ um dos estudiosos da Arqueologia na Amazônia, e com informações complementares sobre alguns solos, obtidas durante excursão pela área de estudo no ano de 2007.

4.1.1 Sítio Barro Branco (Comunidade S. J. Batista)

Localizado na margem esquerda do rio Solimões, a jusante do Município de Manacapuru (aproximadamente 9,04 quilômetros), nas coordenadas (S 3°18'14" – W 60°32'96"), na localidade conhecida como Costa do Paru, comunidade São João Batista.

A área possui grande quantidade de material cerâmico aflorando em superfície, estando associado à presença de Terra Preta. O sítio está localizado na sede da comunidade, entretanto é possível visualizar fragmentos no roçado próximo onde é feito o plantio de mandioca, mamão, laranja, bem como outras culturas voltadas para subsistência.

4.1.2 Sítio Ena

Localizado na margem esquerda do rio Solimões, comunidade Libanesa, na localidade de mesmo nome, a montante da sede do município de Codajás (cerca de 8 km) nas coordenadas geográficas (S 3°48'76" – W 62° 07'75").

¹ Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo

O sítio está situado em uma área alta, caracterizando-se pela relevante presença de material cerâmico em superfície e no perfil, bem como pela presença de manchas de Terra Preta. Apesar da alta densidade cerâmica, o material está bastante erodido. O proprietário do terreno é o senhor Marizio Nepomuceno.

4.1.3 Sítio Jacuruxí

Localiza-se na margem de Igarapé homônimo, nas coordenadas (S 03° 06'00" W 59°58'33"). O acesso ao sítio é por meio fluvial e pode ser feito a partir do Km 51 da Rodovia Manoel Urbano (Cacau-Pirêra-Manacapuru), via lago do Imanha, ou a partir do Ramal do Bujarú, Km 53 da mesma rodovia, via Lago Preto.

Trata-se de um sítio aparentemente uniconcêntrico², com materiais cerâmicos associados à recém definida fase Açutuba (MACHADO, 2006), que tem uma idade entre 1600 e 2300 anos. Atualmente poucos sítios com essa idade são conhecidos na Amazônia central. A vegetação que recobre a área do sítio é uma mata secundária muito antiga, com pelo menos cem anos de existência. Vale ressaltar ainda que o Horizonte A antrópico desse sítio está sobre um horizonte com ocorrência de plintita, como pode ser observado na figura 2.

As amostras do sítio Jacuruxí analisadas neste trabalho, foram coletadas durante as escavações para estudos arqueológicos, realizadas pela equipe do Museu Amazônico.

² Hipótese baseada na densidade de vestígios arqueológicos e na profundidade da terra Preta (NEVES, 2000 e 2003)



Figura 2: Perfil do solo no sítio Jacuruxi, foto: Neves, (relatório 2005-2007)

4.1.4 Sítio Pilão

Situado a aproximadamente 500 metros sul do sítio Antônio Galo e cerca de 2000 metros sudeste do povoado, nas coordenadas (S 03°12'01" W 60°20'06"). O sítio encontra-se na propriedade do Sr. Almir.

No caso do sítio Pilão, o mapeamento realizado em campo indica tratar-se de uma aldeia circular associada à fase Paredão³, portanto com idade entre 1300 e 1000 anos. Até o momento não era bem conhecida a forma desse tipo de aldeia.

O sítio Pilão está situado na área de impacto direto da obra de construção do Gasoduto Coari-Manaus, a faixa passa dentro da área do sítio.

³ Fases que situam as ocupações cerâmicas, conforme PAC (Projeto Amazônia central), a Fase paredão situa-se entre fins do século VII e início do século X (MACHADO, 2006; NEVES, 2000)

4.1.5 Sítio Lauro Sodré – Município de Coari-AM

Comunidade localizada na margem esquerda do rio Solimões nas coordenadas (S 3°51'18" – W 62°35'62"). Além de se tratar de um dos marcos escolhidos pelo projeto PIATAM para desenvolvimento das atividades de monitoramento do impacto sócio-ambiental, a comunidade Lauro Sodré também se constitui como área de Sítio Arqueológico.

A área está inserida na paisagem em uma várzea alta de alagações pouco freqüentes, e, como em muitos locais da margem do Solimões ocorre também o fenômeno conhecido como "terras caídas". Durante excursão do Projeto PIATAM em março de 2007, foi selecionado nessa área da comunidade, um perfil da margem esquerda do Solimões. Aí foi feita a coleta do solo, até a profundidade de 160 cm, e também se observou vários artefatos cerâmicos na massa do solo. Observou-se ainda que o sítio arqueológico está na várzea sob camadas de deposição de um Neossolo (figura 3), numa profundidade de aproximadamente 160 cm, onde foi observado uma maior densidade de material cerâmico e maior concentração de carvão. Nesta profundidade, encontrou-se também, um artefato cerâmico contendo em seu interior ossos de animais (Figura 3-3B) e, ao lado, os restos de uma carapaça de quelônio (Figura 3-3A). De acordo com a figura 3 e conforme o que foi observado no local da coleta, possivelmente se trata do Horizonte A antrópico, o que também pode ser reforçado pelas análises realizadas mais adiante no decorrer do trabalho.



Figura 3: Perfil de solo do sítio Lauro Sodré, contendo fragmentos cerâmicos na massa do solo, (3A) artefato cerâmico contendo ossos em seu interior, (3B) carapaça de quelônio.
Foto: Lima, 2007



Figura 4: Horizonte A antrópico sob camadas de deposição de um Neossolo a profundidade de 160cm na comunidade Lauro Sodré (várzea), evidenciando a cor escura com elevada concentração de carvão e maior densidade de fragmentos cerâmicos no perfil.
Foto: Lima, 2007



Figura 5: Artefatos cerâmicos encontrados na comunidade Lauro Sodré.
foto: Lima, 2007



Figura 6: Artefatos cerâmicos encontrados na comunidade Lauro Sodré.
Foto: Silva, 2007

4.1.6 Sítio Lago do Limão (Am-Ir-11)

O sítio está localizado praticamente na área urbana da comunidade de mesmo nome nas coordenadas geográficas (S 03°11'08" W 60°20'46"). No local, a vegetação é composta por espécies frutíferas e roças de mandioca (*Manihot esculenta*), e apresenta maior concentração de vestígios arqueológicos nas proximidades do lago, com material cerâmico em alta densidade aflorando em superfície (MORAES, 2006; NEVES, 2000).

4.2 Coleta e preparação das amostras

Foram coletadas amostras, no ano de 2007, em diferentes profundidades nos solos de sítios arqueológicos, que foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm de abertura de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA) a partir da qual foram realizadas as análises a seguir descritas.

4.3 Análise granulométrica

Pesou-se 20g de TFSA, à qual foi adicionado um dispersante químico, solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹, e deixado em repouso por uma noite; em seguida, procedeu-se agitação em alta rotação durante 15 minutos. A fração argila foi quantificada pelo método da pipeta, seca em estufa e pesada. A fração grosseira (areia) retida na peneira de malha 0,053 mm foi seca em estufa e pesada para obtenção do percentual. O silte, que corresponde ao complemento dos percentuais para 100%, foi obtido por diferença das outras frações em relação à amostra original, de acordo com procedimentos descritos pela EMBRAPA (1997).

4.4 Caracterização química

A caracterização química dos solos foi realizada de acordo com procedimento metodológico descrito pela EMBRAPA (1997), conforme discriminado a seguir:

4.4.1 pH em água e em solução KCl 1 mol L⁻¹

Medição eletroquímica da concentração efetiva de íons H⁺ na solução do solo, por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo:água e solo:solução 10 g:25 ml com tempo de contato mínimo de uma hora e agitação da suspensão imediatamente antes da leitura.

4.4.2 Cálcio e magnésio trocáveis

Extraídos com solução KCl 1 mol L⁻¹, na proporção solo:extrator 10 g:100 ml e quantificados por titulometria pelo método complexométrico com emprego de EDTA;

4.4.3 Potássio e sódio disponíveis

Extraídos com solução HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ na proporção solo:extrator 10 g:100 ml e quantificados por fotometria de chama;

4.4.4 Alumínio trocável

Extraído com solução KCl 1 mol L⁻¹, na proporção solo:extrator 10 g:100 ml e quantificado por titulometria com solução NaOH 0,025 mol L⁻¹;

4.4.5 Acidez potencial (H + Al)

Extraída com solução acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ pH 7,0 na proporção solo:extrator 5 g:75 ml e quantificada por titulometria com solução NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$.

4.4.6 Fósforo disponível.

Extraído com solução HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ na proporção solo:extrator 10 g:100 ml quantificado espectrofotometricamente, por meio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico, produzido pela redução do molibdato com o ácido ascórbico, segundo o método do ácido ascórbico, descrito por Kuo (1996).

4.5 Carbono orgânico total

O carbono orgânico total foi determinado mediante oxidação com dicromato de potássio $0,4 \text{ mol L}^{-1}$ em meio ácido, sem aquecimento externo, e a quantificação foi feita por titulometria com sulfato ferroso amoniacal $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. O resultado foi convertido para teor de MOS, multiplicando-se pelo fator 1,724.

4.6 Mineralogia

Separaram-se as frações argila e areia total de acordo com procedimento metodológico descrito pela EMBRAPA (1997) para análise de difração de raios-X no

Laboratório de Difractometria de Raios-X da UFAM. Após a separação das duas frações, foram preparadas lâminas. Foram separados também o material magnético de amostras de dois solos (Comunidade S. J. Batista e Pilão), e o material pesado também de dois solos (Comunidade S. J. Batista e Jacuruxí). O magnético foi retirado da fração areia total e o pesado, da fração areia média (0,250 - 0,125mm), obtida utilizando-se um jogo de peneiras apoiado sobre um agitador (Figura 7), e agitada por 15 min.

A separação magnética foi realizada pela aplicação de um campo magnético com um imã de mão (Figura 8B). A separação dos minerais pesados foi feita por meio de líquido denso (EMBRAPA, 1997), utilizando-se o Bromofórmio, que tem densidade $2,89 \text{ g/cm}^3$. Então, as partículas de peso específico superior ao líquido denso decantaram (Figura 8A) e, posteriormente, foram recolhidas, lavadas e secas a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ para realização das análises.

Após a separação, procedeu-se à difratometria de raios-X da fração argila de acordo com procedimentos descritos por Whittig e Allardice (1986) e USDA (1996). Os difratogramas foram obtidos a uma velocidade do goniômetro de $2 \text{ }^\circ 2\theta/\text{min}$ com amplitude de $3 \text{ a } 60 \text{ }^\circ 2\theta$. O difratograma, equipado com tubo de cobre e filtro de níquel, utilizando radiação $\text{CuK}\alpha$, foi operado a 25 mA e 35 kV para todas as análises. As frações areia total, magnéticos e pesados, foram trituradas em almofariz de ágata e as lâminas preparadas em pó e analisadas sob as mesmas condições descritas para fração argila.

Neste estudo, foram selecionadas duas profundidades de cada solo estudado, de maneira que foi analisada uma amostra da camada superficial e outra da camada subsuperficial.



Figura 7: Agitador de peneiras onde foi realizado o peneiramento das amostras para obtenção da fração areia média (0,0250-0,0125mm), no laboratório de Geografia Física/UFAM.

Foto: Silva, 2008

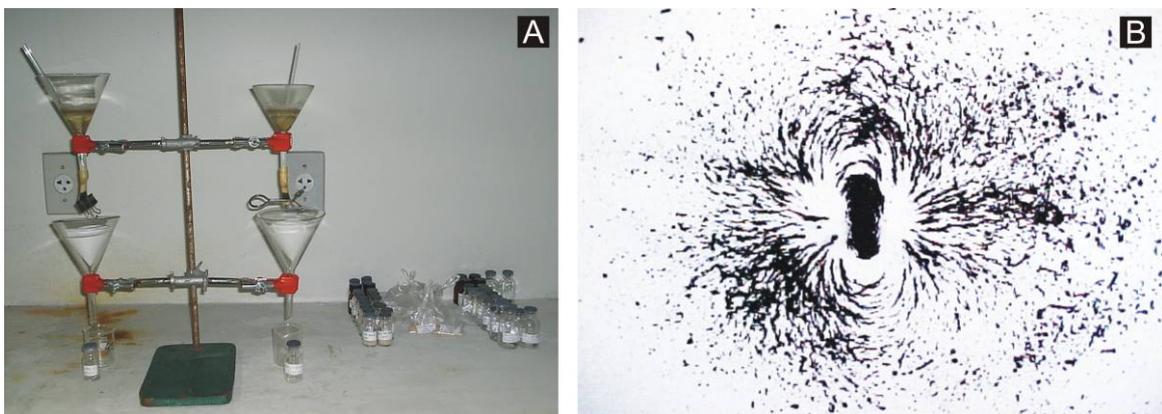


Figura 8: A) Colunas de separação de minerais pesados dos leves por meio de bromofórmio e B) Separação de minerais opacos ferromagnéticos com ímã de mão. Laboratório de Geoquímica/UFAM.

Foto: Motta, 2008.

4.7 Ataque sulfúrico

Amostras de 1 g de TFSA foram solubilizadas por 20 ml de solução H_2SO_4 9 mol L^{-1} aquecidas e fervidas por 30 minutos, usando-se condensador de refluxo para evitar evaporação, seguindo-se resfriamento, diluição com água destilada e filtragem. No filtrado, foram quantificados os teores de Al, Fe, e P. O resíduo foi solubilizado com solução de NaOH para dosagem do Si (EMBRAPA, 1997).

Os teores dos elementos foram convertidos para a forma de óxidos (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , P_2O_5 e SiO_2) e as relações moleculares K_i , K_r e $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ foram calculadas mediante as fórmulas $K_i = \% \text{SiO}_2 \times 1,7/\% \text{Al}_2\text{O}_3$; $K_r = \% \text{SiO}_2 \times 1,7/\% \text{Al}_2\text{O}_3 + (\% \text{Fe}_2\text{O}_3 \times 0,64)$; e $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 = \% \text{Al}_2\text{O}_3 \times 1,57/\% \text{Fe}_2\text{O}_3$.

Da mesma forma que foi feita para a difratometria de raios-X no item anterior, nesta análise também foram examinadas amostras da camada superficial e subsuperficial.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Textura e matéria orgânica do solo (MOS)

Os solos avaliados (Quadro 1) revelaram composição granulométrica com teores mais elevados de argila e teores relativamente elevados de silte nos solos de terra firme (Lago do Limão, Pilão, Comunidade S. J. Batista e Ena). O sítio Jacuruxí apresentou os teores mais elevados da fração silte chegando a 633 g kg^{-1} , e também baixos teores de argila. Ressalta-se, no entanto, que os valores elevados de silte nas áreas de terra firme podem ser atribuídos à ineficiência do método de dispersão. No sítio localizado no ambiente de várzea Lauro Sodré, observou-se teores elevados das frações silte e areia, chegando a 491 g kg^{-1} , o que revela o baixo grau de pedogênese desse ambiente. De acordo com Lima (2001), solos de várzea, normalmente, possuem teores elevados de silte e de areia fina.

Lima (2001), avaliando a composição granulométrica de Terras Pretas e solos adjacentes na Amazônia, não observou diferenças significativas nos resultados obtidos. Característica física também reportada por Lehmann *et al.* (2006), ao tratar da composição granulométrica de Terras Pretas e solos adjacentes, reafirmando essa característica entre os dois ambientes.

Quadro 01 - Composição granulométrica e matéria orgânica do solo (MOS) dos solos avaliados

Profundidade Cm	Areia	Silte	Argila	MOS
----- g kg ⁻¹ -----				
Comunidade S. João Batista – Terra Preta				
0-20	489	261	250	59,8
20-40	450	266	284	49,0
Sítio Ena – Terra Preta				
0-20	436	406	162	30,6
40-60	305	333	362	57,0
60-80	247	359	394	50,0
Sítio Lauro Sodré – Terra Preta				
0-20	406	436	156	16,6
140-160	299	491	210	15,6
Sítio Jacuruxi – Terra Preta				
10-20	320	524	156	27,5
20-30	288	534	178	23,4
40-50	209	633	158	08,3
Sítio Pilão – Terra Preta				
0-10	121	407	472	105,0
10-20	125	411	464	77,0
110-120	44	94	862	6,0
Sítio Lago do Limão – Terra Preta				
10-20	314	362	324	62,6
100-110	124	150	724	9,8

Os teores de matéria orgânica do solo (MOS) nas Terras Pretas se apresentaram mais elevados nas áreas de terra firme chegando ao nível de 105 g kg⁻¹ no sítio Pilão. No entanto, no sítio da área de várzea Lauro Sodré e do Sítio Jacuruxí, observaram-se os menores teores.

A cor preta das TPI's de acordo com Smith (1980) é atribuída, principalmente, aos resíduos de queimadas. Conteúdo elevado de carvão e matéria orgânica do solo (MOS) foram observados por Glaser *et al.* (1999 e 2000), avaliando as Terras Pretas.

A estabilidade da cor escura, após prolongado período de exposição, é atribuído às condições de clima tropical quente e úmido com chuvas torrenciais como fato extraordinário (SMITH, 1980).

5.2 Característica química

Algumas das características químicas dos seis solos estudados são apresentadas nos quadros 2 e 3.

5.2.1 pH em água e em solução KCl

Os valores de pH em água dos solos avaliados variaram entre 4,3 e 7,05 (Quadro 2) e, de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2006), a maioria das amostras analisadas são consideradas moderadamente ácidas, apresentando valores entre 5,4 e 6,5. Ressalta-se que não foram observadas nas amostras analisadas valores correspondentes à extrema acidez, bem como a fortemente alcalino. Por outro lado, os valores de pH em KCl variaram entre 3,5 e 5,1 e em todas as amostras analisadas os valores foram inferiores àqueles de pH em água, evidenciando predomínio de carga superficial líquida negativa, tanto em superfície, quanto em profundidade. Valores semelhantes também foram observados por Smith (1980), Éden *et al.* (1984), Kern e Kämpf (1989), Falcão *et al.* (2001), Falcão e Borges (2006) em terras pretas de vários locais da Amazônia.

O valor mais elevado de pH em água 7,05 (Quadro 2) foi observado no Sítio de várzea na Comunidade Lauro Sodré e o menor valor de pH na Terra Preta do

sítio Jacuruxí, revelando um caráter fortemente ácido, com valores de pH em água inferiores a 5,0 em todas as profundidades.

5.2.2 Alumínio trocável (Al^{3+}) e Acidez Potencial (H + Al)

Os teores de Al^{3+} observados nos solos chegaram em muitos casos a apresentar valor zero (Quadro 2), sendo observado também valores de 1 a 1,59 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ apenas na profundidade entre 40-60 cm e 60-80 cm no Sítio Ena à medida que se afasta em profundidade da influência do horizonte antrópico. Valores elevados também foram observados no sítio Jacuruxí variando entre 2,38 e 5,64 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Quadro 2) em todo o perfil analisado.

Os teores elevados de Al^{3+} provavelmente se devem aos valores de pH, que nos solos onde esses valores foram inferiores a 5,30, resultaram em menores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} (Quadro 2). Não foram observadas diferenças expressivas nos valores de H+Al, determinados a pH 7,0 na maioria dos solos analisados. No entanto, no solo dos sítios Ena e Lauro Sodré observaram-se baixos valores de acidez potencial.

5.2.3 Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) trocáveis e Potássio (K^+) disponível

Conforme se observa no quadro 2, os teores de Ca^{2+} variaram entre 0,05 e 25 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, sendo que o sítio Lago do Limão foi o que apresentou o teor mais elevado neste elemento, chegando a 25 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na profundidade de 10-20 cm. De forma geral, os teores de Ca^{2+} foram elevados nos solos de sítios arqueológicos estudados, exceto para o solo do sítio Jacuruxí, onde os resultados observados

mostraram os teores mais baixos neste elemento, apresentando teores variando entre 0,05 e 0,13 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, o que pode ser atribuído, neste caso, ao menor aporte de resíduo, como evidenciaram outras variáveis, tais como teor de P (Quadro2).

Os teores de Mg^{2+} de forma geral nos solos avaliados, variaram entre 0,02 e 6,23 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Observa-se que, o sítio Lauro Sodré (Quadro 2) mostrou os teores mais elevados, variando de 1,73 a 6,23 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Por outro lado, no solo do sítio Jacuruxí foram observados os menores teores de Mg^{2+} , variando entre 0,02 e 0,08 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e, a exemplo de outras variáveis, tais como K^+ , Ca^{2+} e P (Quadro 2), nesse ambiente os atributos químicos apresentados revelaram a menor disponibilidade desses elementos dentre os solos avaliados.

O K^+ trocável apresentou teores baixos em todos os solos estudados, o que pode ser atribuído à mobilidade deste elemento no solo relacionado a processos de erosão e/ou lixiviação em decorrência do alto índice pluviométrico na região.

5.2.4 Fósforo disponível (P) (Mehlich-1)

O Quadro 2 mostra que os teores de P nos solos foram muito elevados, variando entre 42 e 955 mg kg^{-1} P disponível (Mehlich-1). Os teores mais elevados de P foram observados na maioria dos solos analisados, em posição mais profunda: 926 mg kg^{-1} na profundidade de 20-40 cm na comunidade S. J. Batista, 861 mg kg^{-1} na profundidade de 140-160 cm no sítio Lauro Sodré, 113 mg kg^{-1} na profundidade de 30-40 cm no sítio Jacuruxí, 881 mg kg^{-1} na profundidade de 30-40 cm no sítio Pilão e variou entre 955 a 855 mg kg^{-1} nas profundidades de 20-30 e 30-40, respectivamente, no sítio Lago do Limão, no entanto, a única exceção neste estudo foi para o solo do sítio Ena, onde se observou o teor mais elevado de P na camada

superficial 0-20 cm. O que pode ser atribuído a menores perdas por erosão e devido ao uso agrícola atual do solo, com menor depleção do P em superfície.

Observa-se que, à medida que se afasta da influência do Horizonte A antrópico em profundidade, ocorre o decréscimo dos teores de P (Quadro 2), o que não se pode afirmar apenas no caso do sítio Lauro Sodré, por ser um caso a parte, e como foi mencionado anteriormente, o Horizonte A antrópico desse solo está na várzea sob camadas de deposição de um Neossolo a 160 cm de profundidade, exatamente a profundidade desse perfil analisado. Neste caso, é onde também foi observado o teor mais elevado de P no perfil do solo.

O teor mais elevado de P entre todos os solos avaliados foi observado no sítio Lago do Limão, chegando a 955 mg kg^{-1} , e o menor valor no sítio Jacuruxí 42 mg kg^{-1} . No entanto, este valor observado no sítio Jacuruxí, ainda é considerado elevado, principalmente em relação aos valores observados na maioria dos solos bem drenados de terra firme da Amazônia.

Outros estudos observaram teores elevados de fósforo em Terras Pretas (Smith, 1980,; Kern e Kampf, 1989,; Lima *et al.*, 2002). Vale ressaltar, no entanto, que em seu estudo Tucci *et al.* (1992) não encontraram correlação entre fósforo disponível pelo extrator (Mehlich-1) e fósforo disponível para as plantas.

Conforme exemplo já observado (KERN e KÄMPF, 1989), os teores mais elevados de P não ocorreram na parte mais superficial do solo, mas em posição mais profunda. Esta variação em profundidade pode ser atribuída ao abandono temporário do Sítio, à mudança no tamanho da população ou à forma de subsistência (SJOBERG, 1976), ou ainda pode resultar de lixiviação, em decorrência dos teores elevados de P, das perdas por erosão e do uso agrícola atual com depleção do P em superfície (LIMA, 2001).

A matéria orgânica pode estar contribuindo para retenção de fósforo, nos horizontes antrópicos das TPI's. O teor de MOS determina a qualidade do solo, bem como a sustentabilidade da produção agrícola (SANTOS e CAMARGO, 1999). De acordo com (NOVAIS e SMITH, 1999), dado o seu caráter aniônico a MOS pode favorecer a adsorção de P, por intermédio de íons Al, Fe e Ca, a ela adsorvidos. Lima (2001), reforça essa ideia através de estudos revelando teores relativamente elevados de P ligado a frações ácido fúlvico e ácidos húmicos em horizontes antrópicos de Terras Pretas.

O fósforo (P) nas Terras Pretas tem sua origem através dos aportes antrópicos por resíduos orgânicos acumulados e incorporados nos solos. Os resíduos incorporados no solo são, de acordo com (SMITH, 1980), de origem orgânica (urina, fezes, tecidos de animais e vegetais e ossos), de forma que a fonte primária de P e Ca seriam atribuídas a ossos de animais (e, possivelmente, humanos), espinhas de peixe e carapaças de quelônios.

Quadro 02 – Característica química dos solos avaliados

Prof. (cm)	pH		P ----- mg kg ⁻¹ -----	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺ ----- cmol _c kg ⁻¹ -----	H + Al
	H ₂ O	KCl							
Comunidade S. João Batista– Terra Preta (terra firme)									
0-20	5,53	4,41	741	50	22	7,71	0,99	0,00	18,31
20-40	5,64	4,39	926	37	27	8,04	0,73	0,00	16,84
Sítio Ena – Terra Preta (terra firme)									
0-20	5,67	4,69	685	101	18	8,07	0,42	0,00	8,35
20-40	6,00	4,59	185	34	14	7,44	0,30	0,00	5,23
40-60	5,22	3,79	47	21	3	3,24	2,95	1,59	7,67
60-80	5,30	3,96	23	25	3	3,23	0,87	1,00	6,24
Sítio Lauro Sodré – Terra Preta (várzea)									
0-20	5,61	4,29	91	44	36	6,69	2,00	0,00	4,62
20-40	6,21	4,16	106	42	40	6,51	2,18	0,00	1,54
40-60	6,83	4,30	176	38	31	5,18	1,73	0,00	1,07
60-80	7,05	4,35	138	42	43	7,95	4,69	0,00	2,17
80-100	6,93	4,36	116	52	53	10,74	6,23	0,00	1,63
100-120	6,95	4,48	141	52	55	8,94	5,16	0,00	1,02
120-140	6,81	4,88	766	61	69	10,43	4,54	0,00	3,17
140-160	6,80	5,12	861	54	110	12,45	3,82	0,00	5,12
Sítio Jacuruxi – Terra Preta (terra firme)									
10-20	4,46	3,80	42	17	4	0,13	0,08	2,41	15,64
20-30	4,76	3,97	97	10	4	0,06	0,05	2,38	15,21
30-40	4,57	3,94	113	8	3	0,07	0,04	2,48	15,85
40-50	4,32	3,67	101	7	3	0,05	0,02	3,92	14,22
50-60	4,38	3,55	76	8	3	0,06	0,02	5,64	14,80
Sítio Pilão – Terra Preta (terra firme)									
0-10	5,11	4,81	792	60	18	18,48	3,05	0,00	15,25
10-20	5,48	4,83	854	28	19	5,12	2,02	0,00	13,69
30-40	5,74	4,75	881	16	17	11,88	1,18	0,00	12,82
50-60	5,77	4,63	634	15	11	9,48	0,59	0,00	11,03
70-80	5,75	4,41	176	8	4	7,95	0,34	0,00	9,73
80-90	5,64	4,33	159	6	3	6,54	0,26	0,00	8,51
110-120	5,65	4,14	169	4	3	4,94	0,19	0,00	7,34
Sítio Lago do Limão – Terra Preta (terra firme)									
10-20	5,67	5,11	808	32	31	25,00	2,37	0,00	11,24
20-30	5,90	4,90	955	27	36	16,74	0,81	0,00	13,30
30-40	5,76	4,75	825	24	39	15,56	0,43	0,00	14,52
40-50	5,91	4,76	748	25	36	15,16	0,27	0,00	13,28
50-60	5,85	4,76	751	18	22	13,44	0,24	0,00	10,53
60-70	5,96	4,67	456	14	12	9,72	0,15	0,00	10,43
70-80	5,66	4,56	305	11	9	7,52	0,13	0,00	8,74
80-90	5,55	4,38	251	7	3	5,56	0,10	0,00	7,94
90-100	5,56	4,35	222	7	3	5,36	0,11	0,00	8,01
100-110	5,50	4,27	184	6	2	4,56	0,12	0,00	7,15

5.3 Soma de Bases (SB), capacidade de troca cátions (t e T), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m).

Os resultados observados nos atributos soma de bases e saturação por bases, são apresentados no quadro 3 e se observa que os valores de V variaram entre 0,76 e 93,4%. Os valores de V observados foram acima de 50% nas camadas superiores dos sítios Ena (0-20 e 20-40 cm), Pilão (0-10 e 30-40 cm) e Lago do Limão, entre (10-20 e 50-60 cm), revelando caráter eutrófico. Os mesmos apresentaram ainda baixos valores de saturação por alumínio (m). Por outro lado, à medida que se afasta em profundidade do horizonte antrópico nesses solos, os valores de V ficaram abaixo de 50%. E conforme se observa no solo do sítio Ena, nas profundidades entre 40 e 60 cm, os valores de V ficaram abaixo de 50 % e os valores de saturação por alumínio (m) se elevaram (Quadro 3).

O Sítio Lauro Sodré apresentou valores acima de 50% em todo o perfil analisado, revelando caráter eutrófico, inclusive no Horizonte A antrópico a 160 cm de profundidade na várzea. No solo do sítio Jacuruxí, que está inserido na paisagem em ambiente com deficiência de drenagem, em relação a estes atributos observou-se valores de V variando entre 0,76 e 1,7% (Quadro 3), mostrando o menor valor de V entre os sítios analisados não ultrapassando 2%, mesmo nas camadas superficiais. Por outro lado, os valores de saturação por alumínio (m) variarão entre 89,9 e 98,0%, revelando caráter álico em todo o perfil analisado.

O sítio Comunidade São João Batista apresentou valores de V variando entre 32,7 e 34,7% (Quadro 3), não chegando a 50% nas profundidades avaliadas, inclusive nos horizontes superficiais, entretanto, estes valores são considerados elevados quando comparados com a maioria dos solos de terra firme da Amazônia, onde se observa valores de V muito inferiores a este.

Quadro 03 - Soma de bases (SB), capacidade de troca cátions (t e T), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m).

Prof. Cm	SB	T	T	V	m
	----- cmol _c /dm ³ -----			----- %-----	
Comunidade S. João Batista– Terra Preta					
0-20	8,92	8,92	27,23	32,77	0,00
20-40	8,98	8,98	25,82	34,79	0,00
Sítio Ena – Terra Preta					
0-20	8,83	8,83	17,17	51,40	0,00
20-40	7,89	7,89	13,12	60,14	0,00
40-60	3,28	4,86	10,95	29,93	32,64
60-80	4,18	5,17	10,42	40,10	19,25
Sítio Lauro Sodrê – Terra Preta					
0-20	8,96	8,96	13,58	65,98	0,00
20-40	8,97	8,97	10,51	85,34	0,00
40-60	7,14	7,14	8,21	87,01	0,00
80-100	17,33	17,33	18,97	91,39	0,00
100-120	14,47	14,47	15,49	93,44	0,00
120-140	15,43	15,43	18,60	82,95	0,00
140-160	16,89	16,89	22,01	76,72	0,00
Sítio Jacuruxi – Terra Preta					
10-20	0,27	2,68	15,91	1,70	89,90
20-30	0,15	2,53	15,36	1,00	93,95
30-40	0,14	2,63	15,99	0,90	94,54
40-50	0,10	4,02	14,32	0,70	97,49
50-60	0,11	5,75	14,91	0,76	98,03
Sítio Pilão – Terra Preta					
0-10	21,76	21,77	37,01	58,79	0,00
30-40	13,17	13,17	26,00	50,68	0,00
50-60	10,16	10,16	21,18	47,95	0,00
70-80	8,33	8,33	18,06	46,12	0,00
80-90	6,83	6,83	15,34	44,53	0,00
100-110	5,59	5,59	13,52	41,35	0,00
110-120	5,15	5,15	12,50	41,24	0,00
Sítio Lago do Limão – Terra Preta					
10-20	27,59	27,59	38,82	71,06	0,00
20-30	17,78	17,78	31,07	57,20	0,00
30-40	16,22	16,22	30,74	52,77	0,00
50-60	13,82	13,82	24,35	56,76	0,00
60-70	9,96	9,96	20,39	48,84	0,00
70-80	7,72	7,72	16,46	46,90	0,00
80-90	5,69	5,69	13,63	41,74	0,00
100-110	4,70	4,70	11,86	39,67	0,00

5.4 Mineralogia

5.4.1 Componentes minerais presentes na fração argila e areia total

A análise da mineralogia dos solos estudados, por meio da difratometria de raios-X (DRX), revela que nas frações argila e areia total, caulinita e quartzo respectivamente, são os minerais predominantes nos solos dos sítios arqueológicos de terra firme, de acordo com os difratogramas obtidos (Figuras 9A, 10A e 11), revelando que a mineralogia da fração argila desses solos é dominada por caulinita, à semelhança do que se observa normalmente nos solos de terra firme fortemente intemperizados da Amazônia, mostrando não haver diferença qualitativa significativa. Foram identificados ainda, em menor proporção, picos de goethita e anatásio.

A fração areia dos mesmos solos por ser dominada por quartzo, o que indica em todos os casos a inexistência de reservas de nutrientes na fração mais grosseira dos solos. Esse resultado, não difere daqueles observados por LIMA *et al.* (2002), sobre a mineralogia da fração argila e areia das Terras Pretas na Amazônia.

Conforme observado por Bechtold (1982), *apud* ZECH *et al.* (1990) não se encontram diferenças na composição mineralógica da fração argila das TPs e dos solos adjacentes. Lima (2001), estudando TPI's e solos adjacentes, observou o domínio da caulinita, óxidos de ferro, essencialmente goethita e hematita, e óxidos de titânio em pequena magnitude, nos dois ambientes. De acordo com este autor essas evidências mineralógicas mostram que as alterações provocadas pela ação humana não foram suficientes para mudar a composição mineral da fração argila dos sítios.

Estudos realizados por (LEHMANN *et al.*, 2006) sobre a mineralogia da fração argila de TPI e solos adjacentes, também revelaram características semelhante nos dois ambientes, com predomínio total da argila caulinítica 1:1.

Os resultados apresentados reforçam a hipótese de que as Terras Pretas tem a origem a partir da mesma matriz mineral dos solos bem drenados de terra firme na Amazônia, neste caso as diferenças que apresentam em relação aos solos da mesma superfície seriam resultantes da atividade antrópica.

Comunidade São João Batista

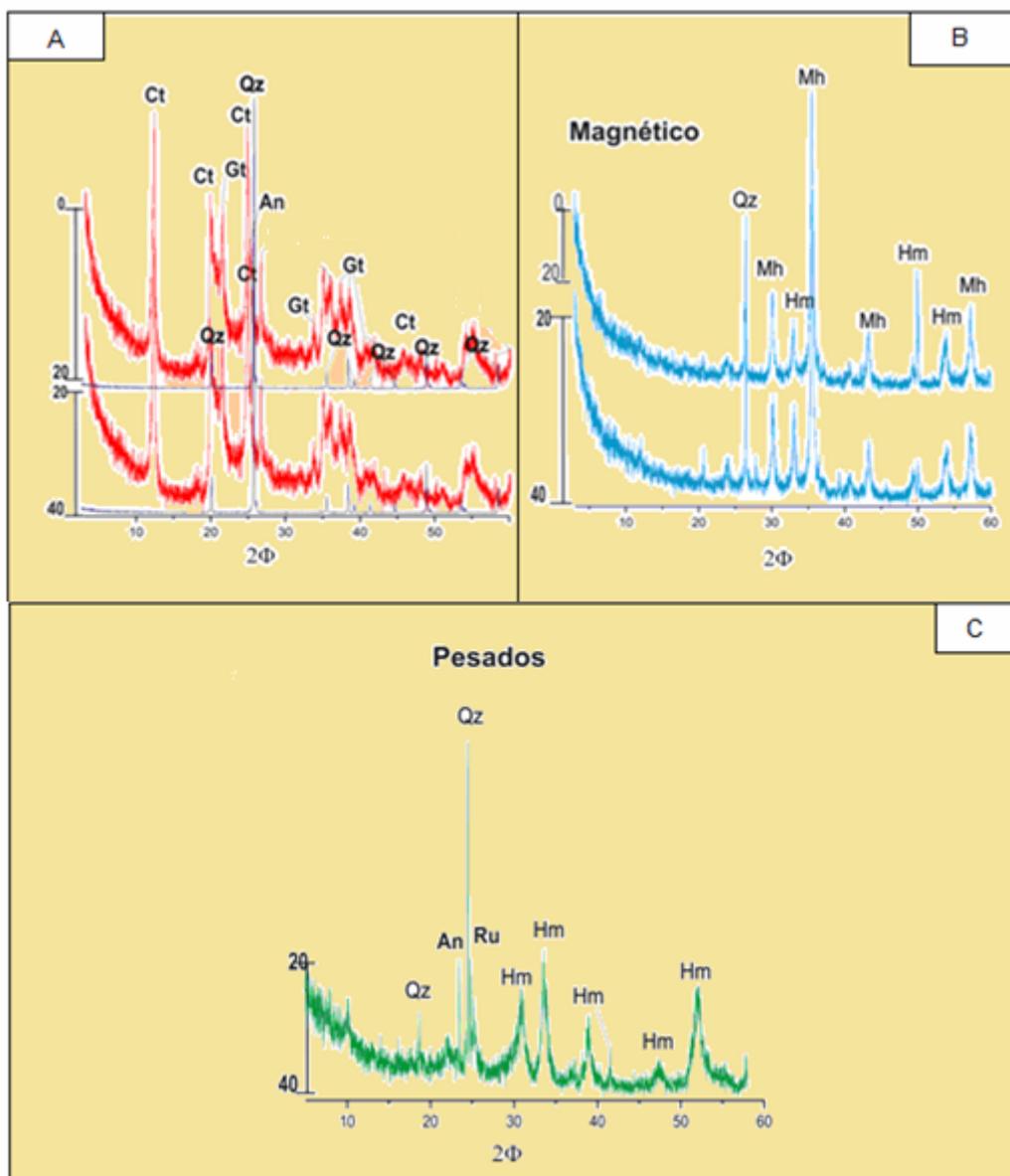


Figura 9: (A) DRX da fração argila  e areia total  (Ct= caulinita, Qz= quartzo, An= antásio, Gt= goethita); (B) Magnéticos da fração areia: (Mh= maghemita, Hm= hematita, Qz= quartzo); (C) Pesados da fração areia média (0,250-0,125mm): (Qz= quartzo, An= anatásio, Ru= rutílo, Hm= hematita).

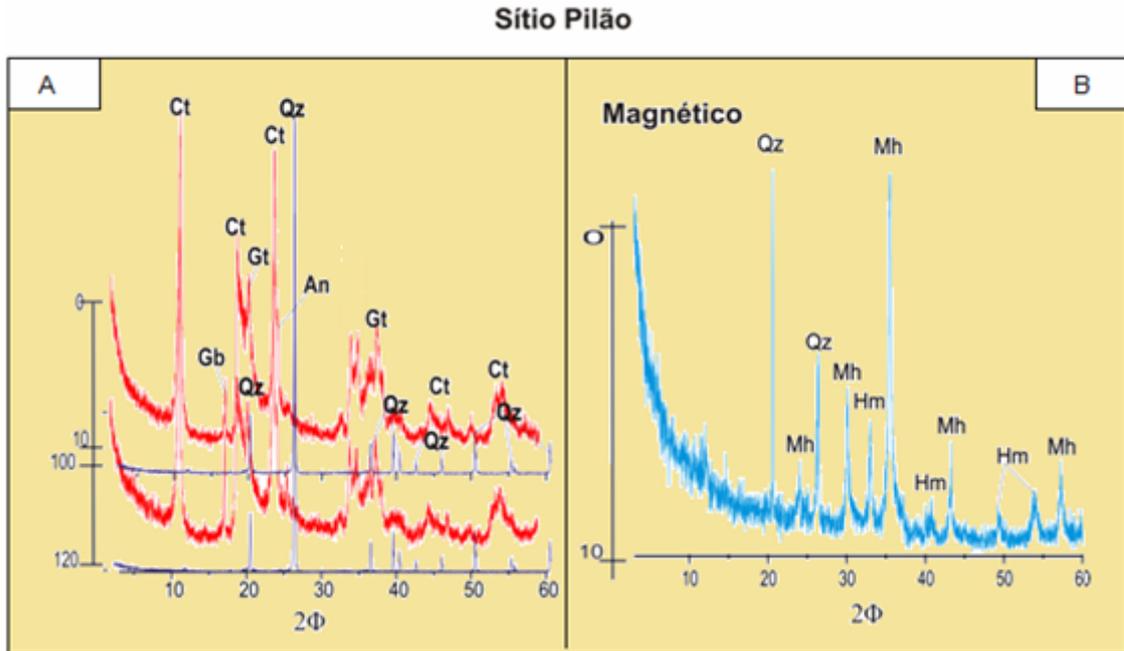


Figura 10: (A) DRX da fração argila  e areia total  (Ct= caulinita, Qz= quartzo, An= antásio, Gt= goethita e Gb= gibsitita); (B) Magnéticos da fração areia: (Mh= maghemita, Hm= hematita, Qz= quartzo).



Figura 11: DRX da fração argila  e areia total 

A mineralogia da fração argila, observada no solo do sítio arqueológico da planície aluvial “vázee” (Sítio Lauro Sodré), revelou uma composição mineral mais heterogênea (Figura 13), refletindo nos difratogramas uma maior diversidade de minerais com picos de caulinita, goethita e também minerais do tipo 2:1. Por outro lado, a composição mineral da fração areia apresentou o predomínio do mineral quartzo, e em menor proporção detectou-se também a presença de anortita (At). Da mesma forma, o sítio Ena (Figura 14), também apresentou uma composição mineral variada, refletindo no difratograma da fração argila picos de gibsita, goethita, anatásio, mineral 2:1 e em maior proporção a caulinita.

Caulinita e goethita constituem os principais componentes minerais da fração argila do solo do sítio Jacuruxí (Figura 12A). A fração areia deste mesmo solo (Figura 12A) apresentou o domínio total do mineral quartzo.

As condições de drenagem, resultantes das características ambientais e da granulometria fina dos sedimentos originais, condicionaram um processo de intemperismo menos acentuado do que aquele normalmente observado nos solos bem drenados, o que resulta em perfis mais rasos e de maior riqueza de componentes minerais, quando comparados com os solos bem drenados.

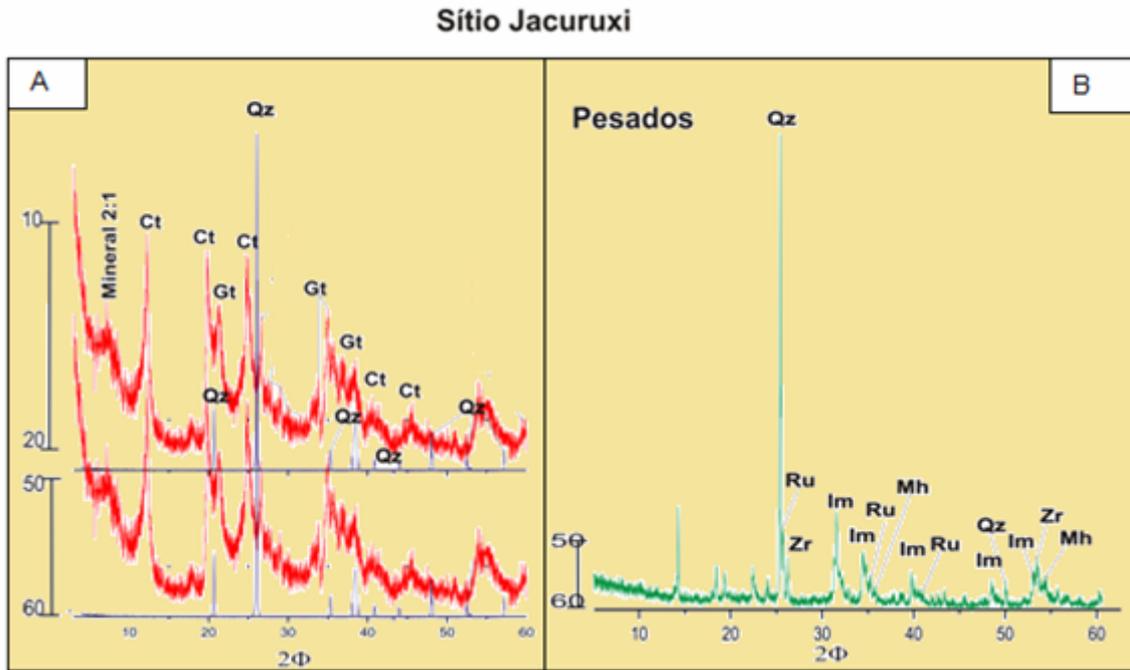


Figura 12: (A) DRX da fração argila e areia total (Ct= caulinita, Qz= quartzo, Gt= goethita e mineral 2:1); (B) DRX da fração pesada (Mh= maghemita, Im= ilmenita, Zr= zircônio e Ru= rutilo).

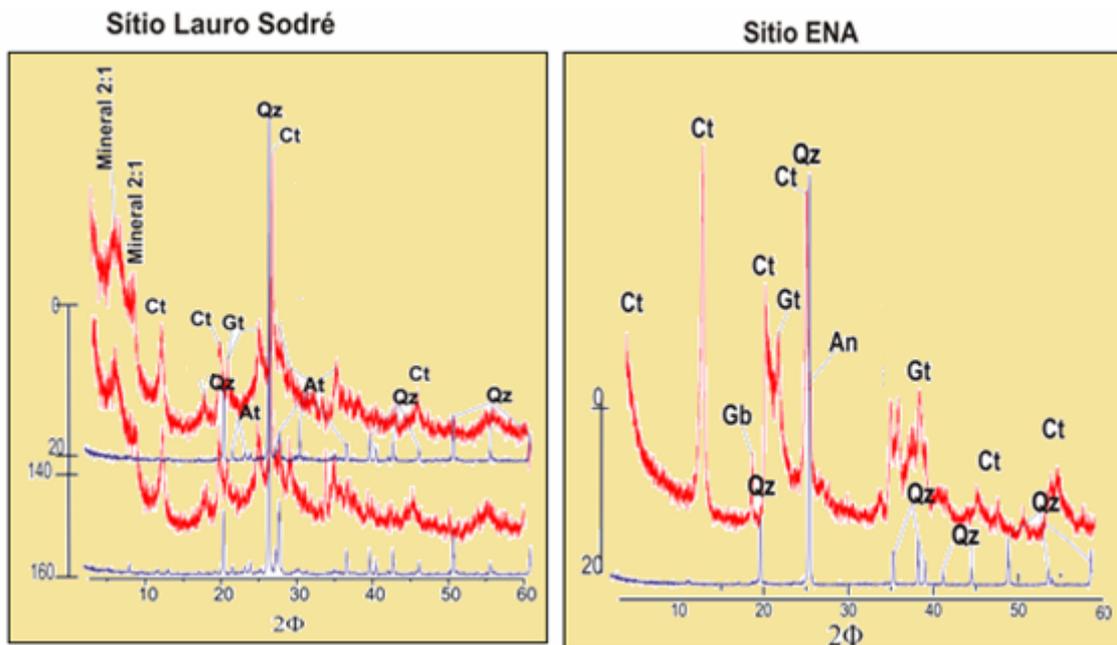


Figura 13: DRX da fração argila e areia total (Ct= caulinita, Qz= quartzo, Gt= goethita, mineral 2:1 e At= anortita).

Figura 14: DRX da fração argila e areia total (Ct= caulinita, Qz= quartzo, An= anastásio Gt= goethita e Gb= gibsita).

5.4.2 Componentes minerais pesados e magnéticos presentes na fração areia

Na análise de minerais pesados separados por meio de líquido denso (Bromofórmio) da fração areia média (0,250-0,125mm) dos solos avaliados, detectou-se nos difratogramas a presença dos minerais hematita, rutilo e anatásio no solo do sítio Comunidade S. J. Batista (Figura 9C). E no difratograma do sítio Jacuruxí (Figura 12B) foi detectada a presença de rutilo, ilmenita, zircão e maghemita, nesta fração ainda, foi detectado o pico de um mineral o qual não foi possível sua identificação pela DRX.

A mineralogia revelou a ausência de hematita (Hm) na fração argila de todos os solos avaliados neste estudo, no entanto, foi detectada sua presença nos componentes minerais pesados e magnéticos da fração areia do sítio Comunidade S. J. Batista (Figuras 9B e 9C), e na fração pesada do sítio Pilão (Figura 10B). Estudando solos do Cerrado Gomes *et al.* (2007), também observou a ausência de hematita (Hm) na fração argila, sendo detectada sua presença na fração pesada e magnética da fração areia. Podendo também estar associada aos agregados resistentes à dispersão química.

A análise da fração magnética, que foi obtida por separação pela aplicação de um campo magnético com imã de mão nas frações areia de dois solos do presente estudo, revelou a presença de hematita (Hm) e maghemita (Mh), como pode ser observada nos difratogramas dos solos dos sítios Comunidade S. J. Batista (Figura 9B) e Pilão (Figura 10B).

A presença dos minerais maghemita (Mh) e hematita (Hm) têm sido observadas em outros estudos; Costa *et al.* (2004) estudando a composição mineralógica de cerâmicas em sítios arqueológicos com Terra Preta no Baixo

Amazonas, observaram maghemita (Mh), goethita (Gt) e hematita (Hm) como óxidos de ferro abundantes nas frações ricas em cariapé, sendo que a hematita é sempre mais freqüente, de acordo com esses autores hematita e maghemita seriam produtos formados por aquecimento a partir da goethita de cerâmicas durante o cozimento, para tanto a fonte de matéria orgânica seriam os temperos (cauixi e cariapé) que eram adicionados no processo de confecção desses artefatos.

Em outro estudo Sérgio *et al.* (2006) obtiveram o material magnético das frações grosseiras do solo e de cerâmicas, e detectaram nessas amostras a presença de hematita e maghemita. De acordo com os autores o estudo mostrou que a maghemita encontrada na cerâmica possui as mesmas características que a do solo, e, portanto teriam a mesma origem.

Gomes *et al.* (2007), relatam que a origem da maghemita nos solos Plínticos, provavelmente, pode estar relacionada à degradação das glébulas feruginosas atingindo o tamanho da fração argila.

Estudos revelando mudanças mineralógicas nos solos por efeito do fogo, foram reportados por Kttering *et al.* (2000), *apud* (BERNDT, 2008) onde os autores observaram que nas temperaturas próximas a 600 °C ocorreu transformação de goethita para maghemita. Os autores destacam ainda, a importância da matéria orgânica durante esse processo.

Portanto, tendo em vista os picos de difração observados no material magnético do presente estudo, em ângulos (distância interplanar (d)), estão mais próximos dos picos de difração da maghemita, e considerando a influência do fogo na presença de compostos orgânicos (SCHWERTMANN, 1985), podemos supor que a fase presente é de maghemita.

O uso do fogo e a fonte de material orgânico podem ter sido fator importante na formação das TPI's. As evidências mineralógicas apresentadas reforçam a hipótese de que as alterações ocorridas durante a gênese dos horizontes antrópicos das Terras Pretas tem origem pela ação humana.

5.5 Ataque sulfúrico

O Quadro 4 mostra os teores de Fe, Si, Al e P que foram obtidos através do ataque sulfúrico nas amostras analisadas. Os teores de ferro variaram entre 1,83 e 9,93%, revelando baixos teores de Fe_2O_3 , o que é normalmente observado na maioria dos solos Amazônicos. Ressalta-se que o menor teor de Fe_2O_3 1,83%, foi observado no sítio localizado em ambiente com deficiência de drenagem, resultado que indica redução e perda de Fe^{2+} por remoção no perfil, provavelmente influenciado pela flutuação do lençol freático nesse ambiente, conforme os valores observados (Quadro 4). Em relação aos valores de óxidos de silício não se observou grandes variações.

Com os valores de óxidos de Si, Fe e Al foram calculados os índices Ki e Kr, que mostraram valores variando entre 1,31 e 2,88. Os sítios de terra firme avaliados (Sítio Lago do limão, Pilão, Comunidade S. J. Batista e Ena) apresentaram os valores mais baixos dos índices Ki e Kr variando no índice Ki entre 1,31 e 2,04 (Quadro 4), o que indica solos com grau mais elevado de intemperismo, portanto, solos mais desenvolvidos, o que ocorre normalmente nos ambientes mais bem drenados de terra firme.

Quadro 04 - Ferro, alumínio, silício e fósforo no ataque sulfúrico, e, índices Ki e Kr nos solos avaliados

Prof. (cm)	SiO ₂ ----- %	Fe ₂ O ₃ ----- %	Al ₂ O ₃ ----- %	P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	Ki	Kr
Sítio Lauro Sodré – Terra Preta						
0-20	13,16	4,38	7,39	860	2,87	2,79
140-160	14,65	4,63	8,66	8840	2,88	2,94
Sítio Pilão – Terra Preta						
10-20	20,18	5,66	20,57	7870	1,67	1,42
110-120	33,95	7,93	33,25	3910	1,74	1,52
Sítio Ena – Terra Preta						
40-60	15,17	4,29	12,49	1630	2,06	1,69
60-80	16,88	5,12	14,35	940	2,00	1,63
Sítio Jacuruxi – Terra Preta						
10-20	6,20	1,83	5,18	1090	2,03	1,66
40-50	7,22	2,73	6,19	1420	1,98	1,55
Sítio Lago do Limão – Terra Preta						
10-20	14,18	8,13	18,34	8340	1,31	1,02
100-110	22,15	9,93	25,08	4840	1,50	1,20
Sítio Comunidade S. J. Batista – Terra Preta						
0-20	9,75	5,34	10,74	7710	1,54	1,17
20-40	9,59	5,43	10,19	7700	1,60	1,19

O valor mais elevados do índice Ki, variando entre 2,87 e 2,88, foi observado no solo do ambiente de várzea (sítio Lauro Sodré), revelando a presença de material menos intemperizado e o menor grau de pedogênese desse ambiente, portanto, caracterizando solo menos desenvolvido, quando comparados aos solos mais bem drenados e profundos da terra firme.

Os resultados de P-total no ataque sulfúrico (Quadro 4), revela a magnitude dos teores deste elemento nos solos de sítios arqueológicos. No sítio Lauro Sodré foi observado o maior teor de P-total apresentando níveis de 8840 mg kg⁻¹ de P₂O₅, e, conforme o exposto e discutido anteriormente no item fósforo, os valores mais elevados de P são normalmente observados nas TPI's em camadas subsuperficiais.

Ressalta-se, entretanto, que neste sítio o valor mais elevado ocorreu na profundidade de 160 cm onde se observou a cor mais escura e maior concentração de carvão no perfil (Figura 4), possivelmente é onde se encontra o Horizonte A antrópico deste sítio, o qual se encontra na várzea sob camadas de deposição de um Neossolo conforme discutido anteriormente.

Vale ressaltar, ainda, que no momento da coleta do solo foi encontrado ossos e carapaça de quelônio nessa profundidade de 160 cm, exatamente onde o teor de fósforo foi mais elevado no perfil, resultado que sugere ser esta a fonte primária de fósforo nos solos arqueológicos, idéia que é reforçada pelos estudos de fracionamento químico de fósforo realizado por Lima (2001), que observou o predomínio de P-ca em perfis de Terras Pretas na Amazônia, resultado considerado pelo autor como evidencia inequívoca da fonte original de P. Ainda de acordo com o mesmo autor, a fonte primária de P nas TPI's foram os resíduos incorporados aos solos pelas populações precolombianas, principalmente espinhas de peixes, ossos de mamíferos e carapaças de quelônios, e em alguns casos, possivelmente ossos humanos.

6 – CONCLUSÃO

1- Através dos atributos químicos (especialmente teor de fósforo e cálcio) e morfológicos (cor e presença de material cerâmico e lítico) dos horizontes superficiais, é possível distinguir as TPI's dos demais solos da mesma superfície geomórfica

2- Apesar de haver diferenças em alguns atributos químicos entre os solos Antrópicos da Amazônia (Terras Pretas de Índio) e os solos de maior ocorrência na região, a mineralogia da fração argila das TPI's da terra firme e várzea refletem o que se observa normalmente nesses ambientes, o que reforça a hipótese de origem antrópica.

4- A mineralogia da fração areia das Terras Pretas é dominada basicamente por quartzo. Enquanto a mineralogia dos componentes magnéticos e pesados presentes nesta fração é composta especialmente de maghemita e hematita.

7. REFERÊNCIAS

BERNDT, G. Transformações de óxidos de ferro em rocha basáltica em situações de intemperismo induzido. **Maringá**. UE, 2008. 137 p (Dissertação de mestrado)

BECHTOLD, G. **Terra Preta do Índio: Anorganisch-chemische kennzeichnung eines brasilianischen Anthohumoxes**. Ludwig-Maximilian-Universitaet Muenchen. 1998. Dissertação de mestrado.

COSTA, M. L.; KERN D. C.; PINTO, A. H. E.; SOUZA J. R. da T. The ceramic artifacts in archaeological black earth (terra preta) from lower Amazon region, Brazil: Mineralogy. **Acta Amazonica** Vol. 34(2) 2004: 165 - 178

COFFIN, D.E. A method for the determination of free iron in soils and clays. **Can. J. Soil Sci.**, Ottawa, 43:7-17, 1963.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. de M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. de O.; TROMPOWSKY, P. M.; SANTOS, G. de A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com Horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazonica**. Vol.37 No.1 Manaus, 2007.

DAEMON, R.F. Contribuição à datação da formação Alter do Chão. Bacia do Amazonas. **R. Brás. Geociênc.**, 5: 78-84, 1975.

DENEVAN, W.M. A bluff model of riverine settlement in prehistoric Amazonia. **Annals of the Association of American Geographers**, 86:654-681, 1996.

EDEN, M.J., BRAY, W.; HERRERA, L.; McEWAM, C. Terra Preta Soils and their archaeological context in the Caquetá Basin of Southeast Columbia. **American Antiquity**, 49:125-140,1984.

EMBRAPA. **Manual e métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro. 2. ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. 212p. (EMBRAPA–CNPq. Documentos 1)

FALCÃO, N. P. S.; BORGES, L. F. Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão hawaí (*Carica papaya* L.). **Acta Amazonica**. VOL. 36(4) 2006: 401 – 406.

FALCÃO, N. P. S.; Carvalho, E.J.M.; Comerford, N. Avaliação da Fertilidade de Solos Antropogênicos da Amazônia Central. *In: Congresso da Sociedade de Arqueologia Brasileira, XI*. Grupo de Trabalho: Terras Pretas Arqueológicas na Amazônia; estado da arte. Rio de Janeiro. 2001. 2 páginas.

FALESI, I. C. “O Estado Atual dos Conhecimentos sobre os Solos da Amazônia Brasileira (Part I Zoneamento Agrícola da Amazônia)”, **IPEAN Bol. Tec.** 54: 17-67. 1972.

FERREIRA, B. A.; FABRIS, J. D.; SANTANA, D. P.; CURI, N. *Iron oxides of sand and silt fractions in a Nitossolo developed from basalt*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2003, vol.27, n. 3, ISSN 0100-0683.

FRANCO, E. C. As Terras Pretas do Planalto de Santarém. **Revista da Sociedade dos Agrônomos e Veterinários do Pará**. 8:17-21, 1962.

GOMES, J. B. V.; CURI N.; SCHULZE D. G.; MARQUES J. J. G. DE Sá e M.; KER J.C.; MOTTA P. E. F. DA. Mineralogia e micromorfologia de solos esqueléticos do bioma cerrado, no leste de Goiás. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** v.31 n.5 Viçosa sept./oct. 2007

GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of de Brazilian Amazon region. **Organic Geochemistry**, 31:669-678, 2000.

GLASER, B.; GUGGENBERGER, G.; HAUMAIER, L.; ZECH, W. Burning residues as conditioner to sustanaibly improve fertility improve in highly weathered soils of the Brazilian Amazon region. **Proceedings of the BSSS conference**. Edinburgh, Scotland, 1999. 5p.

GOUROU, P. “Observações Geográficas na Amazônia”, **Revista Brasileira de geografia**. 11.354-408. 1949.

LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GERMAN, L. A.; MCCANN, J.; MARTINS, G. C.; MOREIRA, A.. Soil Fertility and Production Potential. *In: LEHMANN, Johannes; KERN, Dirse Clara; GLASER, Bruno; WOODS, Willian. (Org.). Amazon Dark Earth, origin, properties and management*. Holanda, v. 1, p. 105-124. 2003.

LEHMANN, J.; LIANG, B.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J. O.; THIES, J.; LUIZA~O, F. J.; PETERSEN, J.; NEVES, E. G.

Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. **Soil Sci. Soc. Am. j.**, vol. 70, september–October. Published online August 22, 2006.

KATZER, F. Geologia do Estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi de História Natural e Etnografia**. Belém. 1933.

KETTERINGS, Q. M.; BIGHAM, J. M.; LAPERCHE, V. Changes in soil mineralogy and texture caused by slash-and-burn fires in Sumatra, Indonesia. **Soil Science Society of America Journal** 64, p. 1108-1117, 2000.

LIMA, H. N. **Gênese, Química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. Viçosa: UFV, 2001. 128: 129e176. (Tese de doutorado)

LIMA, H.N.; SCHAEFER, C.E.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 Wertern Amazonia. **Geoderma**. v.110. p.1-17. 2002.

MACHADO, J.S. O potencial interpretativo das análises tecnológicas: um exemplo amazônico. **Rev. do Museu de Arqueologia e Etnologia**, São Paulo, 15-16: 87-111, 2005-2006.

MORAES, C. de Paula. **Arqueologia na Amazônia Central Vista de Uma perspectiva da Região do Lago do Limão**. Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo. 2006 (Dissertação de Mestrado)

NEVES, E.G. Levantamento Arqueológico da Área de Confluência dos Rios Negro e Solimões, Estado do Amazonas. Relatório de Atividades. Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo, 2000, 93 p.

NEVES, E.G.; PETERSON, J.; BARTONE, R.; SILVA, C.A. da. Historical and socio-cultural origins of Amazonian Dark Earth. In LEHMANN, Johannes; KERN, Dirse Clara; GLASER, Bruno; WOODS, Willian (ed.) **Amazon Dark Earth: origin, properties and management**. Holanda, p. 29-50. 2003.

NEVES, E.G. Relatório de Atividades. Relatório Científico apresentado à FAPESP, 2003.

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

KERN, D.C. e COSTA, M.L. *Composição química de solos antropogênicos desenvolvido em Latossolo Amarelo derivado de lateritos*. Geociências, São Paulo, **Revista de Geociências**. 1997, 16(1): 157-175.

KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia: Relações Solo-Panta**. São Paulo. CERES. 1979. 261p.

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.

PABST, E. 1991. Critérios de distinção entre Terra Preta e Latossolo na região de Belterra e os seus significados para discussão pedogenética. **Bol. Mus. Par. Emilio Goeldi, Série Antropologia**, v.7 , p.5-19.

RADAMBRASIL. **FOLHA SB19 JURUÁ**. Vol. 15. rio de Janeiro, 1997. Ministério das Minas e Energia – Departamento Nacional de Produção Mineral. Levantamento de Recursos Naturais.

RANZANI, G.; KINJO, T.; FREIRE, O. Ocorrências de "plaggen epipedon" no Brasil. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, 10:55-62, 1970.

RODRIGUES, A.J. *Ecology of the kayabi Indians of Xingu, Brasil: Soil and Agroforestry Managenent*, Univ. of Cambridge. 1993.

RODRIGUES, T. E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ, V. V.H.; FONTES, L.E.F. e FONTES, M.P.F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, SBCS, 1996. p. 19-60.

SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais**. Porto Alegre. Gênese. 1999. 491p.

SANTOS, J.O.S. A parte setentrional do cratón amazônico (escudos das Guianas) e a Bacia Amazônica. In: *Geologia do Brasil: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais*, escala 1: 2.500.000. SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R. E ASMUS, H.E. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral, p. 57-91. 1984.

SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch photochemische Extraktion mit saurer Ammonium-Oxalat-Lösung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk*, 105:194-202, 1964.

SCHAEFER, C.E.R.; LIMA, H.N.; JUNIOR, J.F do V.; MELLO, J.W.V.; Uso dos solos e alteração da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. Bol. Mus. Emílio Goeld. ser. Ciênc. da terra 12, 2000. 104p.

SCHWERTMANN, U. e TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B. e WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.145-180.

SERGIO, C. S.; SANTANA, G. P.; COSTA.; HORBE, A. M. C. Identification and characterization of maghemite in ceramic artifacts and archaeological black earth of amazon region. **Soil Science**, Vol. 171, no.1, Jan 2006. 59-64.

SILVA, F. C da; Organizador. EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes**. Brasília. 1999. 370 p.

SIOLI, H. Tropical river: the Amazon. In: WHITTON, B.A. (ed) River Ecology. Berkeles, U.S. Press, p.461-487. 1985.

SJOBORG, A. **Phosphate analysis of anthropic soils**. J. Field Archaeology, 3:447-454, 1976.

SMERNIK, R. J.; SKJEMSTAD, J. O.; OADS, J. M. Virtual fractionation de charcoal from soil organic matter using solid state ¹³C NMR spectral editing. **Australian Journal of Soil Research**, v. 38, 665-683, 2000.

SMITH, N.J.H. Antrosols and human carrying capacity in Amazonia. Annals of the Association of American Geographers, 70:553-566, 1980.

SOARES, R. **Agregação e Distribuição da Matéria Orgânica em Solos de Terra Preta de Índio da Amazônia Central**. Niterói. UF, 2007. 107 p. (Dissertação de Mestrado)

SOMBROEK, W.G. Amazonan soils. A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Wageningen, Centre for Agricultural Publication and Documentation, 1966. 292p

STEINER, C.; TEIXEIRA, W.G. "TERRA PRETA NOVA" Field International Workshop on Antropogenic Terra Preta Soils. Second field excursion July 16th 2002.
STEVENSON, F.J. **Húmus Chemistry**. New York. Willey & Sons. INC. 1994. 496p.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W.G.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Microbial response to charcoal amendmets of highly weathered soils and Amazonian dark earths in Central Amazonia – preliminary results. In: GLASER, B.; WOODS, W.I. (Ed.). Amazonian dark earths; explorations in space and time. New York: Springer, 2004. p.195-212.

TEXEIRA,W. G.; MARTINS G. C. **Estabilidade de agregados como indicador da qualidade física do solo de Terra Preta de Índio**, Circular técnico. Embrapa Amazônia Ocidental, 2002.

TEIXEIRA, W.G.; MARTINS, G.C. Soil physical characterization. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Ed.). Amazonian dark earths; origin, properties and management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p.271-286.

TUCCI, C.A.F.; BRAGA, J.M.; RIBEIRO, A.C. Adubação fosfatada em solos da região Amazônica com base no fósforo disponível, nível crítico e na declividade de fósforo recuperado. **Revista Ceres**, V. 39, n225, 1992.

USDA. **Soil Suruey Laboratory Methods Manual**. United States Departament of Agriculture. 1996. 639p.

WOODS, W.I.; McCann, J.M. The Antropogenic Origin and Persistence of Amazonian Dark Earths. Yearbook, Conference of Latin Americanist Geographers, vol. 25, pp7-14. 1999.

ZECH, W., HAUMAIER, L., HEMPFLING, R. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In: **Humic substances in soil crop sciences: selected readings**. American Society of Agronomy, Madson, 1990. p. 187-202.