



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA UFRA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**FORMAS DE FÓSFORO DO SOLO EM SÍTIOS DE TERRA PRETA**  
**ARQUEOLÓGICA NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**ADRIANE DA ROCHA COSTA**

**BELÉM**  
**2011**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**FORMAS DE FÓSFORO DO SOLO EM SÍTIOS DE TERRA PRETA**  
**ARQUEOLÓGICA NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**ADRIANE DA ROCHA COSTA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do programa de pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Mestre em Agronomia”.

**Orientador:** Prof. Dr. Mario Lopes da Silva Jr.

**BELÉM**  
**2011**

---

Costa, Adriane da Rocha

Formas de fósforo do solo em sítios de terra preta arqueológica na Amazônia Oriental ./ Adriane da Rocha Costa. – Belém, 2011.

116f.:il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2011.

1. Solos – atributos químicos 2. Frações de fósforo 3. Solos Antrópicos 4. Terra Preta arqueológica – Amazônia Oriental I. Título.

---

CDD – 631.41



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

ADRIANE DA ROCHA COSTA

FORMAS DE FÓSFORO DO SOLO EM SÍTIOS DE TERRA PRETA  
ARQUEOLÓGICA NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do programa de pós-graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Aprovado em 21 de março de 2011

BANCA EXAMINADORA

Engenheiro Agrônomo, Professor Dr. Mário Lopes da Silva Júnior  
(Orientador)  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Dr. Jorge Luiz Piccinin  
Museu Paraense Emílio Goeldi- MPEG

Engenheiro Agrônomo, Professor Dr. Marcos André Piedade Gama  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Dr. Edilson Carvalho Brasil  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

A Deus, acima de todas as coisas;

**AGRADEÇO!**

Aos meus avós Maria Floraci e José de Arimatéia (*in memoriam*), cuja criação sempre me permitiu aprender com as dificuldades e seguir em frente.

Com Amor e Saudades

**DEDICO!**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força e pela tranquilidade concedida nos momentos de atribuições para conclusão deste trabalho;

A minha família por sempre acreditar e não questionar minhas escolhas, em especial a minha irmã pelo companheirismo e amizade;

Ao meu orientador prof. Dr. Mário Lopes Silva Jr e a minha co-orientadora Dra Dirse Clara Kern pela confiança depositada, orientação e ensinamentos;

À Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA e todo seu corpo docente e funcionários, pela oportunidade de realizar este curso aperfeiçoando meus conhecimentos;

À coordenação do Programa de Pós-Graduação, pela confiança e oportunidade oferecida;

A CAPES pelo apoio financeiro nesses dois anos de estudo e pesquisa;

Ao Deyvison Medrado pela amizade, companheirismo, compreensão e incentivo ao longo destes dois anos;

Aos meus amigos Sannah Birani e Augusto Pedroso pela amizade, companheirismo, e apoio para a conclusão deste trabalho;

As amigas Helen Nascimento, Katiane Barros, Rosemeire Costa e ao amigo Gilson Matos por sete anos de convivência e amizade;

Aos amigos do MPEG Quêzia Leandro, Nilde Soares, Uibirá Sena, José Carlos e José Figueiredo;

As colegas e amigos que convivi durante o curso Lorena Chagas, Érika Freire, Bruno Brabo, Josemar Vasconcelos, Marcos Albuquerque, Samuel Cohen, Saime Joaquina, Possidônio Rodrigues, Elaine Santos, Hugo Leonardo, Gerson Barros e Rosigrêde Silva;

Aos professores Norberto Noronha, Marcos André Piedade Gama, Herdjânia Veras de Lima, Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo, Waldiney Travassos e George Silva pelos importantes ensinamentos repassados durante as disciplinas ministradas na Pós-graduação;

Ao Raphael Marichal pela contribuição dada a este trabalho principalmete na realização das Análises de multivaridas;

Aos amigos Bolsistas de Iniciação Científica, Mabilia Maria pelo apoio e amizade, Jailson Pereira, Náisa Leal, que contribuíram para realização deste trabalho;

Aos técnicos do Laboratório de Química do solo, da Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA, Fábio e Júlio Cezar pela prestatividade sempre que precisei;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

Adriane da Rocha Costa, filha de Afonso Amaral Costa e Maria Lina da Cunha Rocha, nasceu em Belém, Pará aos 18 dias do mês de Abril de 1985. Em março de 2004, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal Rural da Amazônia. Em outubro de 2008, graduou-se em Agronomia na Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA. Em março de 2009, iniciou o curso de pós-graduação a nível de mestrado em Agronomia, na área de Agronomia, para obtenção do título de Mestre, na Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA.

**RESUMO:** Os solos da Amazônia em sua maioria são ácidos, com baixa capacidade de troca catiônica e baixa fertilidade. O solo é, portanto, um fator limitante para a produtividade e sustentabilidade de sistemas de produção agrícola. Dentre os nutrientes, o fósforo é o segundo elemento que mais limita a produtividade nos solos tropicais, mesmo que os teores totais do elemento no solo sejam altos em relação às exigências para as plantas, apenas uma pequena fração deste tem baixa energia de ligação que possibilita sua dessorção e disponibilidade aos vegetais. Por outro lado, ocorrem na Amazônia sítios de Terra Preta Arqueológica (TPA), interpretados como produto da ação humana pretérita. Onde a alta fertilidade encontrada é associada ao acúmulo de material orgânico depositado nas aldeias indígenas na pré-história, servindo de verdadeiros depósitos de compostagem resultando em solos muito férteis. Deste modo, objetivou-se com este trabalho caracterizar e quantificar as formas de fósforo orgânico em sítios de TPA e suas respectivas áreas adjacentes localizados na Amazônia Oriental, bem como caracterizá-los quanto aos atributos químicos. Foram coletadas as amostras em perfil, sendo um dentro do sítio de TPA e outro nos solos circunvizinhos totalizando 10 perfis, dos quais foram analisadas os horizontes A1, AB, BA e B para o fracionamento sequencial do fósforo orgânico (Po) segundo a metodologia proposta por Bowman e Cole (1978a; 1978b) e Bowman (1989) e para a determinação da fertilidade. Os resultados foram processados utilizando procedimentos da estatística descritiva e também estatística multivariada de componentes principais. Os resultados obtidos mostraram o predomínio das formas de P orgânico em superfície, onde em média 46,4% é solúvel em meio ácido (Po H<sup>+</sup>), 38,52% corresponde ao PoI e 15,08% é solúvel em meio alcali (Po OH<sup>-</sup>). Observou-se o predomínio do P inorgânico total (Pit) sobre o P orgânico (Pot), porém para as frações lábeis o P orgânico foi superior ao P inorgânico. Em relação aos atributos químicos pH, H<sub>2</sub>O, MO, P disponível, K, Ca, Mg trocáveis, Mn disponível, CTC, e V%, estes foram superiores nos solos dos sítios de TPA em comparação as suas áreas adjacentes.

**Palavras-Chave:** Frações de fósforo, Atributos Químicos e Solos Antrópicos

**ABSTRACT:** The vast majority of Amazonian soils are acidic, low cation exchange capacity and low fertility. The soil is therefore a limiting factor for productivity and sustainability of agricultural production systems. Among the nutrients, phosphorus is the second element that most limits productivity in tropical soils, even though the total concentration of element in soil are high relative to requirements for plants, only a small fraction of this has a low binding energy which allows desorption and their availability to plants. On the other hand, occur at sites of Amazonian Dark earth Archaeology (TPA), interpreted as a product of past human action. Where high fertility is found associated with the accumulation of organic material deposited in the indigenous villages in prehistoric times, serving as a true composting deposits resulting in highly fertile soils. Thus, the objective was to work with esse characterize and quantify the organic forms of phosphorus requirements of TPA, as well as to characterize the chemical properties, the soils of sites of TPA and their surrounding areas. in five sites located in the eastern Amazon. Samples were collected in profile, one within the site of TPA and one in the adjacent soil total of 10 profiles, which were analyzed horizons A1, AB, BA and B for the fractionation of organic phosphorus (Po) using the methodology proposed by Bowman e Cole (1978a, 1978b) and Bowman (1989) and for the determination of the chemical results were processed using descriptive statistical procedures for data on fertility and also was the analysis of the data and P fractions by multivariate analysis techniques of principal components The results showed the predominance of organic P forms in surface, where on average 46.4% is soluble in acid (Po H +), corresponding to 38.52% and 15.08% PoI is soluble in alkali medium (Po-OH). There was a predominance of total inorganic P (Pit) on the organic P (Pot), but to the labile organic P was higher than inorganic P in relation to the chemical pH H<sub>2</sub>O. MO, P, K, Ca, Mg, Mn available CEC and V%, these were higher in soils from the sites of TPA compared to its adjacent soil

**Key-words:** Phosphorus fractions, Chemical Attributes e anthropogenic soils

## SUMÁRIO

	<b>RESUMO</b>	
	<b>ABSTRACT</b>	
1	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO</b>	13
1.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
1.1.1	<b>Origem e Caracterização da Terra Preta Arqueológica (TPA)</b>	16
1.1.2	<b>Formas de fósforo no solo</b>	19
1.1.3	<b>Determinação das formas de fósforo</b>	22
1.1.4	<b>Fósforo orgânico x TPA</b>	25
2	<b>CARACTERIZAÇÃO DO CONTEÚDO DE FÓSFORO ORGÂNICO DO SOLO EM SÍTIOS DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA LOCALIZADOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL</b>	28
2.1	INTRODUÇÃO	28
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	30
2.2.1	<b>Sítio Terra Preta 2</b>	30
2.2.1.1	Clima e Vegetação	30
2.2.1.2	Solo	31
2.2.2	<b>Sítio BJ 8</b>	32
2.2.2.1	Clima e Vegetação	32
2.2.2.2	Solo	33
2.2.3	<b>Sítio Onça Puma 3</b>	34
2.2.3.1	Clima e Vegetação	34
2.2.3.2	Solo	35
2.2.4	<b>Sítio Jabuti</b>	36
2.2.4.1	Clima e Vegetação	36
2.2.4.2	Solo	37
2.2.5	<b>Sítio Raimundo</b>	38
2.2.5.1	Clima e Vegetação	38
2.2.5.2	Solo	39
2.2.6	<b>Amostragem do solo</b>	40
2.2.7	<b>Análises químicas</b>	43
2.2.8	<b>Análises físicas</b>	43
2.2.9	<b>Fracionamento do fósforo</b>	44
2.2.9.1	P total (PT)	44
2.2.9.2	Fracionamento do fósforo orgânico (Po) do solo	44
2.2.9.3	Extração do P inorgânico (Pil) e total lábil (Ptl) com NaHCO <sub>3</sub>	45
2.2.9.4	Extração do P inorgânico e total moderadamente lábil com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Po-H <sup>+</sup> )	46
2.2.9.5	Extração do P inorgânico e total moderadamente resistente com NaOH (Po OH <sup>-</sup> )	48
2.2.10	<b>Análises estatísticas</b>	49
2.3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	49
2.3.1	<b>Atributos químicos do solo</b>	49
2.3.2	<b>Formas de fósforo orgânico</b>	69
2.3.2.1	Fósforo orgânico em meio ácido (Po H <sup>+</sup> )	69
2.3.2.2	Fósforo orgânico em meio alcali (Po OH <sup>-</sup> )	75
2.3.2.3	Fósforo orgânico lábil (Pol)	79
2.3.2.4	Fósforo Total do solo (PT)	82
2.3.3	<b>Análise multivariada para os atributos químicos e formas de fósforo</b>	87
2.3.4	<b>Avaliação do grau de similaridade ou de dissimilaridade entre as formas de Po do solo</b>	97

2.4

**CONCLUSÕES  
REFERÊNCIAS**

99  
100

## I CONTEXTUALIZAÇÃO

Na Amazônia há ocorrência de solos que foram formados a partir da ocupação humana pré-histórica, denominados de “Terra Preta de Índio” ou Terra Preta Arqueológica - TPA (EMBRAPA, 1999). Geralmente apresentam alta fertilidade, com elevados teores de P, Ca, Mg, Zn, Mn, e de matéria orgânica estável (KERN; KÄMPF, 1989).

Aparentemente, as TPA formam microecossistemas próprios que não se exaurem facilmente, mesmo sob as condições tropicais a que estão expostas ao longo do tempo. Esses locais serviram de verdadeiros depósitos de compostagem de material de origem vegetal e animal, sendo primordial para a formação das TPA, a abundância de matéria orgânica descartada (MADARI et al., 2009). As pesquisas mostram que a Terra Preta do Índio em algumas regiões vem sendo utilizada na agricultura familiar, o que ocorre a pelo menos meio século, e mesmo não ocorrendo adubações como relatam os agricultores, permanecem férteis.

Por outro lado a maior parte dos solos agricultáveis na Região Amazônica é de reação ácida, com baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e baixa fertilidade. O solo é, portanto, um fator limitante para a produtividade e sustentabilidade de sistemas de produção agrícola (CUNHA, 2005). De modo geral, os solos tropicais e subtropicais caracterizam-se pelo alto grau de intemperismo. Aproximadamente 36% deles são deficientes em nutrientes e mais de 25% altamente deficientes em P disponível (SANCHEZ; LOGAN, 1992).

Desta maneira, o estudo da Terra Preta do Índio sob o ponto de vista da fertilidade, poderá contribuir na busca de sistemas agrícolas sustentáveis em ecossistemas tropicais principalmente do elemento P, pois embora deste ser o décimo segundo elemento químico mais abundante na crosta terrestre (SCHULZE, 1989), é o segundo elemento que mais limita a produtividade nos solos tropicais. Esse comportamento é consequência de sua afinidade com os colóides formando compostos de alta energia de ligação, conferindo-lhe alta estabilidade na fase sólida (GATIBONI, 2003).

A maior parte dos estudos do P no solo tem se concentrado na fração inorgânica, porém a fração orgânica de fósforo (Po) constitui uma porção significativa do P total (Pt), segundo Stevenson (1994) variando de 15 a 80 % na maioria dos solos, podendo contribuir substancialmente para a disponibilidade de P por meio de processos de mineralização. As diferentes frações de Po no solo apresentam graus distintos de estabilidade, refletindo na sua disponibilidade (MACHADO et al., 1993), havendo assim a necessidade de caracterizar essas

frações para quantificar sua contribuição no fornecimento de formas disponíveis de P para as plantas.

O conteúdo de matéria orgânica é um importante controlador da síntese de  $P_o$  no solo, e o seu incremento aumenta também a proporção de  $P_o$  em relação às quantidades totais de P (HARRISON, 1982). Os sistemas de manejo que promovem adição de matéria orgânica ao solo também contribuem para o aumento de formas mais lábeis de P, com diminuição da adsorção e conseqüente aumento da disponibilidade de P para as plantas (ANDRADE et al., 2003), havendo, portanto, a necessidade de se considerar a matéria orgânica do solo para o melhor entendimento da ciclagem do fósforo.

Em geral, nos horizontes superficiais se encontra o maior conteúdo de P, tanto na forma orgânica, como na forma inorgânica, contribuindo para maior disponibilidade deste elemento (GUERRA, 1993; CHACÓN; DEZZEO, 2004).

A ação dos microrganismos relaciona-se principalmente com a fração orgânica do solo, resultando no processo de mineralização e maior disponibilidade do  $P_i$  para os vegetais. Pelo alto grau de intemperismo dos Latossolos, observa-se a precipitação e fixação do P com óxidos de Al e Fe o que reduz significativamente a presença deste na solução do solo (VIEIRA et al., 1993; NOVAIS; SMYTH, 1999).

Os estudos em solos brasileiros, na maioria em Latossolos e Argissolos, constata o baixo teor de P disponível, que por sua grande importância nutricional para as plantas, a sua deficiência acaba por causar baixa produção para muitas culturas, indicando a uma pequena contribuição do  $P_o$  neste ciclo (ALMEIDA, 1979).

Entretanto, observa-se a manutenção da fertilidade, em áreas onde ocorre um equilíbrio ou processos de ciclagem, no caso das florestas ou onde há grande acúmulo de material orgânico como em sistema de plantio direto (COSTA; GOEDERT; SOUSA, 2006).

As TPA destacam-se por algumas de suas características químicas, em que o elevado teor de P é a propriedade mais marcante na diferenciação entre estas e os solos adjacentes (KERN; KÄMPF, 1989). A identificação das formas de P no solo pode auxiliar a compreensão da dinâmica deste nutriente e colaborar indiretamente para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis

Deste modo, as hipóteses consideradas foram: 1) Nos sítios de TPA os teores das formas de fósforo são maiores do que nos solos adjacentes; 2) Considerando a ação antrópica nas TPA, há alterações na fertilidade destes sítios em comparação aos solos originais.

Objetivou-se com este trabalho: 1) Caracterizar e quantificar as formas de fósforo em sítios de TPA; 2) Caracterizar quanto aos atributos químicos os solos de sítios de TPA e suas respectivas áreas adjacentes.

## 1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1.1 Origem e Caracterização da Terra Preta Arqueológica (TPA)

As TPA como produto da ação humana é a hipótese mais aceita na atualidade, partindo de estudos arqueológicos e pedológicos (KERN; KÄMPF, 2005), havendo ainda dúvida sobre sua origem intencional. Existem, porém outras teorias criadas a respeito da origem destes solos.

A princípio, a origem da TPA foi denominada por Hartt (1885) como solos vegetais, para os quais os índios eram atraídos em decorrência da elevada fertilidade natural. Camargo (1941) caracterizou-as como produto de cinzas de erupções vulcânicas nos Andes. Para Katzer (1944) estas são locais de antiga colonização de aborígenes, considerando a presença de artefatos. Faria (1946) especulou que as TPA seriam formadas pelo acúmulo de material em lagos, atraindo assim os índios para estes locais.

Para Cunha Franco (1962) os índios moravam as margens de antigos lagos nos quais depositavam grande quantidade de fragmentos de cerâmica e lixo da aldeia que entravam em decomposição quando estes lagos secavam, enriquecendo o solo.

Ranzani et al. (1962) consideram a fertilidade das TPA resultado da incorporação intencional de nutrientes ao solo, através de práticas de manejo feitas por povos andinos. Sombroek (1966) por sua vez concluiu que a fertilidade desses horizontes explicava-se apenas pela ocupação por um longo período. Simões (1972) relatou que esta permanência prolongada era baseada no cultivo de grãos e raízes, complementado com caça, pesca e coleta.

Kern (1996); Lima et al. (2002); Kämpf et al. (2009) sustentam a hipótese que a origem e persistência da fertilidade das TPA resultam da deposição e acúmulo gradual promovido pelo homem, de resíduos de origem animal e vegetal, fragmentos de carvão e de cerâmica, em áreas de assentamentos humanos pré-colombianos, e que com o abandono dos sítios e atuação da pedogênese tropical, formou o horizonte antrópico.

Os sítios TPA são encontrados em posições estratégicas, como nas proximidades de cursos d'água ao longo dos rios (águas brancas, águas claras e águas negras) e que permitem o controle das vias de acessos e uma maior visualização espacial da área, possibilitando melhores táticas de defesa, podendo posicionar-se a uma altura de 5 a 25 m, em relação ao nível da água corrente mais próxima (KERN et al., 2003; GERMAN, 2004).

Estes sítios podem ser encontrados na Colômbia, Equador, Guiana, Peru e Venezuela, porém suas maiores ocorrências são em áreas da Amazônia Brasileira. Estes são encontrados sobre diferentes solos como Espodossolos, Plintossolos, Cambissolos (EMBRAPA 2006), mas freqüentemente em Latossolos e Argissolos, demonstrando que possivelmente o tipo de solo não era considerado primordial para a ocupação (KERN et al., 2003).

Sombroek et al. (2003) descreveram sua extensão de 0,1 a 0,3% da Bacia Amazônica. O tamanho de cada sítio pode variar de acordo com a sua localização e no caso de terraços pode variar de 1 até 500 ha (DENEVAN, 2001). Roosevelt (2000) descreveu o sítio de Santarém com aproximadamente 400 ha. Essas grandes extensões para Kämpf e Kern (2005) são reflexos de grandes sítios de assentamentos ocupados por um longo período. As TPA se distribuem como manchas isoladas de diferentes dimensões, com forma de lentes plano-côncavas circulares com a parte plana voltada para cima (FALESI et al., 1972).

No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos não há uma classificação específica para as Terras Pretas (EMBRAPA, 2006), sendo perfis de Argissolos, Latossolos, Plintossolos, Neossolos e Espodossolos descritos como solos que possuem o horizonte A antrópico.

A cor do solo pode variar em razão da presença de cinzas, carvões, concentração de óxidos de ferro (Fe) e manganês (Mn), níveis de carbonato de cálcio e de matéria orgânica. Podendo modificar-se, ainda, de acordo com o tempo de exposição ao ar, a temperatura, umidade, condições de luminosidade e também pela própria percepção do observador. Em trabalhos arqueológicos a coloração define horizontes, sendo utilizada para técnicas de datação relativa (MADARI et al., 2009).

Nas TPA percebe-se o contraste com os solos típicos da região, daqueles com horizonte antrópico, observando-se em geral uma coloração escura entre o bruno acinzentada muito escura à preta, que de acordo com Kämpf e Kern (2005) é resultante principalmente da quantidade e qualidade da matéria orgânica, relacionando-se diretamente com alta concentração de carbono total. Para Madari et al. (2009) esta coloração se origina ainda de altos teores de carbono de origem pirogênica, ocorrendo ainda a presença de artefatos de cerâmica e líticos.

Dentre as características que diferenciam estes solos de suas áreas adjacentes são as propriedades químicas, uma vez que apresentam altos teores de carbono orgânico, cálcio, magnésio, fósforo e micronutrientes como zinco e manganês (LIMA et al., 2002). Possuem, ainda, boas propriedades físicas, sendo solos bem drenados, com densidade menores nas

superfícies, o que pode indicar a atenuação da matéria orgânica a compactação ocasionada pela atividade humana pré-Colombiana (KERN; KAMPF, 1989).

Kern et al.(2003) constataram que estes solos apresentam um horizonte A mais profundo entre 30 e 60 cm. Para Smith (1980) estes horizontes podem ter uma espessura que varia de 36 a 73 cm, porém é possível encontrar estes horizontes antrópicos com até 2 m.

Para a caracterização das TPA há a necessidade da combinação de algumas propriedades, para a definição do horizonte diagnóstico tais como: espessura de 0,20 m ou maior, a partir da superfície ou acumulada nos 0,60 m superiores do perfil do solo, presença de material arqueológico em qualquer quantidade, teor de fósforo na fração areia fina de 65 mg kg<sup>-1</sup> ou maior, teor de carvão de pelo menos 10 g kg<sup>-1</sup> no solo, teor de C orgânico de pelo menos 10 g kg<sup>-1</sup> ou maior na fração fina, presença de conchas e outros organismos aquáticos e matéria cultural, acumulação de composto terroso ou lama, ou adições de solo, com ou sem matérias culturais e associação espacial evidente do solo com atividades humanas pretéritas (KÄMPF et al., 2009).

As TPA mesmo com a sua utilização intensa mantêm uma alta fertilidade, atribuída a deposição de resíduos orgânicos e as suas propriedades físicas, observando-se em média 150 g kg<sup>-1</sup> de carbono, em comparação a 20-30 g kg<sup>-1</sup> das áreas circunvizinhas. Este maior teor de carbono encontra-se na forma de carbono pirogênico que pode ser até seis vezes mais estáveis do que das áreas adjacentes (NOVOTNY, 2009). De acordo Derenne e Largeau (2001) o carbono pirogênico é resultante da combustão incompleta de materiais orgânicos. González-pérez et al. (2004) propuseram que o carbono pirogênico representa “um contínuo entre materiais de plantas parcialmente carbonizadas, tais como carvão e material grafitico”. As práticas de corte-queima de material vegetal feita pelos índios apresentam baixo calor latente, sendo utilizadas nas atividades domésticas para cozinhar e para o aquecimento (SMITH, 1980) sendo a possível origem do carbono das TPA.

Schmid et al. (2001) observaram que a estrutura dos carbonos na matéria orgânica das TPA diferenciavam-se em estruturas aromáticas, que confere a estes estabilidade química, comparado-os com os existentes em Latossolos, tornando-os resistentes a degradação microbiana, persistindo assim, por pelo menos um século nas Terras Pretas (GLASER et al., 2000). Ao mesmo tempo, a proporção dos grupos carboxílicos nas TPA não foi diminuída quando comparada com solos adjacentes, indicando que o carbono das Terras Pretas tem características de substâncias orgânicas mais estáveis e ao mesmo tempo reativas (ZECH et al., 1990)

Segundo Benites et al. (2005), a persistência e reatividade do carbono pirogênico, explica o potencial destes solos em manter a sua capacidade de troca catiônica, uma vez que a fração argila é composta predominante por minerais de baixa atividade. Isto confere grande importância para os solos tropicais sujeitas às condições meteorológicas que favorecem a mineralização da matéria orgânica (NOVOTNY, 2009).

### 1.1.2 Formas de fósforo no solo

Na maioria dos solos tropicais considerando a camada arável (0–20 cm) a quantidade de P total varia de 100 a 4440 kg,ha<sup>-1</sup>, este diminui conforme aumenta a intensidade de meteorização (VIEIRA et al., 1993).

Duda (2000) estudando o horizonte A de um Latossolo Amarelo encontrou 294,6 mg kg<sup>-1</sup> solo de PT e em Nitossolo Vermelho este valor aumentou para 1.282,8 mg kg<sup>-1</sup> solo. Souza et al. (2009) encontraram na camada de 0-20 de uma TPA 3005,10 mg kg<sup>-1</sup> solo de PT. Porém na solução do solo verifica-se que esses valores diminuem, variando em torno de 0,1 a 1 kg ha<sup>-1</sup>, ficando disponível para os vegetais somente 0,1% a 0,5% desse conteúdo existente em solução. Essa baixa disponibilidade aos vegetais se deve ao fato de boa parte do P existente na solução ser adsorvido nos colóides do solo e fixado por metais como Fe, Al e Mn (MALAVOLTA, 2006). Dos solos tropicais e subtropicais com um alto grau de intemperismo um percentual de 25% apresenta deficiência de fósforo (SANCHES; LOGAN, 1992).

Deste modo, o fósforo total do solo não representa importância prática direta para a nutrição das plantas, em geral vem sendo utilizado como índice de intemperização (TARAFDAR; CLAASSEN, 1988). O fósforo total do solo encontra-se em formas inorgânicas e orgânicas o que depende da natureza do composto a que está ligado.

O fósforo inorgânico pode ser dividido em fósforo dos minerais primários ou estrutural, fósforo adsorvido, além do fósforo da solução do solo, encontrado normalmente em pequenas quantidades. Pode ser encontrado ligado ao ferro, alumínio e cálcio, adsorvido a argilas silicatadas do tipo 1:1, adsorvido à matéria orgânica do solo através de pontes de cátions (compostos ternários) e adsorvido oxihidróxidos de ferro e alumínio (PARFITT, 1978).

O fósforo inorgânico se apresenta com diferentes energias de ligação aos íons e colóides do solo, dependendo do grau de intemperização e uso do solo. O "envelhecimento"

do fósforo adsorvido aos oxihidróxidos de ferro e alumínio pode ocorrer com o tempo, cujas ligações tendem à especificidade, formando compostos binucleados ou ainda a penetração do fosfato nas imperfeições do cristal (NOVAIS; SMYTH, 1999).

A adsorção do P ocorre primeiramente nos sítios mais ávidos (de menor labilidade) e, posteriormente, o P remanescente é redistribuído em frações retidas com menor energia e de maior disponibilidade para as plantas (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001). O P orgânico é adsorvido preferencialmente em relação ao P inorgânico, tendo assim um efeito benéfico indireto, ao aumentar a disponibilidade do P mineral no solo (CANTARELLA et al., 1992)

Em solo com pH menor que 5,0 predominam formas de fósforo ligadas ao ferro e alumínio, enquanto que solo com pH maiores, isso acontece preferencialmente nos com cálcio, sendo que a variação do pH pode promover a dissolução e formação de outros compostos (FIXEN; LUDWICK, 1982). Os minerais mais estáveis formados entre Al-P, Fe-P e Ca-P são a varicita, strengita e a apatita, respectivamente (SAH; MIKKELSEN, 1986).

Machado et al. (1993) comparando solos do Rio Grande do Sul verificaram um decréscimo do fósforo inorgânico (Pi) ativo de 31% em solos menos intemperizados para 12% (solos mais intemperizados) do Pt. Estes autores observaram que em solos pouco desenvolvidos 86% do fósforo extraído foi proveniente das frações inorgânicas, já em solos mais intemperizados 80% foi proveniente das frações orgânicas. Cross e Schlesinger (1995) afirmam que, com o avanço do intemperismo o Pi torna-se mais intensamente adsorvido aos óxidos de Fe e Al, ao mesmo tempo que aumenta a participação do Po no total de P no solo .

A participação do P orgânico pode variar de 3 a 90% do teor de P total, ou de 1 a 3% da matéria orgânica do solo (SIQUEIRA; MOREIRA, 2001). Segundo Cross e Schilesinger (1995) é de grande importância nos solos tropicais, estando relacionado com a disponibilidade de fósforo às plantas. Em solos do Brasil Central, o fósforo orgânico total representa de 13 a 47% do fósforo total, aumentando com o grau de intemperismo dos solos (GUERRA et al., 1996).

O fósforo orgânico é originário dos resíduos vegetais adicionados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição (MARTINAZZO et al., 2007). Porém, a diversidade de compostos orgânicos no solo faz com que mais da metade das formas de fósforo orgânico ainda não tenham sido identificadas. Compostos orgânicos como ácidos nucleicos e fosfolipídios são facilmente mineralizáveis, encontrados em pequenas quantidades armazenadas no solo. Por outro lado há fosfatos com alta energia de ligação, **facilitando a**

interação com os constituintes inorgânicos do solo, dificultando a mineralização e disponibilidade às plantas, como o fosfato inositol (STEWART; TIESSSEN, 1987).

A fração de fósforo orgânico contida na biomassa microbiana é de extrema importância por sua rápida dinâmica. A biomassa microbiana do solo (BMS) utiliza-se dos resíduos orgânicos para adquirir carbono, energia, elétrons e nutrientes (NEVES, 1992; TSAI; ROSSETO, 1992). A absorção de fósforo pelos microrganismos cria um outro compartimento no solo, o P microbiano, que é o fósforo imobilizado pela BMS e pode representar de 2 a 24% do fósforo orgânico do solo (BROOKES et al., 1984).

Segundo Rheinheimer et al. (2000) em solos com alto teor de matéria orgânica como os que são cultivados sob o sistema de plantio direto ocorre a redistribuição do fósforo em diversas formas. O aumento na disponibilidade de P na superfície destes solos pode resultar em maior transformação do Pi em Po. (ARAÚJO; SALCEDO, 1997).

As formas de P também podem ser divididas em duas categorias de acordo com a sua biodisponibilidade, enfatizando a facilidade com que repõem a solução do solo: lábil e não lábil onde incluem-se as formas moderadamente lábil, moderadamente resistente e altamente resistente (BOWMAN; COLE, 1978b).

De acordo com Cross e Schlesinger (1995) fazem parte da fração lábil os compostos fosfatados capazes de repor rapidamente a solução do solo, quando ele é absorvido por plantas ou por microrganismos. Esta é a fração menos estável do P orgânico e dependente do grau de intemperização do solo, da mineralogia, da textura, do teor de matéria orgânica, das características físico-químicas, da atividade biológica e da vegetação predominante (WALKER; SYERS, 1976). Já o P inorgânico lábil (Pil) é dado como o P que está adsorvida na superfície dos colóides do solo, principalmente minerais (BRADY, 1989). Em geral, em solos intemperizados os teores encontrados de Po lábil são superiores aos de Pi lábil (DUDA et al., 2006; GUERRA et al., 1996).

A extração feita com o extrator  $H_2SO_4$  mol  $L^{-1}$ , relaciona-se com o P moderadamente lábil que em solos altamente intemperizados é considerado aquele Pi ligado a cálcio, alumínio e óxidos de ferro (BOWMAN, 1989) e o Po associado a substâncias não-húmicas e aos ácidos fúlvicos (BOWMAN; COLE, 1978a). Este compartimento, provavelmente, possui maior acesso aos microrganismos e plantas do que os ácidos húmicos, visto que este último deve apresentar maior resistência à mineralização (DUDA, 2000). Silva Júnior (2007) ao estudar a dinâmica do fósforo em áreas de floresta, capoeira e pastagens observou que a forma lábil é mais influenciada pelo tipo de cobertura vegetal, enquanto que a forma moderadamente lábil é mais influenciada pela textura do solo. Segundo Novais e Smith, (1999) em solos altamente

intemperizados ou sem adubação, a disponibilidade de fósforo é altamente dependente das formas inorgânicas e orgânicas da fração moderadamente lábil.

O meio reacional básico, em que o P moderadamente resistente é extraído com NaOH, associa-se à matéria orgânica altamente humificada, como os ácidos húmicos e a fração argila do solo tendo como agente de ligação Al e Fe (NOVAIS; SMITH, 1999). Esta fração é tida como compartimento de reserva do P por ser de difícil disponibilidade, podendo ser liberado lentamente (BOWMAN; COLE, 1978b;). Diferente do que ocorre na fração lábil, nesta fração há o predomínio do Pi sobre o Po (GUERRA et al., 1996).

Os estudos de fracionamento têm mostrado que as frações orgânicas e inorgânicas de fósforo no solo podem atuar como fonte ou dreno para a solução do solo, dependendo das suas características mineralógicas, das condições ambientais, da adubação e do manejo do solo. Em sistemas naturais, onde não há adição de fósforo, a sua disponibilidade está intimamente relacionada à ciclagem das formas orgânicas. (NOVAIS; SMITH, 1999). Na camada arável de solos altamente intemperizados dos trópicos, o Po varia de 20% a 50% (VIEIRA et al., 1993; DUDA et al., 2006).

### 1.1.3 Determinação das formas de fósforo

A determinação das formas de fósforo no solo vem sendo caracterizada a partir de diferentes extratores. Atualmente para a melhor compreensão de sua dinâmica pode-se dividi-lo em frações, através de soluções extratoras de diferentes composições e capacidades de extração, em virtude da complexidade do comportamento deste nutriente no solo (SILVA; RAIJ, 1999).

Chang e Jackson (1957) apresentaram um procedimento que baseava-se na solubilidade seletiva do P no solo, obtendo-se assim quatro formas de fósforo: fosfatos de alumínio, fosfatos de ferro, fosfatos de cálcio e fosfatos oclusos (fosfatos precipitados no interior de oxihidróxidos de ferro e alumínio ou incapazes de serem detectados com os extratores usados).

Uriyo e Kesseba (1973) através do método proposto por Chang e Jackson, estudaram 17 perfis de oito diferentes classes de solo na Tanzânia. Nos solos jovens ou calcários, a fração dominante foi Ca-P. Nas classes como os Latossolos que são altamente intemperizados, as frações Al-P e Fe-P predominaram, mostrando a maior energia de

retenção do fósforo com o avanço do intemperismo. Todavia, este fracionamento não expressa as formas orgânicas separadamente e nem a labilidade das formas extraídas.

Para se estimar apenas o P do solo disponível as plantas, usam-se extratores que possuem uma menor ação físico-química sobre as formas com menor energia. Para Silva & Raij (1999) a eficiência dos extratores relaciona-se com a seletividade destes sobre as formas inorgânicas ou orgânicas.

Para a determinação do fósforo total os métodos de digestão com  $\text{HClO}_4$  (OLSEN; SOMMERS, 1982) e também o método de ignição proposto por Saunders e Williams (1995) são amplamente utilizados. I. Fan Yu e Sheng-Bin Ho (2009) compararam 65 amostras de solos cultivados de Tawian e observaram que apesar do valor médio P total obtido pelo método de ignição ter sido 4,3% inferior à obtida pelo método de  $\text{HClO}_4$  concluíram que o antigo método precisa de um maior estudo, podendo ser usado também para a determinação do P orgânico do solo.

Guerra (1993) constatou a superestimação dos valores de  $P_o$  obtidos pelo método de ignição, comparado com os resultados obtidos pelo método de extração proposto por Bowman (1989) que alia ainda rapidez, praticidade e precisão para amostras de solos altamente imteperizados. Esta superestimação pode relacionar-se com a solubilização do  $P_i$  nativo contido nos minerais após a ignição. Como é obtido por diferença, o maior valor de  $P_i$  resultante da ignição propicia também o aumento do  $P_o$  do solo (AGBENIN; IWUAFOR; AYUBA, 1999).

O método proposto por Hedley et al. (1982), é amplamente utilizado por abranger as frações orgânicas. A adição sequencial de extratores de menor à maior força de extração, permite a remoção fósforo inorgânico ( $P_i$ ) e orgânico ( $P_o$ ), das formas mais disponíveis às mais estáveis.

Segundo estudos de Cross e Schlesinger (1995) que compatibilizaram a conclusão de diversos autores, sobre quais formas de fósforo são extraídas na seqüência do fracionamento de Hedley, observa-se que a resina trocadora de ânions extrai as formas lábeis de fósforo inorgânico, enquanto que o  $\text{NaHCO}_3$  extrai formas lábeis de fósforo inorgânico e orgânico. Ao  $\text{NaOH}$  é atribuído ao poder de extrair o fósforo inorgânico quimiosorvido a óxidos de alumínio e ferro, o qual é moderadamente lábil, além de ser extraído o fósforo orgânico moderadamente lábil. O tratamento do solo com  $\text{HCl}$  extrai fósforo inorgânico contido nos fosfatos de cálcio e fortemente adsorvido e, finalmente, a digestão do solo com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$  extrai o fósforo residual inorgânico + orgânico do solo, chamado também de fósforo recalitrante.

Tokura et al., (2002) consideraram o método de extração sequencial de Hedley eficiente na avaliação dos efeitos do sistema de manejo e do tempo de cultivo na dinâmica das transformações de P no solo, bem como observou que com o tempo de cultivo sob plantio direto, numa mesma classe de solo, as formas de P não-lábeis tendem a diminuir em relação ao P total, sendo acompanhadas por um aumento relativo das formas mais lábeis. Busato et al., (2005), também constataram diminuição da participação das formas não-lábeis e conseqüente aumento das formas lábeis com a manutenção da palha e a adição da vinhaça em Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo.

Outro método bastante estudado considerado simples e rápido é o de Bowman e Cole (1978b) que extrai as frações lábil, moderadamente lábil, moderadamente resistente e resistente. Estas formas são extraídas de acordo com biodisponibilidade do P para as plantas, a partir dos diferentes extratores  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e  $\text{NaOH}$ . As frações do  $P_o$  são obtidas pela diferença entre o  $P_i$  e  $P_t$  obtidos pelos métodos.

Agbenin, Iwuafor e Ayuba compararam alguns métodos de fracionamento e verificaram que o método de Bowman (1989) corresponde satisfatoriamente para se obter informações a respeito da disponibilidade de P em curto e em longo prazo, sendo bastante eficiente na extração do  $P_o$ , além de permitir a separação do  $P_o$  em duas frações: solúvel em meio reacional ácido e em meio reacional alcalino. De acordo com Araújo e Salcedo, (1997) é eficiente ainda para se entender a dinâmica do P e suas modificações considerando o tipo de uso do solo. Bowman (1989) relata que o método de extração é bastante adaptado para comparar os níveis de  $P_o$  em diferentes tipos de solos. Guerra (1993), comparando métodos de extração e ignição observou uma boa reprodutibilidade, simplicidade e rapidez, indicando este método para análises de rotina.

Rocha et al., (2005) ao analisarem os solos de Fernando de Noronha/PE, que possuem alta fertilidade natural e elevados teores de fósforo (P), utilizando-se os métodos Bowman e Cole (1978) e Bowman (1989), observaram que os altos teores de fósforo encontrados nos solos são decorrentes principalmente do material de origem e que os extratores Mehlich 3 e Olsen são mais indicados que o Mehlich 1, para estimar o P disponível nos solos estudados. Matos et al., (2006) usando os mesmos métodos de Rocha et al. (2005), avaliaram o efeito de sistemas de cultivo a longo prazo (16 anos) com combinações entre o milho exclusivo e o milho consorciado com feijão e a utilização de adubação orgânica observaram que está acarretou aumento nas formas mais lábeis de fósforo,  $P_{bm}$  e  $P_{tl}$ , favorecendo a sua disponibilização para as plantas.

#### 1.1.4 Fósforo orgânico x TPA

A matéria orgânica do solo destaca-se como fornecedora de nutrientes aos vegetais. Tokura et al. (2002) e Canellas et al. (2003) estudaram a melhoria na fertilidade do solo a partir do acúmulo e a manutenção da matéria orgânica do solo (MOS). Devido à sua limitação em solos intemperizados de ambientes tropicais, o componente orgânico representa parte considerável do conteúdo disponível deste elemento, contribuindo para a nutrição das plantas pela sua mineralização (SIQUEIRA; MOREIRA, 2001). Deste modo, a dinâmica do Po está diretamente associada à dinâmica da matéria orgânica do solo (SOLOMON et al., 2002; CUNHA et al., 2007).

Segundo Zech et al., (1990) em áreas tropicais, a grande dificuldade da manutenção da matéria orgânica se deve a sua rápida decomposição, em detrimento as altas temperaturas e longos períodos de precipitação, o que pode provocar a lixiviação e conseqüentes perdas de nutrientes, entre outros. Neste caso, a ciclagem de nutriente é processo chave para equilibrar os ecossistemas. (MIELNICZUK, 1999).

As TPA por sua vez, apresentam alta fertilidade que se relaciona diretamente a deposição de resíduos orgânicos como restos de alimentos, folhas, sementes e casca de vegetais descartados que foram depositados desordenadamente nos arredores e em alguns casos dentro das habitações (KERN, 1996). Roquette Pinto (1950) relata que no entorno das habitações encontravam-se, “esparsos ou amontoados, cocos quebrados, favas de jatobá, sabugos de milho, carvão, misturados com restos de alimentação e utensílios de cerâmica inutilizados”.

Segundo Kern, (1996) dos produtos alimentícios como a mandioca, o açaí, a bacaba, tatu, jabuti, caranguejo, etc. resultam em grande quantidade de resíduos, que são deixados no local, e que são os responsáveis diretos pelo aumento de elementos químicos nas TPA.

Além do elevado teor de MO, geralmente encontrado em Terras Pretas, em comparação as suas áreas adjacentes, a composição e as características da MO são aspectos importantes das TPA. Estas apresentam alta resistência à degradação, além de apresentarem cargas eletroquímicas, devido à presença de grupos funcionais, que contribuem para o aumento da CTC e para a estruturação do solo, a partir da interação com a matriz mineral. PABST (1991), verificou nas TPA encontradas em Belterra-Pa, o húmus na TPA é da ordem de seis vezes mais estável à decomposição do que o húmus do Latossolo. Na TPA, o Ca, Mg e K trocável apresentaram uma correlação significativa e positiva com a matéria orgânica. Em

decorrência da alta estabilidade, estes compostos apresentam uma grande importância como condicionadores de solos tropicais fortemente intemperizados, sendo submetidos a condições climáticas que favorecem a mineralização da matéria orgânica e cuja fração argila apresenta baixa CTC (MADARI et al., 2009).

Considerando-se estas características peculiares das TPA, o estudo do Po torna-se de grande importância se considerarmos que de 15 a 80% do PT corresponde a fração orgânica (STEVENSON, 1994). Guerra et al., (1996); Condrón; Tiessen, (2005) e Cunha et al. (2007) estimaram que até 90% do PT relaciona-se a fração orgânica. Segundo Guerra et al., (1996) de 5 a 86% destes podem estar na fração orgânica lábil. Entretanto Rocha et al., (2005), ao estudarem 5 classes de solo em Fernando de Noronha verificaram que o fósforo orgânico foi menos importante que as formas inorgânicas na contribuição para o fósforo total desses solos. Segundo os autores o P-Fe e P-Ca são as frações predominantes nos perfis estudados.

Guerra et al. (1996), estudando diferentes classes de solos sob a cobertura vegetal de gramíneas forrageiras, verificou em Argissolos uma correlação positiva entre o Pot e P disponível e C total, enquanto que em Latossolos a correlação positiva se deu entre o Pot e o P disponível e o Ferro total e com o teor de argila. Todavia, o aumento do Po não acompanhou proporcionalmente o incremento do Pt.

Em geral, os métodos de estimativa da fertilidade do solo enfatizam a fração inorgânica de P como indicadora da disponibilidade deste nutriente para as culturas. No entanto, McDowell, Condrón e Stewart, (2007) avaliaram a importância do papel do Po na nutrição de plantas utilizando da espécie *Lolium perene* e *Pinus radiata*, a partir de 12 diferentes extratores. À medida que ocorria a mineralização do Po havia um incremento nos coeficientes de correlação entre o P disponível e absorção pela planta, sugerindo que a forma lábil do Po, tem em curto prazo, uma grande contribuição para a nutrição dos vegetais. Desta maneira, há uma grande necessidade da compreensão da dinâmica do P orgânico no solo.

As várias formas de Po existentes no solo se diferenciam pelo seu grau de estabilidade e conseqüente disponibilidade, observando-se a sua contribuição no fornecimento de formas disponíveis de P para as plantas (MACHADO et al., 1993).

Damodar Reddy (2000) verificou modificações na dinâmica do P de acordo com o sistema de manejo realizado e nos conteúdos das frações Po relacionando-se com adubações orgânicas e minerais, observando-se que o conteúdo de Pot aumenta com incremento de Ct ou adição de fertilizantes e diminui quando trata-se de cultivos intensivos em que não há reposição de P.

López et al.(2007), estudando um Latossolo Vermelho da Amazônia Venezuelana submetido a 25 anos de adubação orgânica observaram incremento significativo, tanto nas formas de Pi, como Po. O Pt apresentou valores entre 500-1,194 kg.mg<sup>-1</sup> em comparação com os outros solos do cerrado que variam entre 179-214 mg kg<sup>-1</sup>.

Apesar da grande importância da matéria orgânica para a adição de Po ao solo, a maioria dos solos amazônicos se apresentam pobres, devido principalmente às altas temperaturas e umidade, que favorecem sua decomposição, e aos baixos teores de nutrientes, dificultando o crescimento vegetal (KERN, 1996). Portanto, o conhecimento da natureza e da distribuição dessas frações de P em TPA pode fornecer informações importantes para a avaliação da disponibilidade do fósforo no solo.

## 2 FORMAS DE FÓSFORO DO SOLO EM SÍTIOS DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA NA AMAZÔNIA ORIENTAL

### 2.1 INTRODUÇÃO

A Terra Preta Arqueológica é conhecida principalmente por suas características químicas, geralmente apresentando-se como solos altamente férteis com elevados teores de P, Ca, Mg, Zn, Mn e matéria orgânica estável (KERN, 1996). Estas são encontradas em diversos tipos de solos ocorrentes na Amazônia brasileira, tais como Latossolos, Argissolos, Cambissolos, Plintossolos, Nitossolos.

Ressalta-se que a matéria orgânica nas TPA chega a ser seis vezes mais estável do que nos solos adjacentes sem horizonte A antropogênico, o que atualmente tem levado o pequeno produtor da Amazônia a explorá-la agricolamente principalmente com culturas de subsistência como milho, feijão e mandioca. Isso permite a obtenção de uma alta produtividade, mesmo sem a utilização de insumos ou com a utilização de uma quantidade bem menor de fertilizantes, demonstrando a importância de estudar estes ambientes para contribuir para a produção sustentável em solos tropicais de baixa fertilidade.

A menor reserva de nutrientes dos solos da Amazônia altamente intemperizados, necessita de um enfoque ainda mais diferenciado para nutrientes como P, haja vista a sua essencialidade para o desenvolvimento das plantas e ao mesmo tempo a sua deficiência relacionada principalmente aos processos de retenção (adsorção e precipitação) nos solos. Visto isso, é possível observar uma ampla pesquisa a esse respeito, porém os estudos existentes estão mais voltados em quantificar o conteúdo de P no solo, refletindo apenas o reservatório de P total no solo.

Nos solos tropicais, altamente intemperizados e com alta atividade de Al e Fe em solução, onde as reações de adsorção e precipitação indisponibilizam grande parte do P. A disponibilidade deste nutriente pode estar intimamente associada à mineralização do P orgânico, que por sua vez, apresenta grande relação com a matéria orgânica do solo, cuja quantidade e qualidade é o enfoque primordial das TPA.

Para melhor compreensão das transformações do Po no solo há necessidade de considerar as suas frações e a distribuição destes compartimentos. Bowman e Cole (1978b) através de método de fracionamento baseado na utilização de diferentes extratores,

particionaram o Po nas formas moderadamente lábil, moderadamente resistente e altamente resistente, segundo a facilidade com que repõem a solução do solo, relacionando por tanto diretamente ao P disponível

As formas lábeis de P, consideradas também como disponíveis, por manterem a solução do solo equilibrada, os solos altamente intemperizados são influenciadas pelo conteúdo de MO no solo o qual controla a síntese do Po. Normalmente o incremento de resíduos orgânicos promove aumento desta fração lábil.

Assim a concentração do fósforo orgânico depende da conservação da matéria orgânica do solo que, por meio da mineralização, disponibiliza este nutriente. Particularmente em solos de TPA, esta relação se torna interessante pela manutenção desta MO ao longo dos anos, apresentando sempre teores satisfatórios de P disponível. Em geral isso não ocorre nas áreas adjacentes, subestimando a contribuição do material de origem destes solos em detrimento aos resíduos orgânicos depositados com o passar do tempo

Cabe ao meio científico desvendar a dinâmica deste elemento a fim de se desenvolver formas sustentáveis de utilização dos solos, principalmente os que permitam a manutenção da fertilidade química dos solos e a permanência do agricultor no campo.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido coletando-se amostras em cinco áreas na Amazônia Oriental, onde há ocorrência de sítios TPA localizados nos seguintes municípios: Juruti, Bom Jesus do Tocantins, Ourilândia do Norte, Bragança e na Região de Caxiuanã.

### 2.2.1 Sítio Terra Preta 2

O Sítio Terra Preta 2 ( $2^{\circ}10'36,92''S$  e  $56^{\circ}06'16,93''W$ ), situa-se na margem direita do Rio Amazonas, no município de Juruti, no extremo oeste do Estado do Pará, a cerca de 200 km da cidade de Santarém.

#### 2.2.1.1 Clima e Vegetação

A área de estudo apresenta clima equatorial do tipo Am, de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média anual de  $25,6^{\circ}C$ , e umidade relativa, com valores acima de 80%, em quase todos os meses do ano. A pluviosidade se aproxima dos 2.000 mm anuais, com estação chuvosa coincidindo nos meses de dezembro a junho e, a menos chuvosa, com os meses de julho a novembro (PARÁ, 2009).

A vegetação é formada por florestas que se diferenciam em Florestas Ombrófilas e Florestas Aluviais, presentes na franja costeira (CNEC, 2002). Na área do sítio observam-se sinais de atividades antrópicas em quase toda sua extensão com extratos de palmeiras, bambu e alta densidade de castanheiras. As matas de cipó, bacuri, taperebá entre outras, que são espécies indicadoras de perturbação e ocorrem associadas a carvão e fragmentos de cerâmica caracterizando vestígios de assentamentos pretéritos e recentes.

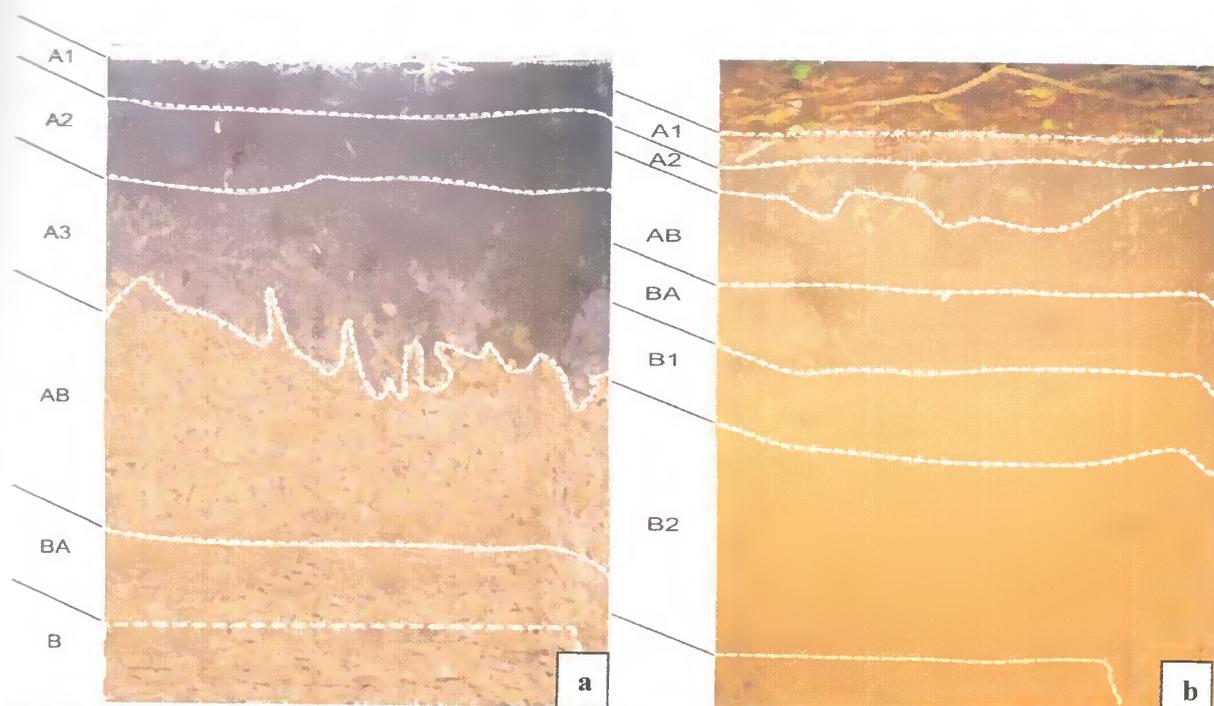
### 2.2.1.2 Solo

Nesta área observam-se os terraços e planícies do rio Amazonas, representando as “terras baixas” ou áreas alagáveis. Verifica-se a ocorrência significativa de solos hidromórficos, particularmente Gleissolos, associados em pequena porção a solos jovens denominados de Neossolos Fúlvicos, ambos originados de sedimentos recentes de natureza aluvionar.

O solo apresenta horizonte A do tipo antrópico sobreposto a Latossolo Amarelo, de coloração escura, contendo fragmentos de cerâmica e elevados teores de fósforo (CNEC, 2002).

A camada constituída pelos horizontes A1, A2 e A3 apresenta grande variabilidade na espessura, devido à deposição irregular de resíduos e em alguns pontos chega à profundidade de 80 cm, entretanto a média geral do sítio é de 45 cm. A cor do solo varia de preto (7,5YR2/1) ao bruno escuro (7,5YR3/2) e textura arenosa, contém ainda fragmentos de cerâmica e carvão, que se concentram nos horizontes A1 e A2. Nos horizontes de transição AB e BA da TPA, o solo apresentou-se mais claro variando da coloração bruno escuro (10YR3/3) ao marrom amarelado (10YR4/6), textura franco arenosa, com ocorrência esporádica de cerâmica e carvão, demonstrando não ter sofrido grandes alterações de suas propriedades morfológicas.

As propriedades morfológicas observadas no perfil do solo da área adjacente (AD), Latossolo, revelaram a seqüência de horizontes A1, A2, AB, BA, B1 e B2, características estas pertinentes de solo bem desenvolvido, bem drenado e com boa porosidade. A espessura do horizonte A atinge 21 cm e possui cor bruno acinzentado (7.5YR3/2) e textura arenosa. O horizonte B apresentou cor bruno amarelado (7,5YR5/6) e textura franco arenosa (Figura 1).



**FIGURA 1-** Perfis de solo do Sítio Terra Preta 2 localizado no município de Juruti-PA com horizonte A antropogênico (a) e área adjacente (b).

Fotos: Jucilene Amorim Costa

## 2.2.2 Sítio BJ 8

O Sítio Arqueológico BJ 8, identificado nas coordenadas 5° 06' 42.24'' S e 48° 40' 27.35'' W, localiza-se no sudeste do Estado do Pará, no município de Bom Jesus do Tocantins, pertencente à microrregião de Paragominas. Possui aproximadamente 110 ha de área, estende-se no sentido Leste-Oeste (Vante-Ré) 1.440 m enquanto que na direção Norte-Sul (Direita-Esquerda) 760 m, apresentando forma irregular (SCIENTIA, 2007).

### 2.2.2.1 Clima e Vegetação

O clima da região é equatorial superúmido (tipo Am-Aw), pela classificação de Köppen, com temperaturas médias anuais de 26.3 °C e umidade relativa média de 78%. O período chuvoso ocorre entre os meses de novembro a maio e o período seco nos meses de junho a novembro, com índice pluviométrico anual em torno de 2.000 mm (PARÁ, 2008).

A vegetação predominante é de pastagem, com palmeiras de babaçu, fragmentos de mata secundária em diferentes estágios de regeneração e uma estreita faixa de mata ciliar que acompanha os dois igarapés (sem denominação) que drenam a área.

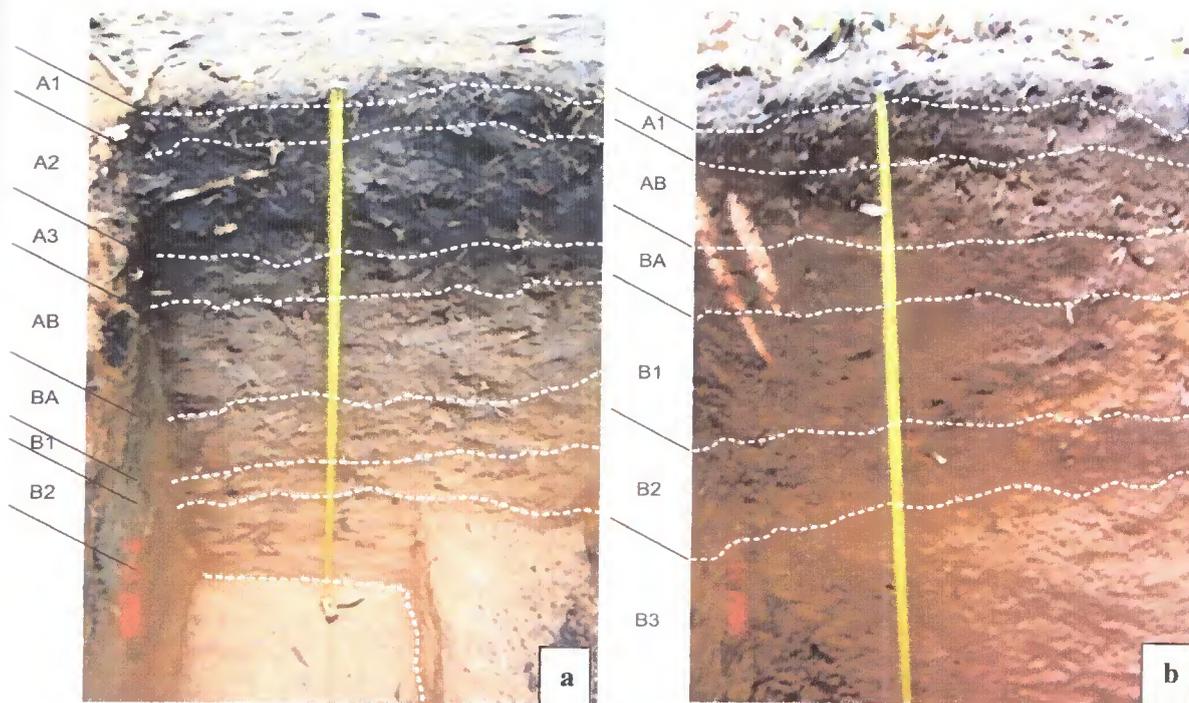
#### 2.2.2.2 Solo

A área de estudo está inserida depósitos do Cretáceo representado pela Formação Itapecuru. Petri e Fúlfaro (1983) descreveram esta unidade como constituída por arenitos cinza esbranquiçados, esverdeados ou vermelhos castanhos, com intercalações de folhelhos cinza esverdeados ou castanhos.

Em geral, os solos do município são derivados do grupo Barreiras e apresentam baixa fertilidade natural. O solo deste sítio é da classe de Latossolo Amarelo profundo, de boa drenagem, com homogeneidade de características ao longo do perfil.

O perfil do solo escavado de Terra Preta alcançou uma profundidade de 150 cm com horizonte A antrópico de 42 cm, apresentando variações de cores entre preto (10YR 2/1) e bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2), evidenciando a ocorrência da matéria orgânica como constituinte do solo. Foi encontrado material arqueológico (como cerâmica e artefato lítico) e raízes em todos os horizontes A (Figura 2). Os horizontes de transição AB e BA se estendem de 42 a 88 cm, de cor bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2) e bruno (7,5 YR 4/4). O horizonte AB também apresenta material arqueológico. Os horizontes B variam de 88 a 150 cm, com coloração bruno forte (7,5 YR 4/6) e bruno (7,5 YR 5/2).

O perfil de solo analisado na área adjacente alcança 106 cm de profundidade e apresenta um horizonte A com espessura de 13 cm e cor bruno-escuro (7,5YR 3/2), portanto, um pouco mais claro que os perfis de TPA e transição. Os horizontes de transição AB e BA ocupam o intervalo de profundidade entre 13 a 32 cm com a mesma coloração do horizonte A, bruno - escuro (7,5YR 3/3; 7,5YR 3/4). Os horizontes B se estendem de 32 a 106 cm e mostram coloração bruno-avermelhado (5YR 4/4), vermelho-amarelado (5YR 4/6) e bruno - forte (7,5YR 4/6).



**FIGURA 2**-Perfis de solo no sítio BJ 8 localizado no município Bom Jesus do Tocantins-PA com horizonte A antropogênico (a) e área adjacente (b).

Fotos: Dirse Kern, 2006

### 2.2.3 Sítio Onça Puma 3

O Sítio Onça Puma 3 ( $6^{\circ}31'45,80''S$  e  $51^{\circ}03'32,30''W$ ) situa-se no município de Ourilândia do Norte, Estado do Pará. A área onde se localiza este sítio faz limite com a Reserva Indígena Xicrín do Cateté (em sua face sul). O acesso ao sítio arqueológico é feito pela vicinal Campos Nossos, em seqüência à vicinal do Picadão, situa-se no km 29 desta última (SCIENTIA, 2003).

#### 2.2.3.1 Clima e Vegetação

O clima neste sítio insere-se na categoria de equatorial superúmido, tipo Am, da classificação de Köppen, no limite de transição para o tipo Aw. Possui temperaturas médias anuais de  $26,3^{\circ}C$ , apresentando a média máxima em torno de  $32,0^{\circ}C$ , e mínima de  $22,7^{\circ}C$ . A umidade relativa média é em torno de 78%. O período chuvoso ocorre de novembro a maio

e o mais seco de junho a outubro, estando o índice pluviométrico anual em torno de 2.000 mm (PARÁ, 2007a).

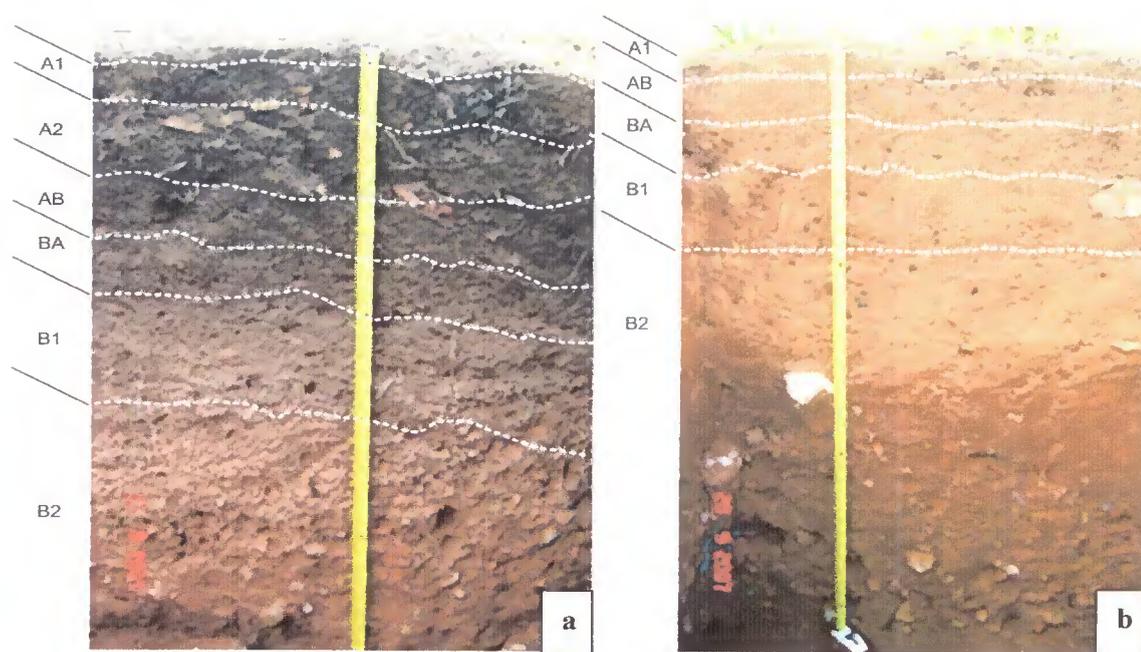
O sítio em estudo possui vegetação rasteira, formada principalmente por gramíneas da espécie braquiária, que se estendem por todo entorno das ocupações recentes, área esta utilizada para pasto.

#### 2.2.3.2 Solo

O solo é derivado de rochas básicas a ultrabásica, no entanto no sítio é comum encontrar blocos de rochas em subsuperfície de diferentes fontes tanto ácidas como básicas e ultra básicas alteradas. Na área do perfil o terreno é suave ondulado com inclinação para leste.

O solo deste sítio é da classe de Argissolo, constituídos por material mineral, horizonte B textural (Bt) imediatamente abaixo do A ou E, argila de atividade baixa com saturação por bases baixa.

No interior do sítio Onça Puma 3 o horizonte A do solo é espesso, atingindo de 20 a 50 cm de profundidade, que podem ser subdivididos em horizontes A1 e A2 (Figura 3). A coloração do solo varia de cinzento avermelhado escuro (2,5YR 4/1) a preto (7,5YR 2/0), típico de TPA, com ocorrência de material arqueológico (fragmentos de cerâmica e de material lítico). Esta situação se contrapõe aos solos adjacentes em que o horizonte A é pouco profundo, apresentando de 6 a 10 cm de espessura e sua cor varia de vermelho-escuro (2,5YR 3/6) a bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4).



**FIGURA 3-** Perfis de solo no sítio Onça Puma 3 localizado no município Ourilândia do Norte com horizonte A antropogênico (a) e área adjacente (b).

Fotos: Dirse Kern, 2007

## 2.2.4 Sítio Jabuti

O sítio Jabuti está situado nas coordenadas 01°03'13"S e 46°45'56" W, situadas no município de Bragança, Pará, o qual se localiza a margem esquerda do Rio Caeté, distante 36 km do litoral e 240 km da capital do Estado.

### 2.2.4.1 Clima e Vegetação

O clima é equatorial superúmido Aw, de Köppen, com temperatura máxima de 33°C e mínima de 18°C, apresentando média de 27°C e elevada pluviosidade de 2.501 mm/ano, com período chuvoso nos primeiros seis meses do ano (PARÁ, 2007b).

Neste sítio são encontrados campos salinos e bosques de terra firme. A composição florística local consiste, principalmente, de gramíneas e espécies florestais em diferentes estágios de sucessão, que recobrem terrenos de terras firmes e várzeas, sendo a vegetação na área de salvamento composta de florestas (secundárias) contíguas de mangue.

#### 2.2.4.2 Solo

A estrutura geológica é constituída pelos sedimentos do terciário que constituem a Formação Barreiras, ocupando a maior distribuição espacial de seu território e que fazem sobre litotipos da Formação Pirabas. Ao longo da costa predominam sedimentos de idade Quaternária que compõem as áreas de praias e zonas inundáveis (PARÁ, 2007).

O solo deste sítio pertence à Ordem dos Gleissolos, sob formação de solos Terra Preta Arqueológica (TPA). Há evidencia que a formação desses solos esteve associada a lençol freático elevado durante grande parte do ano, características da ocorrência de horizonte glei e mosqueamento.

No perfil de Terra Preta a profundidade chegou a 124 cm, o horizonte A apresenta-se nos primeiros 16 cm, cor (10YR 3/1) com 40% de raízes e resíduos orgânicos. Os horizontes de transição AB e BA se estendem de 68 a 124 cm de profundidade, apresentam cor 10YR 7/1 e 10YR 4/1 respectivamente com 10% de raízes. O horizonte Bg apresenta apenas 5% de material orgânico e cor 6/ 10Y.

Na área adjacente o perfil apresentou uma profundidade de 60 cm, apresentando horizonte A até os 18 cm de profundidade com a presença de 40% de material orgânico, com a cor (7.5 YR 4/1). Os horizontes de transição AB e BA, apresentam profundidade desde os 28 aos 60 cm. Possuem cor 7.5 YR 6/2 e 10YR 7/2 e apresentando um valor de 20 e 10% de raízes respectivamente (Figura 4).



FIGURA 4- Perfis de solo do sítio Jabuti localizado no município de Bragança-PA com horizonte A antropogênico (a) e área adjacente (b).

Fotos: Piccinin, 2008

### 2.2.5 Sítio Raimundo

Segundo Silveira et al. (2002), são 27 sítios arqueológicos identificados e registrados na região de Caxiuanã. Em geral, estão localizados às margens da baía de Caxiuanã, rios, igarapés e furos. O sítio Raimundo possui coordenadas de 01°45'36.0" S e 51° 26'34.3" W e está localizado a 170 m da margem esquerda do Igarapé Curuá, distando cerca de 3 km da Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn).

#### 2.2.5.1 Clima e Vegetação

O clima nesta região é do tipo Am, de acordo com a classificação de Köppen, equatorial superúmido, precipitação pluviométrica mais intensa em alguns meses e um período mais curto com pluviosidade menor, apresentando temperatura média anual em torno de 26 °C. As temperaturas mais baixas ocorrem nos meses de janeiro e março, enquanto os meses mais quentes são outubro, novembro e dezembro, com temperaturas médias acima de 27 °C. Os meses mais úmidos vão de janeiro a junho, e os mais secos vão de outubro a dezembro (PARÁ, 2009).

Nestes solos desenvolve-se agricultura de subsistência, principalmente a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), uma atividade herdada dos povos pré-históricos horticultores, que se desenvolveram na Amazônia há mais de 4000 anos antes do presente e que continua atualmente (ROOSEVELT, 1991).

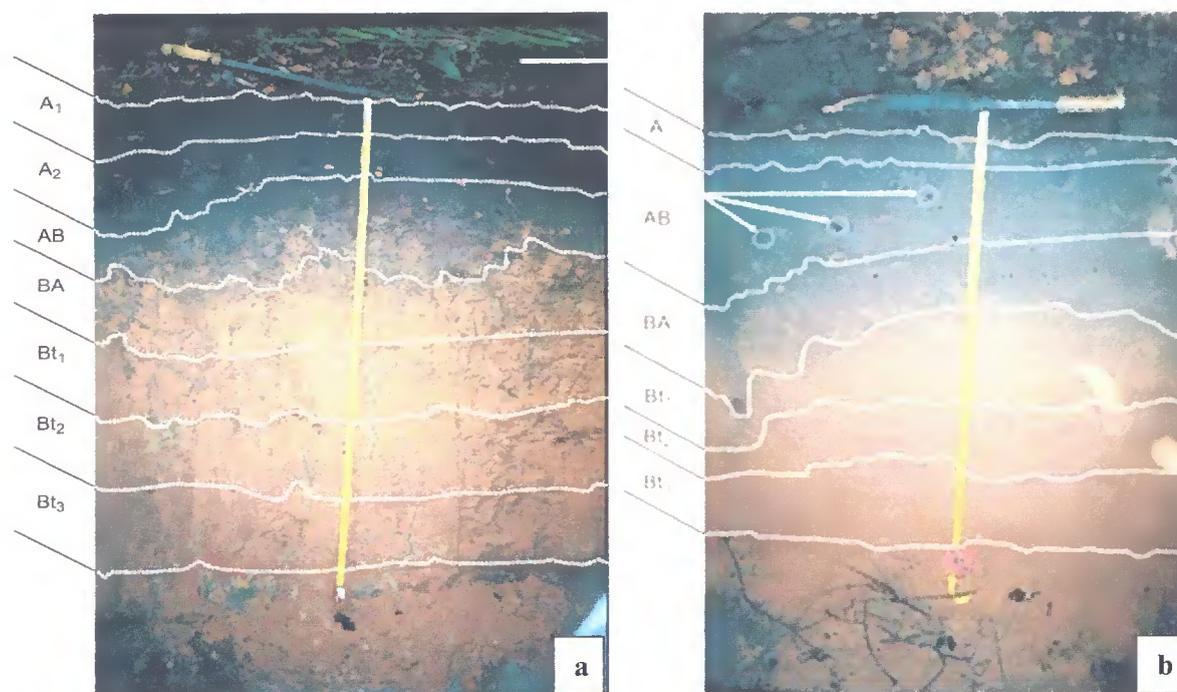
#### 2.2.5.2 Solo

Segundo Costa et al. (2002) a região de Caxiuanã é formada por sedimentos cretáceos da Formação Alter do Chão, lateritizados e truncados ao nível do horizonte pálido caulínico, constituindo tanto o relevo mais acidentado, com morros ondulados e quase-platôs, bem como as áreas baixas. Essas áreas, normalmente estão parcialmente cobertas por sedimentos areno-argilosos amarelos, que poderiam ser comparados à Formação Barreiras.

Costa et al. (2002) caracterizou e classificou o solo deste sítio como Argissolo Amarelo, de textura Franco argilo arenosa a argilosa no horizonte A e apresenta-se argilosa no horizonte Bt. Com horizonte A antropogênico, apresentando fragmentos cerâmicos e/ou artefatos líticos e uma alta fertilidade.

O perfil de Terra Preta alcançou a profundidade 143 cm, apresenta um horizonte A com espessura de 21 cm e cor preta (10Y R2/1), alguns fragmentos cerâmicos e raízes. Os horizontes de transição AB e BA ocupam o intervalo de profundidade entre 21 a 61 cm e suas cores variam de cinza muito escuro (10Y R3/1) a marrom escuro amarelado (10YR4/6). No horizonte BA, verificaram-se fragmentos de carvão. Os horizontes B textural se estendem de 61 a 143 cm e têm cor marrom amarelado (10Y R5/6) a marrom forte (7,5Y R5/6).

Na área adjacente ao sítio Raimundo a profundidade também chegou a 143 cm, apresentando horizonte A nos primeiros 14 cm, cor marrom escuro (10Y R3/3) e rico em fragmentos de carvão. Os horizontes de transição AB e BA se estendem de 14 a 63 cm de profundidade e apresentam cor marrom (10Y R4/3) e marrom amarelado (10Y R5/6), respectivamente. O horizonte AB contém alguns fragmentos de carvão. Os horizontes Bt se estendem de 63 a 143 cm de profundidade. O horizonte Bt<sub>1</sub> tem cor marrom amarelado (10Y R5/8) e os horizontes Bt<sub>2</sub> e Bt<sub>3</sub> são amarelos amarronzados (10Y R6/8) (Figura 5).



**FIGURA 5** – Perfis de solo do sítio Raimundo na região de Caxiuanã-PA com horizonte A antropogênico (a) e área adjacente (b)

Fotos: Mariléia Silva do Carmo (2008)

### 2.2.6 Amostragem do solo

Para a escolha das áreas de coleta, primeiramente vários sítios arqueológicos foram visitados em cada região. Os sítios foram escolhidos por estarem mais preservados, pela menor extensão e pela facilidade de deslocamento sobre sua superfície.

A amostragem do solo foi realizada nos perfis segundo procedimento pedológico, onde um perfil de solo é examinado até a uma profundidade de 1,20 m ou mais. Mesmo reconhecendo a grande variabilidade dos solos dentro dos sítios de TPA, usualmente, tem sido selecionado um perfil de solo “representativo” do sítio que apresente a maior expressão da atividade antrópica local. O mesmo procedimento amostral foi realizado na área adjacente buscando-se o máximo de contrastes entre essas duas regiões, para evidenciar as modificações ocorridas ao longo do tempo (Figura 6).

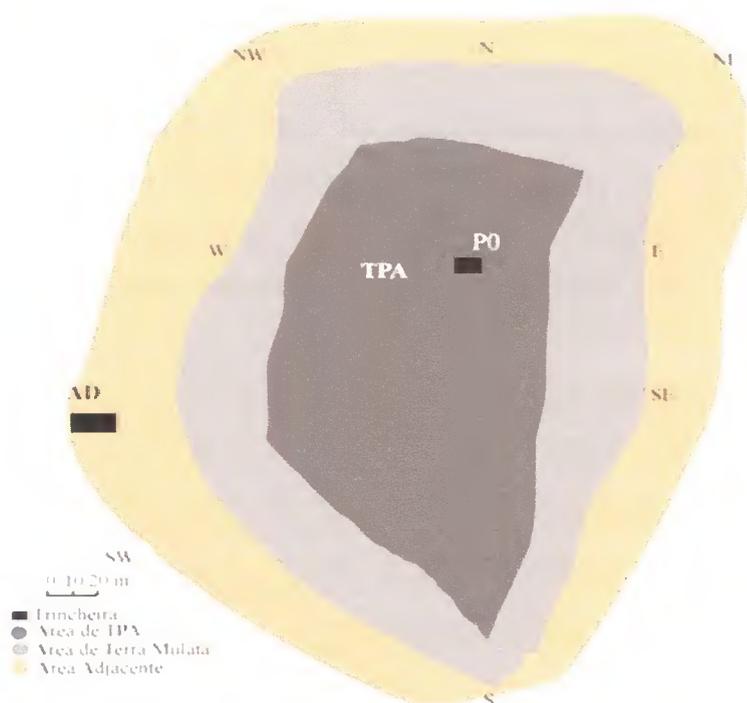


FIGURA 6- Representação da amostragem dos pontos de coleta nos sítios de TPA e áreas adjacentes

Em cada perfil as amostras foram coletadas nos horizontes, A1, AB, BA, B que apresentaram as seguintes profundidades (Quadro 1):

**QUADRO 1** - Profundidades dos horizontes A1, AB, BA e B nos sítios de TPA e áreas adjacentes

Sítio	Profundidade (cm)			
	A1	AB	BA	B
Terra Preta 2 TPA	0-10	80-130	130-150	>150
Terra Preta 2 AD	0-10	20-55	55-80	80-100
BJ 8 TPA	0-3	42-73	73-88	88-110
BJ 8 AD	0-10	10-22	22-32	32-52
Onça Puma 3 TPA	0-10	28-37	37-48	48-68
Onça Puma 3 AD	0-6	6-19	19-30	30-49
Jabuti TPA	16-42	68-90	90-124	>124
Jabuti AD	18-28	28-42	42-60	>60
Raimundo TPA	0-21	21-40	40-61	61-90
Raimundo AD	0-14	14-40	40-63	63-92

Para a descrição dos perfis utilizou-se o método proposto por Lemos e Santos (2002) que consiste na descrição da textura, estrutura, profundidade, consistência, presença de raízes e outras observações. A cor dos horizontes foi classificada através da comparação da amostra do solo úmido com a carta de cores de Munsell (2000).



### 2.2.7 Análises químicas

As amostras de solo dos sítios de TPA e suas áreas adjacentes foram analisadas quimicamente de acordo com a metodologia descrita por EMBRAPA (1997), determinando-se os seguintes atributos: pH em água e em KCl mol L<sup>-1</sup>, medidos com potenciômetro na relação solo:solvente 1:2,5. A acidez potencial (H + Al<sup>3+</sup>) foi obtida com extração de CH<sub>3</sub>COO<sub>2</sub>Ca mol L<sup>-1</sup> pH 7,0 e determinada por titulação com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>. O P disponível, enquanto que os de K<sup>+</sup> e o Na<sup>+</sup> trocáveis foram extraídos com solução Mehlich 1. O teor de P foi determinado por colorimetria (comprimento de onda 660µm) e o K<sup>+</sup> e o Na<sup>+</sup> foram determinados por fotometria de chama. O Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> trocáveis foram extraídos com solução de KCl mol L<sup>-1</sup>. O Ca<sup>2+</sup> e o Mg<sup>2+</sup> foram determinados por meio de titulação com EDTA 0,025 mol L<sup>-1</sup> e o Al<sup>3+</sup> por titulação com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>. O Carbono orgânico foi determinado por oxidação via úmida com K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,4 mol L<sup>-1</sup> e titulado pelo Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O 0,1 mol L<sup>-1</sup> e indicador difenilamina e a matéria orgânica estimada pelo fator de multiplicação de 1,72 (em g kg<sup>-1</sup> de solo).

A extração dos micronutrientes Cu, Mn, Fe e Zn foi realizada com solução extratora Mehlich 1 na relação solo extrator 1:5 e a determinação por espectrofotometria.

Os resultados das análises químicas foram utilizados para estimar a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica total (CTC) e as saturações por bases (V%) e por alumínio (m%). Os dados de atributos químicos foram classificados de acordo com a classificação proposta por Cravo et al. (2007) e Alvarez et al. (1999).

### 2.2.8 Análise física

A análise granulométrica consistiu na separação e quantificação das frações areia, silte e argila, a partir da TFSA pelo método da pipeta, conforme metodologia descrita por EMBRAPA (1997).

## 2.2.9 Fracionamento do fósforo

### 2.2.9.1- P total (PT)

A extração do P total do solo seguiu a metodologia proposta por Olsen e Sommers (1982). Em amostras de 1 g de solo finamente moído de cada amostra, foram adicionados 10 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado em erlenmeyer de 250 cm<sup>3</sup> e aquecido em placa aquecedora a 140 °C até a oxidação da matéria orgânica. Logo após, adicionou-se 15 mL de HClO<sub>4</sub> a 60% e aqueceu-se novamente na placa a 180 °C para a evaporação completa do ácido. Com solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 mol L<sup>-1</sup> transferiu-se a mistura para balão volumétrico de 50 mL, seguido de centrifugação a 3100 rpm por 5 minutos, o sobrenadante foi recolhido para a quantificação do P total.

A quantificação do P total no extrato digerido foi realizada por espectrofotometria, comprimento de onda de 660 nm, a partir da formação da cor azul do complexo fosfato-molibdato em solução ácida, utilizando-se como agente redutor ácido ascórbico (MURPHY; RILEY, 1962).

### 2.2.9.2 Fracionamento do fósforo orgânico (Po) do solo

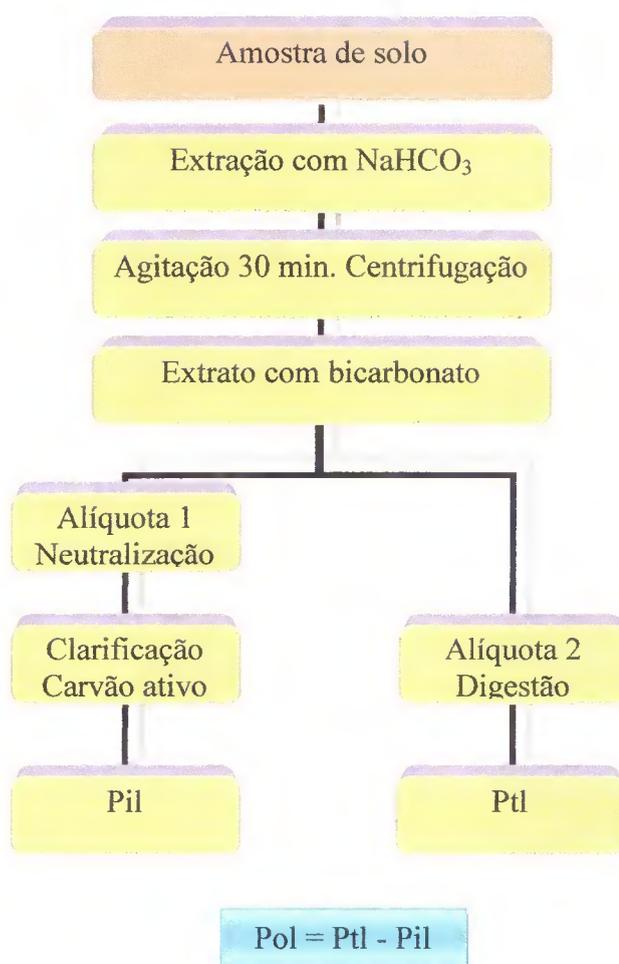
A fração lábil do Po, obtida a partir da extração com bicarbonato de sódio, seguiu a metodologia proposta por Bowman e Cole (1978a). A partir da extração seqüencial com ácido diluído e alcali, determinou-se o Po solúvel em meio reacional ácido (Po-H<sup>+</sup>) e o Po solúvel em meio reacional alcalino (Po-OH<sup>-</sup>), segundo metodologia preconizada por Bowman (1989). Seguiu também, a adaptação sugerida por Guerra (1993), quanto ao uso do carvão ativo.

### 2.2.9.3 Extração do P inorgânico (Pil) e total lábil (Ptl) com $\text{NaHCO}_3$

Amostras de 2 g de solo finamente moído ( $< 0,1$  mm) acondicionado em tubo de centrífuga que recebeu 40 mL de  $\text{NaHCO}_3$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  à pH 8,5, foram agitadas a 220 rpm por 30 minutos, seguido de centrifugação a 3100 rpm por 6 minutos (Figura 8).

Para a quantificação do P inorgânico lábil (Pil) retirou-se uma alíquota de 15 mL do extrato sobrenadante obtido com  $\text{NaHCO}_3$  e adicionou-se 135 mg de carvão ativo purificado com  $\text{NaHCO}_3$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  em erlenmeyer de 125 mL. Agitou-se as amostras por 3 minutos, em agitador horizontal, e procede-se a filtração com papel filtro de filtração rápida. Em 10 mL extrato purificado adicionou-se 1,5 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $2,5 \text{ mol L}^{-1}$  e procedeu-se a quantificação foi feita segundo Murphy e Riley (1962).

Para a quantificação do P total lábil (Ptl) retirou-se 15 mL do sobrenadante e adicionaram-se 1,5 mL de cloreto de magnésio ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) saturado, 1,5 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $2,5 \text{ mol L}^{-1}$  e 3,0 mL de solução nitroperclórica ( $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ ) 1:1,5 (v/v). Acondicionaram-se os tubos em bloco digestor e elevou-se a temperatura lentamente até atingir  $150^\circ\text{C}$ . A digestão foi concluída quando notou-se a formação de gel incolor, o qual foi diluído com 5 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  e transferido para balão volumétrico de 50 mL. Logo após, aferiu-se o volume e a quantificação Ptl foi feita através de espectrofotometria (MURPHY; RILEY, 1962).



**FIGURA 8-** Diagrama esquemático do procedimento utilizado para o fracionamento do fósforo orgânico lábil do solo (BOWMAN; COLE, 1978a)

#### 2.2.9.4 Extração do P inorgânico e total moderadamente lábil com $H_2SO_4$

O correspondente a 1 g de solo finamente moído ( $< 0,1$  mm), foi pesado e adicionando em tubo de centrífuga de 50 mL para extração do  $Pi-H^+$  e  $Pt-H^+$ . Em seguida, adicionou-se 1,5 mL de  $H_2SO_4$  concentrado e 3 mL de água, agitou-se em agitador vórtex durante 2 segundos. Acrescentou-se 45,5 mL de água destilada, seguido de agitação e centrifugação a 3100 rpm e  $25$  °C por 10 minutos. Recolheu-se o sobrenadante em frascos (extrato em meio reacional ácido) para obtenção das frações de fósforo (Figura 9).

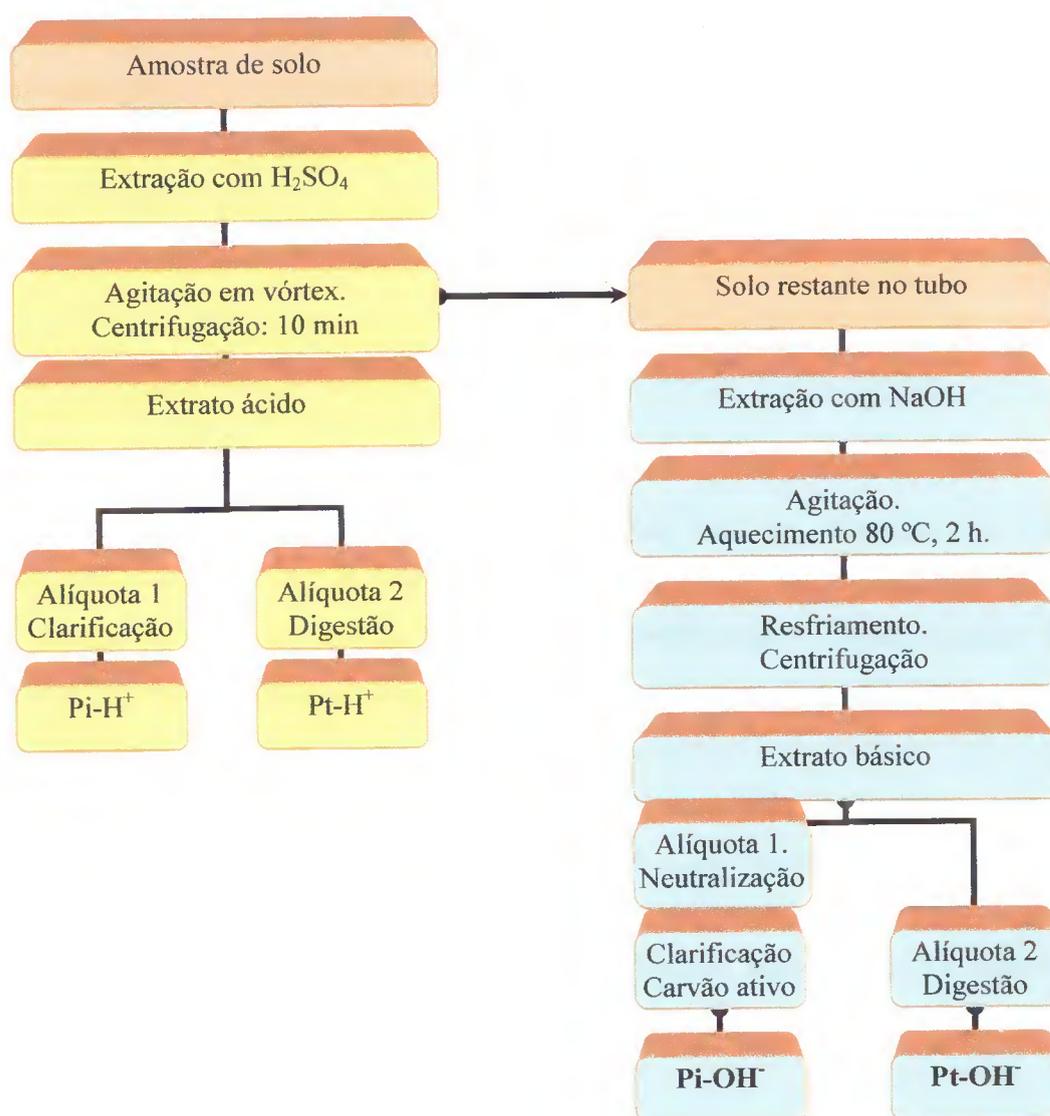


FIGURA 9- Diagrama esquemático do fracionamento sequencial do fósforo orgânico do solo em meio reacional ácido e em meio reacional básico (BOWMAN, 1989).

Para a quantificação do P inorgânico moderadamente lábil pipetou-se 10 mL do sobrenadante para erlenmeyer de 125 mL, sendo clarificado com 0,5 g de carvão ativo em pó previamente purificado com ácido sulfúrico. Depois o extrato foi agitado em agitador horizontal por 3 minutos, filtrado e quantificado em espectrofotômetro segundo Murphy e Riley (1962).

Para a quantificação do P total moderadamente lábil retirou-se 15 mL do extrato ácido para tubo de digestão e adicionou-se 1,5 mL de cloreto de magnésio ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ) saturado e 3 mL de solução ácida nitro-perclórica 1,0:1,5 ( $HNO_3:HClO_4$ ). Em seguida, agitou-se os tubos vagarosamente, colocando-os em bloco digestor aumentando a temperatura até

atingir 150 °C. Após a formação de gel incolor e com os tubos ainda aquecidos adicionou-se 5 mL de água para diluir o gel. O volume do tubo foi recolhido em balão volumétrico de 50 mL, retirando-se deste uma alíquota de 5 mL que foi quantificada em espectrofotômetro de acordo com Murphy e Riley (1962).

#### 2.2.9.5 Extração do P inorgânico e total moderadamente resistente com NaOH

Ao tubo de centrifuga contendo o resíduo de solo da extração com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, adicionou-se 50 mL de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>, agitando-o em agitador vórtex por 15 segundos, seguido de banho-maria a 80 °C por 2 horas e resfriamento em água corrente. Logo após, o extrato foi centrifugado e recolheu-se o sobrenadante em frasco limpo (extrato em meio reacional alcalino).

Para a quantificação do P inorgânico moderadamente resistente pipetou-se 10 mL do sobrenadante para erlenmeyer de 125 mL, adicionando-se 1 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2,5 mol L<sup>-1</sup> e 0,5g de carvão ativo em pó previamente purificado com hidróxido de sódio. A mistura foi agitada em agitador horizontal por 3 minutos, filtrada, utilizando-se papel filtro. O filtrado foi recolhido em recipiente limpo para a quantificação no espectrofotômetro de acordo com o descrito por Murphy e Riley (1962).

Para a quantificação do P total moderadamente resistente retirou-se 15 mL do extrato alcalino para o tubo de digestão e adicionou-se 1,5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2,5 mol L<sup>-1</sup> e 3 mL de solução ácida nitro-perclórica 1,0:1,5 (HNO<sub>3</sub>:HClO<sub>4</sub>). Os tubos foram colocados em bloco digestor, elevando-se a temperatura lentamente até atingir 150 °C e a formação de um gel incolor, com os tubos ainda aquecidos, diluiu-se o gel com 5 mL de água e transferindo e aferindo para balão volumétrico de 50 mL. Retirou-se uma alíquota de 5 mL para posterior leitura no espectrofotômetro de absorção atômica, de acordo com Murphy e Riley (1962).

Uma vez encontrado os teores de P<sub>i</sub> e de P<sub>t</sub> para cada uma das frações estudadas, por diferença encontra-se o P<sub>o</sub>, P<sub>t</sub> - P<sub>i</sub> = P<sub>o</sub>.

### 2.2.10 Análises estatísticas

Os resultados foram processados utilizando procedimentos da estatística descritiva para os atributos químicos do solo.

Os dados dos atributos químicos, das frações granulométricas e das formas de fósforo dos sítios de TPA e áreas adjacentes foram submetidos a uma análise multivariada (análise de componentes principais), sendo utilizado o software R (IHAKA; GENTLEMAN 1996, *R-Development-Core-Team* 2009). A Análise dos Componentes Principais, PCA (do inglês “Principal Component Analysis”), tem por finalidade básica a redução de dados a partir de combinações lineares das variáveis originais. PCA é um método exploratório porque ajuda na elaboração de hipóteses gerais a partir dos dados coletados, contrastando com estudos direcionados nos quais hipóteses prévias são testadas. Ela é capaz de separar a informação importante da redundante. Na análise de componentes principais (ACP), o primeiro componente principal explica o maior grau de variabilidade, que vai diminuindo para cada componente à medida que sua ordem aumenta (CP 2, CP 3...). A significância estatística dos agrupamentos (tratamentos) foi avaliada pelo teste de permutação de Monte Carlo.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 Atributos químicos do solo

Os resultados da análise química dos atributos dos solos estudados, referentes aos horizontes A1, AB, BA e B dos sítios de TPA e das áreas adjacentes (AD), são apresentados na Tabela 1.

O pH (H<sub>2</sub>O) nas TPA apresentou média de 5,6 para todos os horizontes, enquanto nas áreas adjacentes a maior média foi de 4,9 valores médios típicos de Latossolos da Amazônia que são fortemente ácidos. Este valor está dentro da faixa observada por Falcão et

al.(2003) em Argissolo Vermelho Amarelo em Manacapuru (AM) e por Silva et al. (2006), em floresta secundária e pastagem abandonada com capim braquiária em Marituba (PA). As principais causas dos baixos valores de pH nos solos da região são a elevada intemperização em que se encontram e a rápida e contínua decomposição do material orgânico causada pelas altas temperaturas e umidade, liberando íons  $H^+$  (MALAVOLTA, 1987; SOUZA et al., 2007).

Os valores de pH encontrados neste trabalho estão de acordo com os estudos que mostram os valores de pH em TPA mais elevados do que na maioria dos solos amazônicos, podendo ser encontrados valores superiores a 6,0 (FALESI, 1972; KERN, 1988; PABST, 1991; KERN, 1996; CUNHA, 2005). Os maiores valores observados nos sítios de TPA em comparação as áreas adjacentes, provavelmente, são devidos aos maiores teores de cátions, especialmente cálcio e magnésio e também a presença de carvão nesses solos. Oguntunde, (2004) reportou o aumento no pH do solo, após a produção de carvão, atribuídas ao aumento do nível de cátions trocáveis que este material proporcionou ao solo. Este aumento também foi observado, em estudos envolvendo sistemas que adotam a derrubada e queima e em solos onde foi adicionado carvão (GLASER, et al., 2002).

Os valores de Al trocável foram superiores em todos os horizontes nas áreas adjacentes encontrando-se no horizonte A1 uma média de  $1,02 \text{ cmolc} \cdot \text{dm}^{-3}$  em comparação a um valor médio de  $0,14 \text{ cmolc} \cdot \text{dm}^{-3}$  na TPA. Em geral houve tendência ao aumento do Al trocável com o aumento da profundidade. Os valores de pH e Al trocável verificados nas áreas adjacentes estão de acordo com os valores apresentados em outras pesquisas realizadas na Amazônia, relatando-se altos teores de Al contrastando com pH baixo caracterizando solos ácidos (CHAUVEL; BOULET, 1987; RODRIGUES, 1996).

TABELA 1 - Estatística descritiva da fertilidade dos solos de sítios de TPA e áreas adjacentes nos horizontes A1, AB, BA e B

Estatística	pH	M.O g kg <sup>-1</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTCef	V	m	----- %	
												H <sub>2</sub> O	cmolc kg <sup>-1</sup>
<b>A1-TPA</b>													
Terra Preta 2	4,8	15,84	53	0,06	4,8	1,2	0,2	2,81	6,26	67,86	3,16		
BJ 8	6,3	25,06	20	0,31	8,8	3,6	0,1	0,99	12,81	92,04	0,77		
Onça Puma3	6,9	37,33	169	0,39	16,1	1,6	0,1	0,83	18,19	95,07	0,55		
Jabuti	4,7	39,13	1138	0,11	8,8	0,3	0,2	8,75	9,41	50,75	2,08		
Raimundo	5,2	27,29	90	0,13	9,7	2,4	0,1	5,94	12,33	66,85	0,80		
MÉDIA	5,6	28,93	294	0,20	9,64	1,82	0,14	3,86	15,64	74,51	1,47		
MÍNIMO	4,7	15,84	20	0,06	4,8	0,3	0,1	0,83	8,93	50,75	0,55		
MÁXIMO	6,9	39,13	1138	0,39	16,1	3,6	0,2	8,75	19,02	95,07	3,16		
DESVIO PADRÃO	0,97	9,53	475,06	0,14	4,08	1,25	0,05	3,42	4,28	18,69	1,12		
C. V	17,44	32,96	161,59	69,72	42,32	68,67	39,12	88,48	27,34	25,09	76,05		
<b>A1-ADJ</b>													
Terra Preta 2	4,7	6,74	5	0,046	0,3	0,2	1,5	1,49	2,05	26,04	71,19		
BJ 8	5,2	22,32	4	0,189	6,6	0,7	0,1	1,98	7,59	78,26	1,30		
Onça Puma3	5,9	34,19	3	0,228	7,4	1,6	0,1	2,31	9,33	79,29	1,06		
Jabuti	4,3	36,26	41	0,079	0,8	0,9	1,2	8,09	2,98	17,89	39,30		
Raimundo	3,9	22,64	13	0,064	0,4	0,1	2,2	7,92	2,76	6,60	77,76		
MÉDIA	4,8	24,43	13,2	0,12	3,1	0,7	1,02	4,36	8,36	41,62	38,12		
MÍNIMO	3,90	6,74	3	0,05	0,30	0,10	0,10	1,49	2,10	6,60	1,06		
MÁXIMO	5,90	36,26	41	0,23	7,40	1,60	2,20	8,09	11,64	79,29	77,76		
DESVIO PADRÃO	0,78	11,79	16,04	0,08	3,58	0,60	0,91	3,34	3,67	34,62	36,73		
C. V	16,27	48,25	121,50	67,32	115,36	86,31	89,69	76,70	43,94	83,19	96,34		
<b>CLASS. FERTILIDADE</b>													
	B	MA	M	A	M	M	A	M	M	M	M	M	M

TABELA 1- Estatística descritiva da fertilidade dos solos de sítios de TPA e áreas adjacentes nos horizontes A1, AB, BA e B (continuação...)

Estatística	pH H <sub>2</sub> O	M.O g kg <sup>-1</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTCef	V	m	%	
												AB-TPA	AB-ADJ
Terra Preta 2	5,4	8,69	55	0,02	2,5	0,6	0,2	3,47	3,32	47,16	5,98		
BJ 8	5,9	10,47	4	0,05	2,7	0,6	0,1	0,83	3,45	79,34	2,86		
Onça Puma 3	6,3	17,08	11	0,07	5	2,4	0,1	2,31	7,57	76,11	1,32		
Jabuti	5,5	19,61	999	0,06	5,1	1,2	0,3	4,29	6,66	57,60	4,26		
Raimundo	5,2	5,17	53	0,04	2	0,4	0,1	2,15	2,54	43,25	5,41		
MÉDIA	5,6	12,204	224,4	0,05	3,46	1,04	0,16	2,61	7,47	60,69	3,96		
MÍNIMO	5,2	5,17	4	0,02	2	0,4	0,1	0,83	4,23	43,25	1,32		
MÁXIMO	6,3	19,61	999	0,07	5,1	2,4	0,3	4,29	11,04	79,34	5,98		
DESVIO PADRÃO	0,44	5,99	433,65	0,02	1,47	0,82	0,09	1,33	2,86	16,45	1,90		
C.V	7,76	49,07	193,25	37,63	42,60	78,59	55,90	50,80	38,33	27,10	47,97		
CLASS. FERTILIDADE	M	MA	A	B	M	M	B	M	M	A	MB		
Terra Preta 2	4,8	4,2	1	0,02	0,3	0,2	2,7	6,6	3,22	7,27	82,94		
BJ 8	5,8	4,81	2	0,08	2,9	0,8	0,1	1,49	3,88	71,16	2,55		
Onça Puma 3	5,8	15,86	2	0,14	4,4	0,8	0,1	1,82	5,44	73,72	1,81		
Jabuti	4	5,38	4	0,04	0,3	0,2	2,2	5,61	2,74	8,67	79,41		
Raimundo	4,2	13,48	1	0,04	0,4	0,1	2	5,94	2,54	8,29	76,47		
MÉDIA	4,9	8,75	2	0,06	1,66	0,42	1,42	4,29	6,49	33,82	48,64		
MÍNIMO	4	4,2	1	0,02	0,3	0,1	0,1	1,49	5,32	7,27	1,81		
MÁXIMO	5,8	15,86	4	0,14	4,4	0,8	2,7	6,6	7,24	73,72	82,94		
DESVIO PADRÃO	0,86	5,49	1,22	0,05	1,89	0,35	1,23	2,44	0,79	35,27	42,47		
C.V	17,39	62,76	61,24	73,67	114,03	83,16	86,74	56,76	12,13	104,27	87,33		
CLASS. FERTILIDADE	B	MA	MB	M	B	A	M	M	M	B	M		

**TABELA 1** - Estatística descritiva da fertilidade dos solos de sítios de TPA e áreas adjacentes nos horizontes A1, AB, BA e B (continuação...)

Estatística	pH H <sub>2</sub> O	M.O g kg <sup>-1</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTCef	V	m	%	
												cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	
<b>BA-TPA</b>													
Terra Preta 2	5,3	4,11	42	0,02	1,7	0,4	0,3	1,65	2,42	55,72	12,22		
BJ 8	6,2	8,04	11	0,04	2,4	0,3	0,1	0,83	2,84	76,03	3,47		
Onça Puma3	6,1	5,56	13	0,05	2,3	1	0,1	1,49	3,45	68,83	2,88		
Jabutí	5,6	3,47	961	0,05	2,3	0,3	0,1	1,49	2,75	61,22	3,40		
Raimundo	5,4	2,86	39	0,08	1,7	0,6	0,1	1,32	2,48	61,02	3,73		
MÉDIA	5,6	4,808	213,2	0,05	2,08	0,52	0,14	1,36	4,10	64,57	5,14		
MÍNIMO	5,3	2,86	11	0,02	1,7	0,3	0,1	0,83	3,61	55,72	2,88		
MÁXIMO	6,2	8,04	961	0,08	2,4	1	0,3	1,65	4,86	76,03	12,22		
DESVIO PADRÃO	0,41	2,07	418,28	0,02	0,35	0,29	0,09	0,32	0,50	7,93	3,97		
C.V	7,14	42,98	196,19	43,01	16,79	56,72	63,89	23,33	12,24	12,29	77,23		
CLASS. FERTILIDADE	M	A	A	B	M	M	B	B	B	A	MB		
<b>BA-ADJ</b>													
Terra Preta 2	4,8	1,96	1	0,02	0,3	0,1	2,8	5,28	3,22	7,25	86,15		
BJ 8	5,5	3,25	1	0,06	1,8	1	0,1	1,16	2,96	70,53	3,34		
Onça Puma3	5,8	11,54	1	0,14	3	0,9	0,1	1,82	4,14	68,22	2,38		
Jabutí	4,1	1,06	1	0,03	0,3	0,2	1,7	3,63	2,23	12,57	75,50		
Raimundo	4,5	3,63	3	0,04	0,4	0,1	1,9	4,79	2,44	10,03	76,67		
MÉDIA	4,9	4,288	1,4	0,06	1,16	0,46	1,32	3,34	5,05	33,72	48,81		
MÍNIMO	4,1	1,06	1	0,02	0,3	0,1	0,1	1,16	4,05	7,25	2,38		
MÁXIMO	5,8	11,54	3	0,14	3	1	2,8	5,28	5,92	70,53	86,15		
DESVIO PADRÃO	0,70	4,18	0,89	0,05	1,21	0,45	1,19	1,80	0,88	32,61	42,15		
C.V	14,21	97,52	63,89	88,85	104,27	97,95	90,02	54,07	17,33	96,72	86,35		
CLASS. FERTILIDADE	B	A	B	B	B	B	A	M	M	B	M		

TABELA 1- Estatística descritiva da fertilidade dos solos de sítios de TPA e áreas adjacentes nos horizontes A1, AB, BA e B (continuação...)

Estatística	pH H <sub>2</sub> O	M.O g kg <sup>-1</sup>	P mg.dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTCef	V	m	----- %	
												cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	-----
<b>B-TPA</b>													
Terra Preta 2	5,3	3,24	48	0,02	1,6	0,4	2,7	1,49	4,72	57,07	56,94		
BJ 8	6,1	5,4	19	0,04	2,4	0,4	0,1	0,83	2,94	76,63	3,37		
Onça Puma3	5,7	8,36	4	0,13	2,6	0,6	0,1	1,82	3,43	64,10	2,88		
Jabutí	5,6	2,23	943	0,04	2,9	0,7	0,2	1,49	3,84	69,16	5,03		
Raimundo	5,3	2,82	1	0,03	1,9	0,4	0,1	0,99	2,43	69,59	4,08		
MÉDIA	5,6	4,41	203	0,05	2,28	0,5	0,64	1,32	4,21	67,31	14,46		
MÍNIMO	5,30	2,23	1,00	0,02	1,60	0,40	0,10	0,83	3,34	57,07	2,88		
MÁXIMO	6,10	8,36	943,00	0,13	2,90	0,70	2,70	1,82	5,27	76,63	56,94		
DESVIO PADRÃO	0,33	2,51	414,09	0,05	0,53	0,14	1,15	0,41	0,94	7,26	23,76		
C.V	5,92	56,95	203,99	90,73	23,08	28,28	180,06	30,60	22,42	10,78	164,35		
CLASS. FERTILIDADE	M	A	A	B	M	M	M	B	B	A	MB		
<b>B-ADJ</b>													
Terra Preta 2	4,8	1,09	4	0,02	0,3	0,2	2,5	3,96	3,02	11,53	81,83		
BJ 8	5,4	2,88	1	0,07	1,8	1	0,1	0,99	2,97	73,55	3,31		
Onça Puma3	5,8	11,08	1	0,22	2,9	0,9	0,1	1,82	4,12	67,89	2,38		
Jabutí	4,3	1,41	4	0,03	0,3	0,2	2,1	3,8	2,63	12,08	79,20		
Raimundo	4,5	8,14	27	0,02	0,3	0,1	1,5	2,64	1,92	13,51	76,02		
MÉDIA	4,9	4,92	7,4	0,07	1,12	0,48	1,26	2,64	4,36	35,71	48,55		
MÍNIMO	4,3	1,09	1	0,02	0,3	0,1	0,1	0,99	3,11	11,53	2,38		
MÁXIMO	5,8	11,08	27	0,22	2,9	1	2,5	3,96	5,93	73,55	81,83		
DESVIO PADRÃO	0,63	4,46	11,06	0,09	1,19	0,43	1,12	1,27	1,03	32,03	41,77		
C.V	12,64	90,59	149,45	119,47	106,10	90,09	88,66	48,19	23,58	89,70	86,04		
CLASS. FERTILIDADE	B	A	B	B	B	B	A	M	M	B	M		

pH: medido em água; P disponível e  $K^+$ : método Mehlich-I;  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e Al: extraído em KCl H+Al: acidez potencial medida em acetato de cálcio  $1 \text{ mol L}^{-1}$ ; M.O: Matéria Orgânica; Soma de Bases:  $SB = Ca+Mg+K$ ; Saturação por Bases (V%):  $V\% = (SB/CTC)*100$ ; Capacidade de Troca de Cátions efetiva (CTCef):  $CTCef = SB+Al$ ; Saturação por alumínio (m%):  $m\% = (CTCef/SB)*100$ . De acordo com a metodologia descrita por EMBRAPA (1997).

Nota: Classificação dos atributos químicos P disponível,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e Al: de acordo com Cravo et al. (2007); B- Baixo; M-Médio; A-Alto e o pH, MO, K, H+Al, CTCef, V% e m% segundo Alvarez et al. (1999); MB - Muito baixo; B - Baixo; M - Médio; A - Alto; MA - Muito alto.

Diferentemente dos solos de origem, os solos antrópicos apresentaram pH médio, enquanto que o teor de Al de acordo Alvarez et al.(1999) variou entre muito baixo e médio resultados corroborados por Brady e Weil, (1999); Lima et al.(2002).

Lima et al. (2009) estudando amostras de Argissolo e Latossolo Amarelo eutrófico antrópico observaram valores médios de  $Al^{3+}$  de 0,24 e 0  $cmolc\ dm^{-3}$ , respectivamente, em comparação a um Latossolo Amarelo distrófico típico e um Gleissolo Háptico que apresentaram valores médios de 0,96 e 0,85  $cmolc\ dm^{-3}$ .

O maior valor de CTC foi encontrado no horizonte A1 no sitio Onça Puma 3 TPA, com média de 15,64 havendo um decréscimo destes valores com a profundidade, o que ocorreu também nas adjacentes, sendo áreas os valores médios dos horizontes A1 e AB maiores nas TPA e inferiores aos valores das áreas adjacentes nos horizontes BA e B. Cunha et al. (2009) corroboraram com este trabalho em estudos de solos antropogênicos e Latossolos sem horizonte antrópico sob floresta e cultivados da Bacia Amazônica Brasileira. Benites et al. (2005) encontraram valores superiores de CTC aos das áreas adjacentes em 42 amostras de Terra Preta originárias do complexo rupestre de Altitude da Mantiqueira e do Espinhaço, estes observaram um valor médio de 20,25  $cmolc.dm^{-3}$  na camada superficial.

A maior CTC verificada no horizonte superficial das TPA deve-se provavelmente a maior deposição de resíduos orgânicos nestes solos (KERN, 1996). De acordo com Brady e Weil (1999), a magnitude da CTC de um solo resulta da natureza dos colóides minerais e orgânicos e do pH do mesmo. Nos solos das regiões tropicais e subtropicais a fração argila é constituída principalmente pela caulinita e óxidos de ferro e alumínio, cujas superfícies apresentam baixa concentração de cargas negativas, já na presença da MO os grupos funcionais carboxílicos e fenólicos aumentam a densidade desta carga, representando nesses solos em torno de 50 a 90% da CTC (ASADU et al., 1997). Ciotta et al.,(2003) com a finalidade de avaliar o efeito do sistema de plantio direto sobre o estoque de carbono orgânico(CO), bem como sua relação com a CTC de um Latossolo Bruno, constataram que o sistema de manejo contribuiu para o incremento de CO na camada superficial do solo, bem como promoveu o aumento na CTC do solo.

De acordo com Sombroek et al. (1993) o maior valor dessa variável não somente relaciona-se aos grupos funcionais da matéria orgânica, mas também a maior densidade de cargas por unidade de carbono. O carbono orgânico apresenta esta propriedade quando ocorre uma grande quantidade de carvão pirogênico, cuja oxidação produz grupos carboxílicos nas arestas dos núcleos aromáticos que aumentam a CTC. Este por sua vez, segundo Liang et al. (2006) apresenta maior superfície específica comparado aos resultantes de processos que

requerem altas temperaturas, bem como possuem uma maior densidade de carga negativa por unidade de área superficial. Segundo Glaser et al. (2002), a alta soma de bases é resultante ainda de cátions contidos nas cinzas do carvão, que podem está prontamente disponível para as plantas.

Lehmann et al. (2003) estudando solos arqueológicos da Amazônia Central e suas alterações após aplicação de esterco e carvão vegetal, verificaram o aumento da capacidade de troca de cátions de  $5,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para  $29,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Mbagwu e Piccolo (1997) observaram variações na capacidade de troca de cátions e na saturação por base (V%) em Argissolo de acordo com o maior teor de carvão no solo (Carvão  $\text{g kg}^{-1}$ : 0, 0,2; 2,0; 20; CTC: 5,6; 8,0; 16,3; 20,8; V: 97%, 100%, 100%, 100% , respectivamente).

No horizonte superficial verificou-se o maior valor de Ca com média de  $9,64 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  em TPA, enquanto na área adjacente a média foi de  $3,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . No horizonte subsuperficial estes valores reduziram para 2,28 e  $1,12 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , nas TPA e solos adjacentes respectivamente. Segundo Moreira e Malavolta (2002), o teor de Ca das TPA é originário de restos vegetais e animais, podendo representar 67,8% do Ca total, que em média é de  $3140 \text{ mg kg}^{-1}$ , em comparação aos Latossolos e Argissolos do Estado do Amazonas que apresentam em torno de 30,2 e  $44,0 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ca total, demonstrando a pequena contribuição do material de origem para Ca das TPA.

No horizonte A1 os teores de Ca apresentaram grande variação entre os sítios, observando-se que o valor mínimo foi de  $4,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  foi encontrado no sitio Terra Preta 2 enquanto o máximo de  $16,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  foi registrado no sitio Onça Puma 3 Esta variação pode está associada ao tipo de uso atual do solo, perdas por erosão superficial, à localização (LIMA et al., 2002) com o tamanho e período de ocupação das populações indígenas nas localidades (SJOBERG, 1976). Cunha et al. (2009) encontraram valores médios de cálcio em Terra Preta de  $8,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  em áreas sob floresta e  $7,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  em áreas cultivadas. Soares (2007), estudando áreas com diferentes sistemas de uso da terra, na região do Alto Solimões (AM), verificou que o tempo de pousio das capoeiras contribuiu para um incremento significativo nos teores de Ca no solo.

O Mg apresentou valor máximo de  $3,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no horizonte A do sitio BJ8 em comparação a  $0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  da área adjacente, o valor máximo no horizonte B das TPA de  $2,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  ocorreu no sitio Terra Preta 2. O menor valor nas áreas adjacentes é característico dos solos ácidos da Amazônia, onde normalmente o Mg encontra-se em baixos teores na solução do solo, seja devido as perdas de bases ao longo do perfil, à pobreza do material de origem ou ao baixo pH do solo (LUCHESE et al., 2001).

Por outro lado, os teores médios de Mg trocável apresentados neste estudo, estão abaixo da média em geral relatada na literatura que é  $2,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$  (MOREIRA; FAGERIA, 2009). Entretanto, Souza et al. (2009), estudando Latossolo e Argissolo amarelo antrópico corroboram com os resultados deste trabalho tendo observado também valores menores que  $2,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$  que foi de  $1 \text{ cmolc dm}^{-3}$  para o horizonte A1. Falcão e Borges (2006), avaliando a produtividade de mamão em Terra Preta, também encontraram valores inferiores ao citado por Moreira e Fageria, (2009), correspondendo a  $0,59 \text{ cmolc dm}^{-3}$  para a TPA não adubada. Esta variação pode ter as mesmas explicações apresentadas para o Ca, além disso, a quantidade e a qualidade do material que se deposita no solo, bem como as condições ambientais, influenciam a heterogeneidade, a taxa de decomposição do material depositado e a disponibilidade deste nutriente (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

No horizonte superficial da TPA observou-se que o teor médio de K foi de  $0,2 \text{ cmolc dm}^{-3}$ , enquanto que na sua área adjacente este valor foi de  $0,12 \text{ cmolc dm}^{-3}$ . Para os outros horizontes as TPA apresentaram a mesma média de  $0,05 \text{ cmolc dm}^{-3}$ , já nos solos adjacentes este valor variou entre  $0,06$  e  $0,07 \text{ cmolc dm}^{-3}$ . Estes baixos valores de K encontrados a partir do horizonte de transição AB, chegando inclusive apresentar valores médios inferiores aos dos solos de origem, deve-se a principio as características dos solos originais, em que ocorre a predominância de argilas cauliniticas, a ação pluviométrica que promove a lixiviação deste nutriente e a forma iônica. Além disso, segundo Lehmann et al. (2003) as práticas das populações indígenas como por exemplo o hábito alimentar, da utilização ou não de sais, podem causar também uma variação nos teores deste nutriente. Kern (1996), ao contrário encontrou altos teores de K nos horizontes A1.

O valor máximo de V% (95,64%) foi obtido no horizonte A1 do sitio Onça Puma 3 TPA em comparação a 79,29% da área adjacente. O valor mínimo de 50,75% pode ser observado no sitio Jabuti TPA, apresentando sua área adjacente valor expressivamente inferior de 17,89%. Em todos os horizontes das TPA os valores de V% obtidos as caracterizam como eutróficas, ao contrário dos valores médios apresentados nas áreas adjacentes que são característicos de solos distróficos causado principalmente pelo elevado grau de intemperização a que são submetidos nas regiões tropicais Mesmo sendo da mesma classe de solo, modo geral observa-se nos horizontes das TPA os maiores valores de pH, os quais estão diretamente ligados à menor saturação por alumínio (m) e à presença de cátions provenientes de resíduos orgânicos que são liberados junto às cinzas, na ocasião da queima (SMYTH; CHUGHTAI, 1997; HOLSCHER et al., 1997) prática cultural dos índios, contribuindo para o maior V%.

O teor médio de P disponível nas TPA foi de 294 mg kg<sup>-1</sup> no horizonte A1, com valor mínimo de 20 mg kg<sup>-1</sup> e máximo de 1138 mg kg<sup>-1</sup>, justificando o alto CV% de 161,59. Observou-se que houve um decréscimo desses valores com aumento da profundidade. Os valores das áreas adjacentes foram inferiores aos das TPA em todos os horizontes, registrando-se valor médio de 13,2 no horizonte A1, mínimo e máximo de 3 e 41 mg kg<sup>-1</sup>. Estes resultados sugerem que esses solos de referência sofreram até certo grau alguma influência antropogênica, uma vez que os valores típicos destes solos é em torno de 5 mg kg<sup>-1</sup> de P disponível extraídos com Mehlich-1 (RODRIGUES, 1996, SCHAEFER et al., 2000). O decréscimo dos valores de P observado ao longo dos horizontes, possivelmente, é devido à presença de P orgânico em maior quantidade na camada superficial, o qual é mineralizado e adicionado ao solo. Este fato foi também comprovado por Rodrigues; Vieira e Queiroz (1991), trabalhando com solos do Estado do Amapá.

Comportamento semelhante foi obtido por Lima et al. (2009) em sítios arqueológicos no município de Iraduba (AM), onde o P disponível no horizonte A1 em Argissolo Amarelo eutrófico apresentou valor de 173 mg.dm<sup>-3</sup> e no Latossolo Amarelo eutrófico 1991 mg.dm<sup>-3</sup>. Por outro lado o Latossolo Amarelo distrófico típico analisado apresentou o valor de 1 mg.dm<sup>-3</sup> para todos os horizontes, com Gleissolo Háptico apresentando no horizonte Ag 69 mg.dm<sup>-3</sup> de P disponível. Kern (1996) também estudando sítios com Terra Preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (PA) encontrou nas áreas de TPA teores significativamente mais elevados de P disponível no horizonte antrópico em relação às áreas adjacentes.

Segundo Kern e Kampf, (1989) Kern (1996), Lima et al. (2002), o elevado teor de P nas TPA, pode ser atribuído à incorporação de ossos de animais ou mesmo de seres humanos, de espinhas de peixes e de carapaças de quelônios, enfatizando a contribuição antrópica para a maior parte P encontrado. Santos e Santos (2003), relacionam o acúmulo de P na camada superficial dos solos, devido à pouca mobilidade e a baixa solubilidade de seus compostos, sobretudo em solos de natureza ácida, com altos teores de óxidos de ferro e alumínio.

Segundo Souza et al. (2009) a distribuição do P em profundidade nos solos antrópicos (horizontes AB, BA e B), pode ser resultante de intenso processo de pedoturbação. Considerando uma pluviosidade mais intensa e elevada porosidade dos solos (usualmente Latossolos e Argissolos caulínicos) o transporte vertical (em suspensão, solução ou por bioturbação) de constituintes no perfil pode ser favorecido. Mesmo sendo pouco móvel no solo, o P apresentou teores de até 943 mg.dm<sup>-3</sup> no horizonte B alcançando profundidade superior a 124 cm

Os menores valores de fósforo disponível encontrado nas áreas adjacentes correspondem a uma característica típica dos solos tropicais. No estado do Acre, o teor de P disponível em Argissolo Amarelo distrófico em uma área de mata foi menor que  $10 \text{ mg.dm}^{-3}$ , sendo também classificado como baixo (ARAÚJO, 2008). Moreira e Fageria (2009) encontraram grande variação para o teor de P disponível em solos do Estado do Amazonas com valor médio de  $5,1 \text{ mg kg}^{-1}$  na profundidade de 0-20 cm. Os baixos teores de fósforo disponível em solos amazônicos podem está associado à pobreza do material de origem e grande parte do fósforo se encontra na biomassa vegetal (LUIZÃO, 2007). Corazza (2002) relata que o P é reconhecido como um fator limitante da produção, devido à sua baixa disponibilidade, tanto pelo nível de reserva, como pela elevada capacidade de fixação do P no solo. Sanchez e Salinas (1981) estimaram que 96% dos solos da região amazônica são deficientes de P disponível. Os menores valores encontrados do sitio Terra Preta 2 e BJ 8 podem está associados a textura mais arenosa (Tabela 2) em que as perdas de P tendem a ser mais intensas.

A maior média para os valores de MO em TPA foi observada no horizonte A1, sendo de  $28,93 \text{ g kg}^{-1}$  com um valor mínimo de  $15,84$  e máximo de  $39,13 \text{ g kg}^{-1}$ . Nas áreas área adjacentes neste mesmo horizonte a média de MO foi de  $24,43 \text{ g kg}^{-1}$ , sendo mínimo de  $6,74$  e o máximo de  $36,26 \text{ g kg}^{-1}$ . Verificou-se que, tanto para as TPA, quanto para as suas áreas adjacentes os valores encontrados diminuem com o aumento da profundidade. A redução no teor de MO do horizonte superficial para os subseqüentes é esperada, pois está relacionada com a maior deposição superficial dos resíduos vegetais (LOPES et al., 2006). Em estudo com Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo da Amazônia em áreas sob vegetação nativa. Demattê e Demattê (1993) observaram na camada de 0-15 cm de profundidade valores máximos de MO de  $82,7 \text{ g kg}^{-1}$  e  $74,1 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente, resultantes da grande quantidade de folhas, galhos e troncos depositados no solo pela vegetação.

Os valores apresentados neste trabalho as Terras Pretas indicam uma tendência a ter maiores teores de MO em relação aos solos não antrópicos, embora exista alguma sobreposição entre as TPA e as áreas adjacentes. Resultados semelhantes podem ser encontrados amplamente na literatura (RANZANI et al., 1962; SOMBROEK, 1966; SMITH, 1980; KERN; KÄMPF, 1989; PABST, 1991; KERN 1996; MADARI et al., 2009. Em sítios de TPA em Trairão e Belterra (PA), observaram-se valores de CO de até 243 e  $210 \text{ g kg}^{-1}$  respectivamente (OLIVEIRA JR. et al., 2002; PABST, 1991).

TABELA 2- Análise Granulométrica dos solos dos sítios de TPA e áreas adjacentes

Sítios	Horizontes	A.Grossa	A.Fina g kg <sup>-1</sup>	Silte	Argila	Classe Textural
Latossolo						
Terra Preta 2-TPA	A1	497	272	151	80	Franco arenosa
Terra Preta 2-TPA	AB	473	278	110	140	Franco arenosa
Terra Preta 2-TPA	BA	403	275	183	140	Franco arenosa
Terra Preta 2-TPA	B1	354	312	175	160	Franco arenosa
Terra Preta 2 - ADJ	A1	509	228	183	80	Franco arenosa
Terra Preta 2 - ADJ	AB	407	266	188	140	Franco arenosa
Terra Preta 2 - ADJ	BA	421	235	205	140	Franco arenosa
Terra Preta 2 - ADJ	B1	362	224	234	180	Franco arenosa
Latossolo						
BJ 8 - TPA	A1	272	439	169	120	Franco arenosa
BJ 8 - TPA	AB	340	314	166	180	Franco arenosa
BJ 8 - TPA	BA	241	414	165	180	Franco arenosa
BJ 8 - TPA	B1	265	328	188	220	Franco arenosa
BJ 8 - ADJ	A1	192	307	281	220	Franca
BJ 8 - ADJ	AB	177	278	285	260	Franca
BJ 8 - ADJ	BA	135	239	306	320	Franco argilosa
BJ 8 - ADJ	B1	91	268	321	320	Franco argilosa
Argissolo						
Onça Puma 3 - TPA	A1	165	340	295	200	Franca
Onça Puma 3 - TPA	AB	158	349	253	240	Franco argilo arenosa
Onça Puma 3 - TPA	BA	70	315	255	360	Argilosa
Onça Puma 3 - TPA	B1	103	292	245	360	Argilosa
Onça Puma 3 - ADJ	A1	107	359	394	140	Franca
Onça Puma 3 - ADJ	AB	129	510	262	100	Franco arenosa
Onça Puma 3 - ADJ	BA	64	521	315	100	Franco arenosa
Onça Puma 3 - ADJ	B1	68	326	246	360	Franco argilosa
Gleissolo						
Jabuti-TPA	A1	17	771	133	80	Franco arenosa
Jabuti-TPA	AB	22	845	93	40	Areia franca
Jabuti-TPA	BA	18	878	45	60	Areia
Jabuti-TPA	B1	31	831	59	80	Areia franca
Jabuti - ADJ	A1	14	746	120	120	Franco arenosa
Jabuti - ADJ	AB	18	841	82	60	Areia franca
Jabuti - ADJ	BA	15	891	34	60	Areia
Jabuti - ADJ	B1	6	852	63	80	Areia franca
Argissolo						
Raimundo- TPA	A1	273	305	202	220	Franco argilo arenosa
Raimundo- TPA	AB	163	219	99	520	Argilosa
Raimundo- TPA	BA	159	124	117	600	Argilosa
Raimundo- TPA	B1	118	170	193	520	Argilosa
Raimundo- ADJ	A1	406	207	107	280	Franco argilo arenosa
Raimundo- ADJ	AB	235	261	124	380	Argilo arenosa
Raimundo- ADJ	BA	225	252	104	420	Argilosa
Raimundo- ADJ	B1	220	202	59	520	Argilosa

De acordo com Kämpf e Kern (2005) as TPA apresentam valores médios de 38,9 g kg<sup>-1</sup> CO, valor superior ao máximo encontrado neste estudo (22,69 g kg<sup>-1</sup>). Esta variação de valores entre os solos antrópicos especialmente para MO, provavelmente, é devido às circunstâncias de formação destes solos, ou seja, da adição de diferentes quantidades de resíduos orgânicos, da composição diferenciada destes materiais e aos diferentes intervalos de tempo, na era pré-colombiana (CUNHA et al., 2009). A grande variabilidade na distribuição dos resíduos orgânicos (KERN, 1988) e das frações da matéria orgânica (BECKMAN et al., 2005) também foi observada dentro de um único sítio de Terra Preta.

Pesquisas têm mostrado que a composição e as características da MO em TPA, contribuem significativamente para o aumento do grau de fertilidade desses solos (MADARI et al., 2009). Nas TPA, ao contrário do que ocorre em solos não antrópicos, as frações predominantes são mais recalcitrantes e persistentes em relação às mais solúveis (SOUZA et al., 2003), em que a estabilidade da matéria orgânica deve-se à presença de estruturas moleculares que conferem proteção à rápida decomposição microbiana.

Os dados sobre a fertilidade das Terras Pretas indicam elevada reatividade química da matéria orgânica em comparação aos solos não antrópicos. Lima et al. (2002) constataram que, em relação a solos não-antrópogênicos, as TPs de Iranduba apresentaram o predomínio de frações fortemente humificadas (humina e ácido húmico - HAF) e menores teores da fração ácidos fúlvicos, resultando em altas razões HAF/FAF. Isso é explicado em parte pelo elevado teor de carvão (C pirogênico) incorporado nas TPs (Glaser et al., 2000) durante sua formação.

O máximo valor de MO encontrado nas TPA no sítio Jabuti de 39,13 g kg<sup>-1</sup> pode estar relacionado à presença predominante de gramíneas na área, o que confere elevada produção, acúmulo e ciclagem de nutrientes pelas raízes (MORAES, 1995). Os estudos de Longo e Espidola (2000) e Dejardins et al. (2004), mostram o incremento de CO após a substituição de floresta por pastagens na Amazônia. Nos sítios Onça Puma 3 e BJ 8 que também apresentam esta vegetação, verificou-se valores de MO de 37,33 e 25,06 g kg<sup>-1</sup>, tal variação possivelmente pode ser resultante da diferenciação dos manejos aplicados. Em relação ao Gleissolo deve-se considerar ainda a ciclagem de nutrientes através de processos biogeoquímicos que mantêm o teor de MO mais estável no solo e condições especiais como drenagem deficiente, restringem a decomposição da matéria orgânica.

Os teores mais elevados de argila encontrados nos sítios Onça Puma 3 e Raimundo parece ter contribuído para maior estabilidade da MO, ocorrendo a interação orgâno-mineral entre os colóides inorgânicos e orgânicos, que favorecem a estabilidade do C-orgânico e

conseqüente melhoria da CTC. Isso pode ser constatado pelo valor máximo de CTC no sitio Onça Puma 3 TPA, seguido do sitio Raimundo TPA ( $18,30 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). Esses mesmos fatores também foram verificados por Glaser et al., (2003), Corrêa (2007).

Entre os micronutrientes, foram verificados teores elevados de Fe e baixos teores de Cu, Mn, Zn, nas áreas adjacentes (Tabela 3), o que está de acordo com outros resultados em solos Amazônicos (RODRIGUES; MALAVOLTA, 1998; LEHMANN et al., 2003).

No horizonte A1 o teor médio de Cu nas as áreas de TPA foi de  $1,07 \text{ mg dm}^{-3}$  variando entre  $0,05$  e  $2,6 \text{ mg dm}^{-3}$ , sendo superior ao valor encontrado nas áreas adjacentes que foi de  $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$  com os valores mínimos e máximos de  $0,1$  e  $1,2 \text{ mg dm}^{-3}$  havendo um aumento em profundidade, possivelmente pela mobilidade deste micronutriente, em que seus valores influenciados pela atividade humana extrapolaram os horizontes antrópicos. Dinâmica similar foi encontrada por Corrêa (2007) em estudos de Terras Pretas de Índio na região do Baixo Rio Negro/Solimões (AM).

Os valores de Mn na TPA ( $169,78 \text{ mg dm}^{-3}$ ) foram em média superiores nos horizontes A1 das TPA em comparação  $119,30 \text{ mg dm}^{-3}$  dos solos adjacentes. Observou-se uma redução dos teores do nutriente nos horizontes de transição e no B1, reforçando a relação destes com o material adicionado, especialmente a estrutura da matéria orgânica. Conforme Kern e Kämpf (1989), as folhas de palmeiras utilizadas na cobertura de habitações, que são renovadas periodicamente, podem ser uma fonte importante de Mn, Zn, K, Ca e Mg para o solo.

TABELA 3: Estatística descritiva dos micronutrientes dos solos de sítios de TPA e áreas adjacentes nos horizontes A1, AB, BA e B

Estatística	mg dm <sup>-3</sup>				
	Cu	Fe	Mn	Zn	
<b>A1-TPA</b>					
Terra Preta 2	0,25	65,90	79,21	8,06	
BJ 8	2,60	20,35	301,30	15,60	
Onça Puma3	2,05	21,10	140,25	7,80	
Jabutí	0,05	125,80	88,80	14,65	
Raimundo	0,40	10,75	239,35	4,35	
MÉDIA	1,07	48,78	169,78	10,09	
MÍNIMO	0,05	10,75	79,21	4,35	
MÁXIMO	2,60	125,80	301,30	15,60	
DESVIO PADRÃO	1,17	48,08	97,17	4,83	
C.V	109,22	98,56	57,23	47,90	
CLASS. FERTILIDADE	M	A	A	A	
<b>A1-ADJ</b>					
Terra Preta 2	0,59	391,25	0,55	0,35	
BJ 8	0,50	57,90	388,25	7,90	
Onça Puma3	0,10	148,55	204,40	1,05	
Jabutí	1,20	49,45	1,75	1,30	
Raimundo	0,10	576,60	1,55	1,50	
MÉDIA	0,50	244,75	119,30	2,42	
MÍNIMO	0,10	49,45	0,55	0,35	
MÁXIMO	1,20	576,60	388,25	7,90	
DESVIO PADRÃO	0,45	231,24	174,18	3,09	
C.V	90,91	94,48	146,01	127,85	
CLASS. FERTILIDADE	B	A	A	B	

TABELA 3: Estatística descritiva dos micronutrientes dos solos de sítios de TPA e áreas adjacentes nos horizontes A1, AB, BA e B (continuação..)

Estatística	mg dm <sup>-3</sup>				
	Cu	Fc	Mn	Zn	
<b>AB-TPA</b>					
Terra Preta 2	0,35	77,75	3,45	0,50	
BJ 8	2,55	37,50	54,65	3,20	
Onça Puma3	1,70	31,70	38,85	2,80	
Jabuti	1,35	302,55	11,85	25,85	
Raimundo	-	42,70	16,25	0,85	
MÉDIA	1,49	98,44	25,01	6,64	
MÍNIMO	0,35	31,70	3,45	0,50	
MÁXIMO	2,55	302,55	54,65	25,85	
DESVIO PADRÃO	0,91	115,50	21,12	10,80	
C. V	61,21	117,33	84,46	162,70	
CLASS. FERTILIDADE	M	A	A	A	
<b>AB-ADJ</b>					
Terra Preta 2	0,10	309,60	0,25	0,25	
BJ 8	3,35	80,85	165,55	2,20	
Onça Puma3	2,85	202,50	104,95	1,30	
Jabuti	-	71,45	nd	0,35	
Raimundo	0,30	1269,65	0,45	0,45	
MÉDIA	1,65	386,81	67,80	0,91	
MÍNIMO	0,10	71,45	0,25	0,25	
MÁXIMO	3,35	1269,65	165,55	2,20	
DESVIO PADRÃO	1,69	503,09	81,72	0,83	

**TABELA 3:** Estatística descritiva dos micronutrientes dos solos de sítios de TPA e áreas adjacentes nos horizontes A1, AB, BA e B (continuação...)

Estatística	-----mg dm <sup>-3</sup> -----			
	Cu	Fe	Mn	Zn
C.V	102,34	130,06	120,53	91,56
CLASS. FERTILIDADE	M	A	A	B
<b>BA-TPA</b>				
Terra Preta 2	0,35	59,75	2,85	0,30
BJ 8	1,80	36,35	24,50	1,75
Onça Puma3	2,00	73,90	23,50	1,75
Jabuti	2,00	409,55	8,55	9,00
Raimundo	-	37,65	0,95	1,55
MÉDIA	1,54	123,44	12,07	2,87
MÍNIMO	0,35	36,35	0,95	0,30
MÁXIMO	2,00	409,55	24,50	9,00
DESVIO PADRÃO	0,80	160,71	11,25	3,48
C.V	51,85	130,19	93,20	121,24
CLASS. FERTILIDADE	M	A	A	A
<b>BA-ADJ</b>				
Terra Preta 2	0,35	194,45	0,40	1,40
BJ 8	1,85	68,25	150,00	0,25
Onça Puma3	3,05	141,10	39,10	0,05
Jabuti	-	47,10	0,05	0,15
Raimundo	-	14,35	-	-
MÉDIA	1,75	93,05	47,39	0,46
MÍNIMO	0,35	14,35	0,05	0,05
MÁXIMO	3,05	194,45	150,00	1,40
DESVIO PADRÃO	1,35	73,33	70,82	0,63
C.V	77,30	78,81	149,45	136,28
CLASS. FERTILIDADE	M	A	A	B

**TABELA 3:** Estatística descritiva dos micronutrientes dos solos de sítios de TPA e áreas adjacentes nos horizontes A1, AB, BA e B (continuação...)

Estatística	mg dm <sup>-3</sup>			
	Cu	Fe	Mn	Zn
<b>B-ADJ</b>				
Terra Preta 2	0,35	26,60	1,00	0,30
BJ 8	1,60	32,25	20,60	1,60
Onça Puma3	4,55	112,35	16,00	0,75
Jabutí	2,65	558,30	17,05	5,50
Raimundo	-	38,45	0,25	0,55
MÉDIA	2,29	153,59	10,98	1,74
MÍNIMO	0,35	26,60	0,25	0,30
MÁXIMO	4,55	558,30	20,60	5,50
DESVIO PADRÃO	1,78	228,91	9,61	2,16
C.V	77,70	149,04	87,51	124,02
CLASS. FERTILIDADE	A	A	M	M
<b>B-ADJ</b>				
Terra Preta 2	0,20	89,00	1,50	0,10
BJ 8	1,55	52,25	69,75	0,15
Onça Puma3	3,60	143,70	34,05	1,60
Jabutí	-	40,50	-	0,30
Raimundo	-	14,35	-	-
MÉDIA	1,78	67,96	35,10	0,54
MÍNIMO	0,20	14,35	1,50	0,10
MÁXIMO	3,60	143,70	69,75	1,60
DESVIO PADRÃO	1,71	50,14	34,14	0,71
C.V	96,00	73,77	97,26	132,73
CLASS. FERTILIDADE	M	A	A	B

Cu, Fe, Mn e Zn extraídos com Mehlich 1 na relação solo extrator 1:5 e a determinação por espectrofotometria de absorção atômica.  
 Notas: Classificação da fertilidade de acordo com Cravo et al. (2007). (1999); B - Baixo; M - Médio; A - Alto;

Para o Zn, entretanto verificou-se um padrão diferenciado, apresentando teores maiores em todos os horizontes nas áreas de TPA, porém diminuindo com o aumento da profundidade. Os maiores teores em relação as áreas adjacentes, pode está relacionado com as características dos resíduos orgânicos das TPA, bem como sua distribuição nos sítios. Na Região de Cachoeira-Porteira, Oriximiná (PA), em trabalhos sistemáticos efetuados ao longo de transversais em três sítios com TP, verificou-se que os teores de Zn, Mn, Cu apresentam alternância de locais com alta e baixa concentração ao longo das transversais, porém significativamente superiores aos dos solos circunvizinhos (KERN, 1988; KERN; KÄMPF, 1989; KÄMPF; KERN, 2005). Malavolta (2006) descreve uma relação de inibição entre Ca e Mn e entre P e Zn, porém nestes solos não observasse tal relação uma vez que em geral todos apresentam altos teores nas TPA

Em Argissolos Amarelos antrópicos da Amazônia Brasileira na profundidade de 0-20cm, Souza et al., (2009), encontraram teores superiores de Zn, Mn e Cu e inferiores aos de Fe observados neste trabalho Rodrigues e Malavolta (1998), a exceção do Fe também, encontraram teores superiores de Cu, Mn e Zn de 8, 849 e 91 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Estes valores, segundo Sombroek et al. (2002), poderiam ser usados como pré-requisito para o diagnóstico de classificação das TPA, cujo teores de Mn e Zn tem que ser superiores a 500 e 50 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente.

No horizonte superficial da TPA o teor médio de Fe foi de 48,78 mg dm<sup>-3</sup> enquanto na sua área adjacente foi de 244,45 mg dm<sup>-3</sup>. Houve um aumento dos teores em ambas as áreas no horizonte AB, permanecendo este padrão para os demais horizontes na TPA e reduzindo nas áreas adjacentes. Em geral, observam-se teores inferiores nas TPA em relação a suas áreas adjacentes. De acordo com Madari et al. (2009), isto ocorre em virtude dos altos teores e da forma de C presente nestes solos que atuam como complexante deste elemento. Entretanto, os valores semelhantes de MO observados entre as áreas inferem que este menor teor pode está relacionado com os maiores valores de pH nesse solo, que tende a indisponibilizar o micronutriente. (RAIJ, 1991).

### 2.3.2 Formas de fósforo orgânico

#### 2.3.2.1-Fósforo orgânico em meio ácido (Po H<sup>+</sup>)

Os teores de Po em extrato ácido (Po H<sup>+</sup>) variam de acordo com a classe de solo. Os maiores teores de (Po H<sup>+</sup>) no horizonte A1 foram detectados no Gleissolo do sítio Jabuti TPA e no Argissolo do sítio Onça Puma 3 TPA, alcançando valores, respectivamente, de 1292,99 e 843,6 mg .kg<sup>-1</sup>, em comparação a 26,25 e 197,22 mg .kg<sup>-1</sup> das suas áreas adjacentes (Tabela 4).

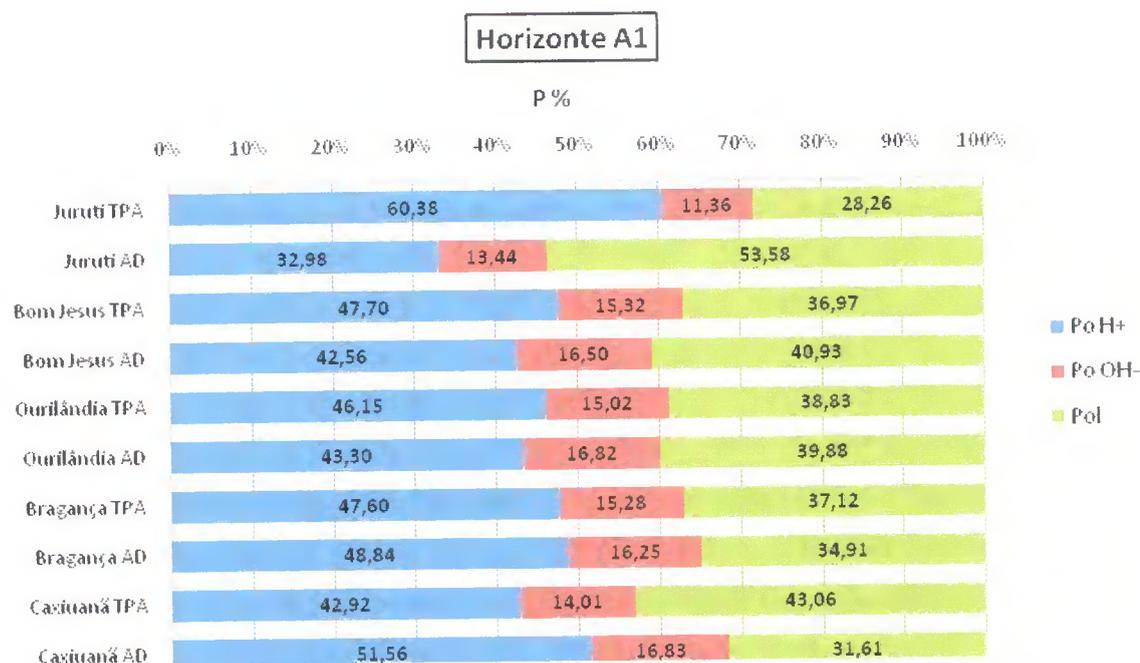
**TABELA 4-** P inorgânico em ácido (Pi H<sup>+</sup>), P total em meio ácido (Pt H<sup>+</sup>), P orgânico em meio ácido (Po H<sup>+</sup>) e a relação entre (Po H<sup>+</sup>)/(Pt H<sup>+</sup>) nos sítios de TPA e áreas adjacentes.

Sítios	Horizontes	Pi H <sup>+</sup>	mg kg <sup>-1</sup>		Po H <sup>+</sup> /Pt H <sup>+</sup> %
			Pt H <sup>+</sup>	Po H <sup>+</sup>	
Terra Preta 2 TPA	A1	712,78	1003,91	291,13	29
	AB	376,95	512,58	135,63	26,46
	BA	350,12	472,18	122,06	25,85
	B1	45,48	59,24	13,76	23,22
Terra Preta 2 AD	A1	32,25	43,58	11,33	26
	AB	32,17	41,65	9,48	22,76
	BA	30,21	39,58	9,37	23,68
	B1	14,17	18,13	3,96	21,82
BJ 8 TPA	A1	343,81	476,00	132,19	27,77
	AB	131,27	177,58	46,31	26,08
	BA	223,27	301,02	77,75	25,83
	B1	275,51	360,28	84,77	23,53
BJ 8 AD	A1	50,59	68,17	17,58	25,79
	AB	25,25	33,46	8,21	24,53
	BA	36,58	47,09	10,51	22,32
	B1	33,69	43,12	9,43	21,87
Onça Puma 3 TPA	A1	1919,60	2763,21	843,61	30,53
	AB	1099,39	1495,56	396,17	26,49
	BA	379,75	500,40	120,65	24,11
	B1	327,09	429,81	102,73	23,9
Onça Puma 3 AD	A1	558,14	755,36	197,22	26,11
	AB	555,95	732,00	176,05	24,05
	BA	541,58	701,26	159,68	22,77
	B1	492,52	624,15	131,63	21,09
Jabuti TPA	A1	3165,60	4458,59	1292,99	29
	AB	2585,47	3510,48	925,01	26,35
	BA	2485,53	3347,52	861,99	25,75
	B1	2286,78	2969,85	683,06	23
Jabuti AD	A1	76,39	103,04	26,65	25,86
	AB	26,44	34,63	8,19	23,65
	BA	23,02	29,84	6,82	22,86
	B1	24,34	31,00	6,67	21,5
Raimundo TPA	A1	595,93	823,67	227,75	27,65
	AB	57,22	76,77	19,55	25,46
	BA	55,30	73,39	18,08	24,64
	B1	39,08	51,42	12,33	23,99
Raimundo AD	A1	119,95	161,48	41,53	25,72
	AB	91,70	118,77	27,07	22,79
	BA	68,69	89,82	21,12	23,52
	B1	43,16	54,99	11,83	21,51

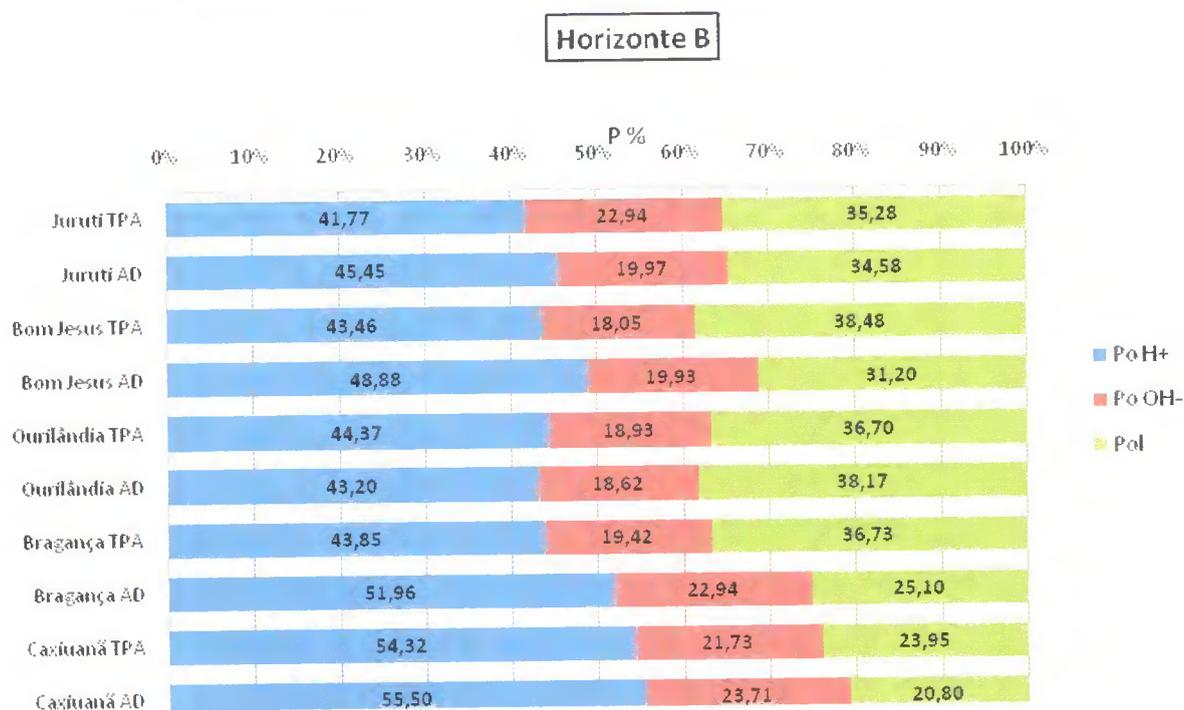
O menor teor de  $Po H^+$  para o horizonte A1, foi observado no sitio BJ 8 (132,19 mg .kg<sup>-1</sup>), apresentando sua área adjacente 17,58 mg .kg<sup>-1</sup> de  $Po H^+$ . Nos horizontes de transição os teores  $Po$  das TPA também predominaram sobre as áreas adjacentes tendendo a diminuir com o aumento da profundidade, mas os menores teores nestes horizontes ocorreram no sitio Raimundo sendo de 19,55 no AB e 18,08 mg .kg<sup>-1</sup> no BA. No horizonte subsuperficial das TPA os maiores teores ocorreram nos mesmo. Em relação a área adjacente o menor teor foi encontrado no sitio Terra Preta 2 (3,96 mg kg<sup>-1</sup>) e o máximo no sitio Onça Puma 3 (131,63) mg kg<sup>-1</sup>.

No horizonte A1 a fração de  $Po H^+$ , variou entre 32,98 a 60,38% do  $Pot$  predominando sobre as frações lábeis e solúvel em base (Figura 10), seguindo o mesmo padrão no horizonte B (Figura 11). Estes dados são inferiores aos obtidos por Duda (2000), que apresentou média de 68,28 e 78,27% para as camadas superficiais e subsuperficiais respectivamente, para diferentes classes de solos avaliadas. Segundo Bowman e Cole (1978a) a fração de  $Po$  solúvel em meio ácido representa a fração de  $Po$  moderadamente lábil e está associada a substâncias não-húmicas e aos ácidos fúlvicos. Sendo assim, ficando mais acessível as plantas e microrganismos que os ácidos húmicos e, conseqüentemente, disponibilizando P com maior facilidade.

A acessibilidade deste compartimento pelos microrganismos e plantas pode ser mais fácil do que ao P associado aos ácidos húmicos, visto que este último deve apresentar maior resistência à mineralização (DUDA, 2000). Nas TPA ao contrário do que ocorre em solos não antrópicos as frações predominantes são as mais recalcitrantes e persistentes em relação as mais solúveis (SOUZA et al., 2003).



**FIGURA 10-** Fósforo orgânico lábil (Pol), fósforo orgânico em meio ácido (Po-H<sup>+</sup>) e fósforo orgânico em meio básico (Po-OH<sup>-</sup>) em relação ao fósforo orgânico total (Pot), no horizonte A1 dos sítios de TPA e em suas áreas adjacentes



**FIGURA 11-** Fósforo orgânico lábil (Pol), fósforo orgânico em meio ácido (Po-H<sup>+</sup>) e fósforo orgânico em meio básico (Po-OH<sup>-</sup>) em relação ao fósforo orgânico total (Pot), no horizonte B dos sítios de TPA e em suas áreas adjacentes.

Segundo Guerra (1993), Vieira et al., (1993) e Stevenson (1994), principalmente em solos altamente intemperizados, há uma relação íntima entre o fósforo orgânico, o PT, a MO e o Al e Fe complexado ao húmus (BEDROCK et al, 2005) o que pode ser observado também neste trabalho, onde os maiores valores de  $Po\ H^+$  foram encontrados nos sítios Jabuti TPA e Onça Puma 3 TPA, que por sua vez possuem os maiores teores de PT e MO. As pastagens existentes nestas áreas adicionam composto de C mais lábeis, devido ao efeito rizosférico, favorecendo a maior atividade e o crescimento microbiano, maximizando a biociclagem das formas orgânicas (RHEINHEIMER; KAMINSKI, 1994). Todavia é o PT que parece ser determinante na acumulação desta forma de fósforo, uma vez que as outras características químicas não mostram uma separação nítida entre os sítios de TPA e adjacentes.

Em relação ao Gleissolo, de acordo com Killham (1994) deve-se considerar ainda, que este apresenta ambiente redutor, resultando no maior acúmulo de Po, pois a drenagem deficiente pode reduzir a atividade microbiana e as taxas de decomposição.

Nas áreas adjacentes dos Latossolos dos sítios Terra Preta 2 e BJ 8 os valores observados no horizonte A1 são ligeiramente inferiores ao encontrados por Duda (2000) em Latossolos Amarelos ( $\approx 58,4\ mg\ Po-H^+.kg^{-1}\ solo$ ). Já os teores encontrados na área adjacente dos Argissolos são superiores a média encontrada em Argissolo Amarelo de regiões brasileiras ( $\approx 9,0\ mg\ Po-H^+.kg^{-1}\ solo$ ).

Observa-se a variação no teor de  $Po-H^+$  entre os horizontes estudados, havendo diminuição do teor com o aumento da profundidade, mesmo havendo, o aumento no conteúdo de argila o longo do perfil, a exceção do sítio Jabuti TPA.

Vione et al. (1997) determinaram o PT por ataque sulfúrico e encontraram resultados com comportamento semelhante, assim como Tokura et al. (2002), que empregaram o método proposto por Hedley (1982). Considerando-se o P um nutriente relativamente imóvel, a maior concentração nas camadas superficiais pode ser devido a forma de adubação ou a ciclagem pelos resíduos orgânicos que permanecem na superfície. (RHEINHEIMER; ANGHINONI 2001; ARAÚJO et al., 2004). Deste modo, como esta forma de Po liga-se por meio de Al e Fe principalmente aos ácidos fúlvicos, os maiores valores observados na camada superficial são, provavelmente, devido a maior deposição de compostos de carbono mais resistentes à decomposição, considerando a predominância nas TPA das frações mais recalcitrantes e persistentes em relação as mais solúveis (SOUZA et al., 2003), o que favorece o crescimento microbiano (MELO, 2007) na camada superior e de modo inverso, o menor acúmulo de Po nas camadas subsuperficiais, uma vez que a microbiota do solo é a responsável pela síntese de

Po, através da imobilização bioquímica do Pi ( REDDY et al., 1999) Na Figura 12 observa-se os maiores percentuais de Po H<sup>+</sup> no horizonte superficial, alcançando 82,01% no sitio Raimundo TPA (Figura 12).

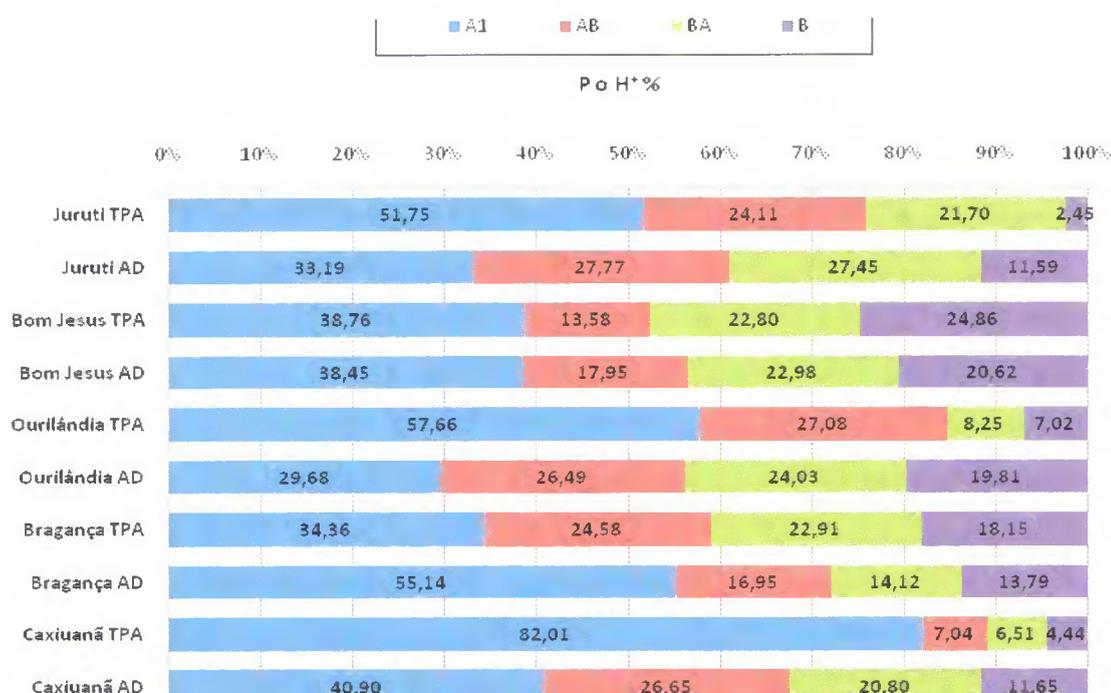


FIGURA 12- Distribuição do fósforo orgânico em meio ácido (Po-H<sup>+</sup>) nos horizontes A1, AB, BA e B dos sítios de TPA e em suas áreas adjacentes

De acordo com os resultados de fósforo total em meio ácido (Po H<sup>+</sup>), verifica-se que a maior parte deste ocorreu na forma inorgânica, como já observado por Bowman (1989) e Guerra (1993) . Neste estudo, o percentual do Pt-H<sup>+</sup> que se encontrou na forma orgânica apresentou valor médio de 28,79% para o horizonte A1 e 23,53 % no horizonte B das TPA, já nas áreas adjacentes foi de 25,9 e 21,56% no A1 e B respectivamente. Este aumento da relação Po-H<sup>+</sup>/Pt-H<sup>+</sup> nas TPA, assume um papel importante visto que esta fração, segundo Bowman (1989) e Duda 2000) funciona como um compartimento de reserva de P para as plantas, em curto e médio prazos. Silva Júnior, (2007) estudando a dinâmica do P em Latossolo Amarelo, obteve resultados próximos com valor de 24,6% para a camada superior e de 22,2% para as camadas subsuperficiais. Duda (2000) verificou em Latossolos Amarelos de regiões brasileiras, este mesmo padrão, ou seja, valores maiores no horizonte A o qual relacionou com a deposição de resíduos orgânicos e valores menores em B.

O predomínio da fração em meio ácido, também relatado em outros trabalhos (SHARPLEY, 1985; GUERRA, 1993; DUDA, 2000; SILVA JÚNIOR, 2007), infere a

estabilização do Po, principalmente sob a forma de substâncias orgânicas de natureza química definida, ácidos fúlvicos, tendo a fração mais humificada quantitativamente um papel secundário para estabilizar o Po (Guerra, 1993). A dinâmica de acúmulo das formas orgânicas de P pode, nesse estudo, está sendo controlada pelo grau de humificação da matéria orgânica do solo. Segundo Fares et al. (1974) citado por Guerra (1993) o Po não estaria propriamente dentro de uma molécula húmica, e sim adsorvido ou fixado por meio de pontes metálicas, tornando mais fácil a sua mobilização. À medida que os solos apresentam maior teor de óxidos, aumenta a adsorção de P e seu teor nas formas ligadas a Al e Fe. De acordo com Condrón et al. (1990), este comportamento é encontrado em solos tropicais geneticamente evoluídos.

#### 2.3.2.2 Fósforo orgânico em meio alcali (Po OH<sup>-</sup>)

O P orgânico em meio alcalino (Po OH<sup>-</sup>) também apresentou variações entre e dentre as classes de solos estudadas. Os maiores valores também foram observados nos sítios de Jabuti TPA e Onça Puma 3 TPA, no horizonte A1 (415,09 e 274,64 mg kg<sup>-1</sup>), bem como o menor valor neste horizonte foi no sitio BJ 8 TPA (42,46 mg kg<sup>-1</sup>), igualmente para a fração em meio ácido. Nas áreas adjacentes estes valores apresentaram expressiva diminuição o maior valor de Po OH<sup>-</sup> observado foi no sitio Onça Puma 3 (76,59 mg kg<sup>-1</sup>) enquanto o menor valor foi apresentado no sitio Terra Preta 2 ( 4,62 mg kg<sup>-1</sup>) (Tabela 5). No horizonte superficial dos Argissolos (Onça Puma 3 ADJ e Raimundo TPA) verificou-se teores semelhantes de Po solúvel em meio alcalino, inferindo que as outras frações melhor diferenciam os sítios desta classe de solo

**TABELA 5-** P inorgânico em ácali (Pi OH<sup>-</sup>), P total em meio ácali (Pt OH<sup>-</sup>), P orgânico em meio ácido (Po OH<sup>-</sup>) e a relação entre (Po OH<sup>-</sup>)/(Pt OH<sup>-</sup>) nos sítios de TPA e áreas adjacentes

Sítios	Horizontes	Pi OH <sup>-</sup>	Pt OH <sup>-</sup>	Po OH <sup>-</sup>	Po OH <sup>-</sup> /Pt OH <sup>-</sup>
		mg kg <sup>-1</sup>			%
Terra Preta 2 TPA	A1	70,37	125,14	54,77	43,77
	AB	67,68	122,54	54,86	44,77
	BA	47,77	92,26	44,49	48,22
	B1	7,33	14,89	7,56	50,75
Terra Preta 2 AD	A1	6,38	11,00	4,62	42,00
	AB	5,52	10,02	4,49	44,86
	BA	5,24	9,27	4,04	43,53
	B1	2,13	3,86	1,74	44,99
BJ 8 TPA	A1	51,13	93,59	42,46	45,37
	AB	23,26	42,37	19,11	45,11
	BA	34,90	65,00	30,10	46,31
	B1	39,69	74,90	35,21	47,01
BJ 8 AD	A1	8,42	15,23	6,82	44,75
	AB	4,51	8,23	3,72	45,22
	BA	5,37	10,04	4,67	46,53
	B1	4,45	8,29	3,84	46,35
Onça Puma 3 TPA	A1	360,81	635,45	274,64	43,22
	AB	171,75	314,27	142,52	45,35
	BA	57,00	106,64	49,64	46,55
	B1	47,78	91,60	43,82	47,84
Onça Puma 3 AD	A1	105,77	182,36	76,59	42,00
	AB	101,19	179,54	78,35	43,64
	BA	87,57	153,42	65,85	42,92
	B1	69,30	126,04	56,74	45,02
Jabutí TPA	A1	572,27	987,36	415,09	42,04
	AB	211,65	671,33	459,68	68,47
	BA	404,29	728,84	324,55	44,53
	B1	344,75	647,30	302,55	46,74
Jabutí AD	A1	13,09	21,96	8,86	40,37
	AB	4,25	7,38	3,13	42,37
	BA	3,59	6,36	2,77	43,61
	B1	3,66	6,61	2,94	44,53
Raimundo TPA	A1	101,18	175,54	74,36	42,36
	AB	9,06	16,36	7,31	44,65
	BA	8,78	15,64	6,85	43,83
	B1	6,02	10,96	4,94	45,04
Raimundo AD	A1	20,85	34,41	13,56	39,40
	AB	14,71	25,31	10,60	41,89
	BA	11,07	19,14	8,07	42,15
	B1	6,67	11,72	5,05	43,11

A distribuição do Po-OH<sup>-</sup> ao longo do perfil foi semelhante ao ocorrido para as outras frações, em que o maior valor foi observado sempre na camada superficial do solo. Nas TPA a variação entre horizonte A e B alcançou valor de 230,82 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto em solos adjacentes foi de 19,85 mg kg<sup>-1</sup>. Evidenciando neste caso que o NaOH pode ter dissolvido

mais fósforo associado ao húmus. Todavia, quando analisados os valores percentuais em relação ao  $Pt\ OH^-$  que é bastante diferenciado para cada classe, verifica-se padrão inverso, tendendo a aumentar com a profundidade.

Deste modo, verificou-se que a fração de Po em meio álcali correspondeu em média nas TPA a 42,82 nos horizonte A1 e 47,48% no horizonte B, enquanto que nas áreas adjacentes estes valores foram de 41,70 e 44,80% no A1 e B respectivamente. Observa-se que houve aumento da relação  $Po-OH^-/Pt-OH^-$  com o aumento da profundidade, tanto nas TPA, quanto nas áreas adjacentes (Figura 13), indicando uma provável estabilização deste com os ácidos húmicos, por meio da associação com as argilas, considerando que de modo geral houve o aumento destas partículas com o aumento da profundidade (NEUFELDT et al., 2000). Silva Júnior (2007) e Duda et al. (2006), também verificaram que a relação  $Po-OH^-/Pt-OH^-$  foi maior para horizontes subsuperficiais de Latossolo Amarelo.

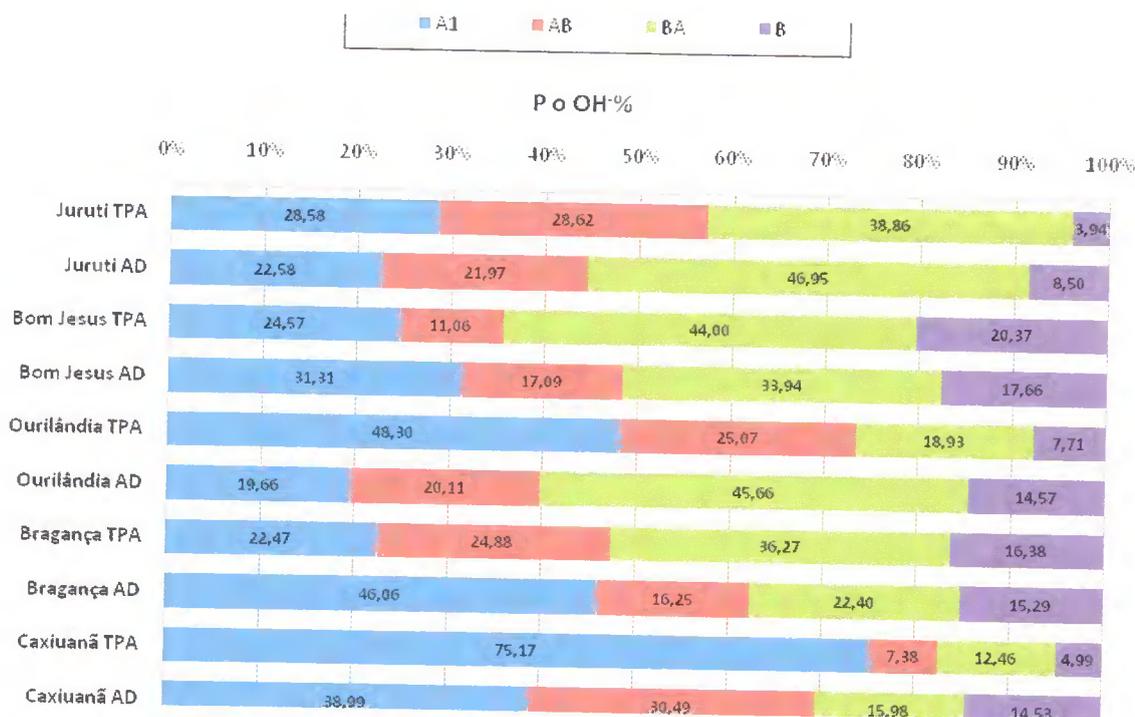


FIGURA 13- Distribuição do fósforo orgânico em meio álcali ( $Po-OH^-$ ) nos horizontes A1, AB, BA e B dos sites de TPA e em suas áreas adjacentes

Olsen e Sommers, (1982) mostram que esta fração está associada aos ácidos húmicos ou sorvida na superfície dos compostos de Fe e Al, sugerindo o aumento destes compostos em profundidade, característica dos solos tropicais e subtropicais (KAMPF; CURI 2000), considerando a maior eficiência do NaOH em extrair P ligado a Al e Fe.

Nesta fração de Po OH<sup>-</sup> os teores variaram entre 11,36 a 23,71% do Pot (Figura 10), sendo em geral inferior ao Pol em concordância com Silva Júnior. (2007) e discordando de Duda (2000) em que os valores encontrados para esta fração superaram os teores de Pol para maioria das classes de solos estudadas. Segundo Guerra (1993), a fração de Po em meio álcali corresponde ao material mais evoluído e polimerizado, os ácidos húmicos, dificultando o acesso dos microorganismos e vegetais. A fração de Po em meio álcali, foi menor que a fração em meio ácido apresentando valor de até 49,02% inferior a Po H<sup>+</sup>. Esta relação está de acordo com alguns estudos (CHEN; CHIU, 2000; DUDA, 2000; GUERRA 1993), entretanto Busato, Canellas e Velloso, (2005) e Makarov et al., (1997) estudando o manejo da cana crua em solos alpinos encontraram respectivamente 88 e 73% , de Po em ácidos húmicos.

De acordo com Pabst (1991), Madari et al., (2009), Lima et al., (2002) e Souza et al.,(2003) diferentemente do que ocorre em solos não antrópicos, nas TPA há o predomínio de frações fortemente humificadas (humina e ácido húmico - HAF) e menores teores da fração ácidos fúlvicos (FAF), resultando em altas razões HAF/FAF. Isso indica que os ácidos húmicos destes solos, provavelmente, não estão enriquecidos com P em comparação aos ácidos fúlvicos. Estes resultados discordam com os encontrado por Canellas et al (2003) que verificaram que o maior grau de humificação na matéria orgânica em área de cana, refletiu no baixo conteúdo de P disponível na solução do solo, e na predominância de formas de P retidas com alta energia.

Dentre os resultados apresentados pode-se verificar o incremento desta forma de P nas TPA em comparação as áreas adjacentes. No horizonte A do sitio Jabuti TPA por exemplo o teor encontrado foi 46,8 vezes maior ao de sua área adjacente, já no sitio Onça Puma 3 esta relação foi de 3,5 vezes superior. Apesar do NaOH extrair formas de P consideradas de baixa disponibilidade para as plantas, associadas a fosfatos amorfos e cristalinos de Fe e Al (WILLIAM et al.,1980), em solos de regiões tropicais essas formas são relativamente dinâmicas (TIESSSEN; SALCEDO; SAMPAIO 1992), corroborando com os dados de Araújo e Salcedo (1997). Araújo et al. (1993), em estudo realizado na zona canavieira do Nordeste, constataram que o Po-NaOH também contribui para o crescimento vegetal, enfatizando um caráter lábil dessa forma de P. O aumento observado na fração de Po-NaOH indica efeito de grande importância da aplicação de resíduo orgânico, pois esse reservatório representa um compartimento importante na ciclagem de P no solo (TATE; SALCEDO, 1988; SALAS et al.,2003).

### 2.3.2.3 Fósforo orgânico lábil (Pol)

Os valores do conteúdo de Pol foram maiores em todos os sítios no horizonte A1 e o sítio Jabuti TPA foi o que apresentou maior valor de  $1008,44 \text{ mg kg}^{-1}$  seguido do sítio Onça Puma 3 TPA ( $709,75 \text{ mg kg}^{-1}$ ) neste horizonte, o menor valor foi de  $102,44 \text{ mg kg}^{-1}$  no sítio BJ 8 TPA. Nas áreas adjacentes o valor máximo foi observado no sítio Onça Puma 3 AD foi de  $181,62 \text{ mg kg}^{-1}$  e o mínimo  $16,91 \text{ mg kg}^{-1}$  no sítio BJ 8 AD. (Tabela 6).

De forma geral, verificou-se uma tendência de redução do conteúdo de Pol do solo com o aumento da profundidade. A máxima redução entre o horizonte superficial e o mais profundo foi de (97,62%), expressando a contribuição da matéria orgânica para esta fração de P (Tabela 6). Verificou-se no horizonte B que os valores máximos nos sítios de TPA foram  $572,23$  e  $84,96 \text{ mg kg}^{-1}$  em Jabuti e em Onça Puma 3 e o mínimo de  $5,44 \text{ mg kg}^{-1}$  no sítio Raimundo Nas áreas adjacentes o maior valor de  $116,30 \text{ mg kg}^{-1}$  no sítio Onça Puma 3 foi de  $3,01 \text{ mg kg}^{-1}$

**TABELA 6** - P inorgânico lábil (Pil), P total lábil (Ptl), P orgânico em meio ácido (Po OH) e a relação entre (Pol)/(Ptl) nos sítios de TPA e áreas adjacentes

Sítios	Horizontes	Pil	Ptl		Pol	Pol/Ptl %
			mg kg <sup>-1</sup>			
Terra Preta 2 TPA	A1	61,44	197,73	136,29	68,93	
	AB	58,03	153,75	95,72	62,26	
	BA	50,77	125,24	74,47	59,46	
	B1	21,65	33,27	11,62	34,92	
Terra Preta 2 AD	A1	6,21	24,62	18,41	74,77	
	AB	5,99	15,19	9,20	60,56	
	BA	8,21	17,81	9,60	53,91	
	B1	5,23	8,24	3,01	36,53	
BJ 8 TPA	A1	31,74	134,18	102,44	76,35	
	AB	38,25	83,65	45,40	54,27	
	BA	37,46	113,50	76,04	67,00	
	B1	36,40	111,46	75,06	67,34	
BJ 8 AD	A1	8,44	25,35	16,91	66,70	
	AB	7,29	15,28	7,99	52,29	
	BA	7,14	14,53	7,39	50,86	
	B1	6,78	12,80	6,02	47,03	
Onça Puma 3 TPA	A1	214,53	924,28	709,75	76,79	
	AB	111,16	396,84	285,68	71,99	
	BA	79,08	186,69	107,61	57,64	
	B1	71,50	156,46	84,96	54,30	
Onça Puma 3 AD	A1	74,58	256,20	181,62	70,89	
	AB	69,25	251,24	181,99	72,44	
	BA	70,11	248,02	177,91	71,73	
	B1	79,54	195,84	116,30	59,39	
Jabuti TPA	A1	284,14	1292,58	1008,44	78,02	
	AB	242,23	953,64	711,41	74,60	
	BA	224,31	894,37	670,06	74,92	
	B1	325,19	897,42	572,23	63,76	
Jabuti AD	A1	13,89	32,94	19,05	57,83	
	AB	6,52	11,03	4,51	40,88	
	BA	6,32	10,63	4,31	40,56	
	B1	7,05	10,27	3,22	31,35	
Raimundo TPA	A1	93,64	322,13	228,49	70,93	
	AB	11,28	24,61	13,33	54,16	
	BA	10,42	22,74	12,32	54,18	
	B1	8,97	14,41	5,44	37,75	
Raimundo AD	A1	15,79	41,25	25,46	61,72	
	AB	11,94	25,75	13,81	53,65	
	BA	5,47	11,03	5,56	50,39	
	B1	6,21	10,64	4,43	41,65	

Em relação ao Ptl o percentual de Pol variou de 31,35% no sítio Jabuti AD no horizonte B a 78,02% no sítio Jabuti TPA no horizonte A1, observa-se o predomínio do Pol

sobre o P<sub>l</sub>, sendo para a maioria dos horizontes acima de 50% do P<sub>tl</sub>, concentrando-se principalmente no horizonte A1 como mostra a Figura 14.

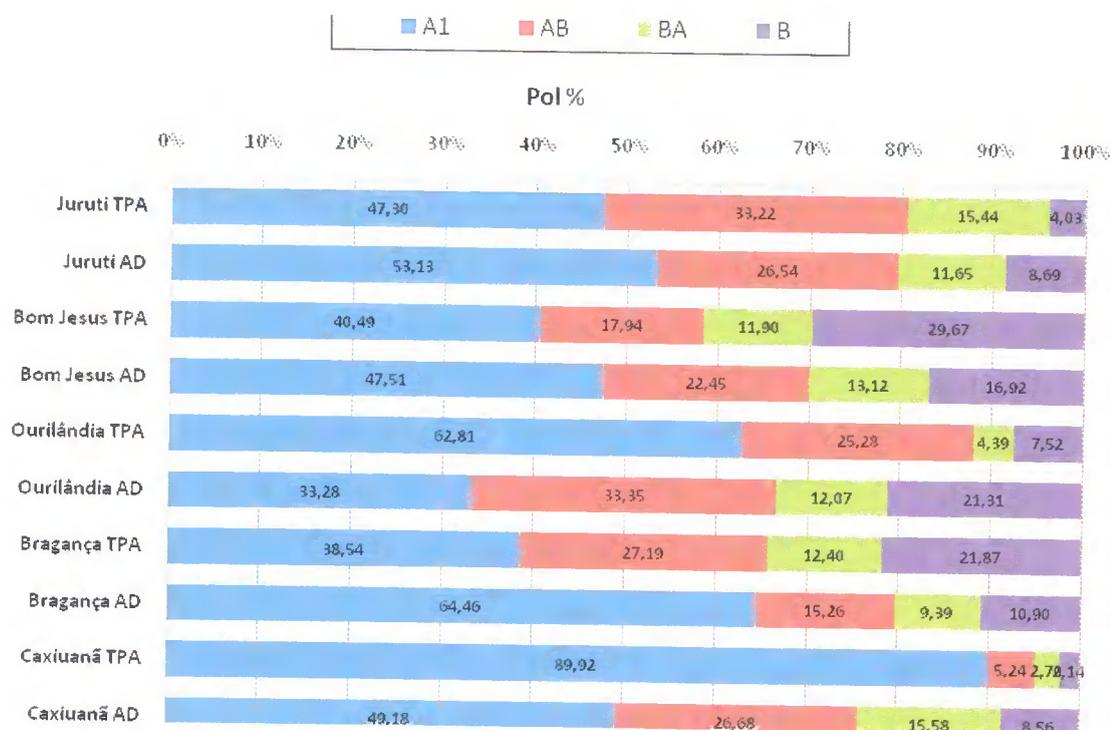


FIGURA 14- Distribuição do fósforo orgânico lábil (Pol) nos horizontes A1, AB, BA e B dos sites de TPA e em suas áreas adjacentes.

Nas áreas adjacentes os Argissolos foram os que apresentaram maiores valores Pol, em Onça Puma 3 AD para todos os horizontes foram observados os maiores valores desta fração, seguido dos horizontes A1 e AB do sitio de Raimundo AD. Estes resultados corroboram com os encontrados por Guerra et al., (1996), Duda et al., (2006), em que os maiores teores de fósforo lábil são encontrados no horizonte superficial principalmente na fração argila ou em solo mais argiloso, em comparação com solo de baixo teor de argila (MESQUITA FILHO; TORRENT, 1993; SILVA et al., 2003). O predomínio do Po sobre o P<sub>l</sub> lábil, em solos altamente intemperizados, indica uma estreita relação entre o P disponível e as frações do Po (TIESSEN; STEWART; COLE, 1984), evidenciando a importância da preservação da matéria orgânica para o aumento das formas de P mais disponíveis no solo.

Por outro lado, a maior contribuição do Pol no P<sub>tl</sub> verificada nos solos estudados, pode ter uma relação direta com a MO. Sanchez e Salinas (1981) relatou a associação íntima entre o Po e o carbono orgânico, em solo sob floresta, cuja matéria orgânica é rica em P.

Condrón et al. (1990), Neufeldt et al. (2000) indicam que o fósforo orgânico lábil se encontra nos componentes orgânicos do solo e que no horizonte superficial a matéria orgânica que se apresenta em maior quantidade e pouco humificada, juntamente com microbiota do solo, seriam reservatório preferencial de Pol e fonte de Pi para a solução do solo (RODRIGUES, 2006; MELO, 2007). Silva Júnior (2007) em Latossolo Amarelo também observou o predomínio do Pol, independentemente do tipo de cobertura vegetal estudada.

Entretanto, os teores de MO apresentados na Tabela 1, tanto para as áreas de TPA quanto para as áreas adjacentes variam entre muito alto e alto (Alvarez et al., 1999). O que sugere que os altos teores de Pol encontrados nas TPA podem estar relacionados à qualidade da MO, que de acordo com Hue (1991) e Haynes (1984), os grupos funcionais carboxílicos e fenólicos da matéria orgânica, existente em maior quantidade, ligam-se às hidroxilas dos óxidos de Fe e Al e complexam o Al em solução bloqueando os sítios de adsorção de P no solo. Todos os sítios de TPA apresentaram maiores valores desta fração em comparação a suas áreas adjacentes e de acordo Andrade et al., (2003), a adição de matéria orgânica ao solo contribuem para o aumento de formas mais lábeis de P, com diminuição da adsorção e conseqüente aumento da disponibilidade de P para as plantas .

#### 2.3.2.4 Fósforo Total do solo (PT)

Os valores de PT apresentaram-se bastante diferenciados em relação aos sítios estudados, entre si e entre suas áreas adjacentes. Nos sítios Terra Preta 2 e BJ 8 os valores de PT nos seus horizontes superficiais foram de 1350,94 e 719,94 mg kg<sup>-1</sup> havendo um decréscimo para seus horizontes de transição de 40,31% e 54,73% respectivamente, o que pode evidenciar a contribuição da M.O para o acúmulo de P no horizonte superficial. Em suas áreas adjacentes foram observados valores inferiores de 84,60 e 117,17 mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 7) , que estão de acordo com o que é relatado na literatura para Latossolos altamente intemperizados dos trópicos (CABALA; FASSBENDER, 1970; GUERRA, 1993). Segundo Sánchez (1981), o teor de PT diminui conforme aumenta o grau de intemperização: em Latossolos das regiões tropicais, geralmente o teor de Pt está em torno de 200 mg.kg<sup>-1</sup> (VIEIRA et al., 1993).

**TABELA 7** - P Total (PT), P total inorgânico (Pti), P total orgânico (Pot) nos sítios de TPA e áreas adjacentes

Sítios	Horizontes	PT	mg kg <sup>-1</sup>	
			Pt inorgânico	Ptorgânico
Terra Preta 2 TPA	A1	1350,94	844,58	482,20
	AB	806,37	502,66	286,21
	BA	709,70	448,66	241,02
	B1	114,52	74,47	32,93
Terra Preta 2 AD	A1	84,60	44,84	34,36
	AB	77,04	43,68	23,17
	BA	71,31	43,65	23,01
	B1	29,72	21,53	8,70
BJ 8 TPA	A1	719,94	426,68	277,09
	AB	325,91	192,77	110,83
	BA	500,03	295,63	183,90
	B1	576,14	351,59	195,04
BJ 8 AD	A1	117,17	67,44	41,31
	AB	63,30	37,05	19,92
	BA	77,20	49,09	22,57
	B1	63,80	44,92	19,30
Onça Puma 3 TPA	A1	4367,04	2494,94	1828,00
	AB	2238,44	1382,29	824,38
	BA	820,32	515,83	277,89
	B1	704,61	446,36	231,51
Onça Puma 3 AD	A1	1221,06	738,48	455,44
	AB	1180,17	726,39	436,39
	BA	1115,24	699,27	403,43
	B1	969,57	641,36	304,68
Jabuti TPA	A1	6778,75	4022,01	2716,52
	AB	5164,06	3039,35	2096,10
	BA	4991,05	3114,13	1856,60
	B1	4540,73	2956,72	1557,84
Jabuti AD	A1	168,92	103,38	54,56
	AB	56,78	37,22	15,83
	BA	48,93	32,93	13,91
	B1	50,82	35,05	12,83
Raimundo TPA	A1	1360,28	790,75	530,59
	AB	125,85	77,56	40,18
	BA	120,31	74,51	37,26
	B1	84,29	54,07	22,71
Raimundo AD	A1	264,72	156,59	80,55
	AB	194,70	118,34	51,48
	BA	147,24	85,24	34,75
	B1	90,15	56,04	21,31

Nos Argissolos correspondentes aos sítios Onça Puma 3 TPA e Raimundo TPA os valores de PT foram superiores aos encontrados nos Latossolos 4367,04 e 1360,28 mg kg<sup>-1</sup>. De acordo com Mello et al. (1985) e Brady (1989) os solos argilosos têm maior capacidade de adsorver fósforo na fase sólida, ou seja, maior fator quantidade de P, em comparação a solos mais arenosos. Além disso, os Argissolos apresentam um horizonte Bt com acúmulo de argila que, nesse caso, possivelmente compõe-se principalmente de caulinita e óxidos de ferro e alumínio (NÚÑEZ et al, 1999), os quais possuem sítios específicos de adsorção de P.

No sítio Onça Puma 3 TPA ocorre a diminuição do PT nos horizontes de transição e no Bt, porém ainda observa-se altos valores se comparados aos Argissolos típicos da região, e mesmo sua área adjacente apresentou resultados expressivos de PT sendo um indicativo ainda da influencia antrópica. No sitio Raimundo foi observado uma diminuição de 90,75% do horizonte A1 para o AB o que pode ser resultante do tipo de manejo aplicado neste sitio para o cultivo da mandioca, uma vez que a mesma apresenta P disponível considerando bons (ALVAREZ et al., 1999) para este solo. A sua área adjacente apresentou como maior valor 264,72 mg kg<sup>-1</sup> no horizonte superficial diminuindo com a profundidade indicando a baixa concentração de P no material de origem (RESENDE et al., 1999). Souza et al. 2009 avaliando as formas de fósforo em sítios de Terra Preta cultivados da Amazônia Brasileira encontrou valores de PT de 1001,05 mg kg<sup>-1</sup> em Latossolo e 2043,00 mg kg<sup>-1</sup> em Argissolo na profundidade de 0-20 cm.

O sitio Jabuti TPA foi o que apresentou os maiores valores de PT de 6778,75 mg kg<sup>-1</sup> no seu horizonte A1 diminuindo com o aumento da profundidade. O Gleissolo se caracteriza por apresentar um ambiente redutor propiciando um maior acúmulo de Po, considerando que nesta área há um grande aporte de M.O relacionada à presença de gramíneas e mata secundária, já que a drenagem deficiente pode inibir a atividade microbiana resultando em menores taxas de decomposição (KILLHAM, 1994). Todavia, a área adjacente deste sítio apresentou valores de MO que variaram apenas entre 0,73 e 2,55% menores que os da TPA, inferindo que os altos teores de PT encontrados neste sitio são resultantes principalmente da qualidade da MO existente, que em geral possui como fonte primária a apatita biogênica na forma de resíduos de espinhas e ossos de peixes, mamíferos e de tartaruga e ainda ossos humanos incorporados ao solo através de cessões ocasionais ou enterros feito pelo povo pré-colombiano (SCHAEFER et al., 2004; LIMA et al., 2002)

Nas áreas adjacentes os valores de PT observados na Tabela 6 são validados por diversos estudos Tokura et al. (2002) relataram em Latossolo Vermelho distroférico na

camada de 0-5 cm, o Po apresentou em média teores de 117,1 mg kg<sup>-1</sup> em uma área nunca cultivada, enquanto que 81,2 mg kg<sup>-1</sup> foram observados em uma área cultivada por 11 anos com plantio direto. Por outro lado, Cunha et al. (2007), encontraram teores de 160 mg kg<sup>-1</sup> em solos sob florestas e 69,8 mg kg<sup>-1</sup> em áreas de pastagem.

Em geral, houve uma tendência do teor de PT decrescer com a profundidade em todas as classes de solo, o que provavelmente ocorreu por causa da diminuição do teor de matéria orgânica e ao conseqüente aumento da fixação de P nesta profundidade (SILVA et al., 1997).

Nos resultados encontrados verifica-se também que o método de determinação do PT do solo foi eficiente na caracterização do conteúdo de PT nos horizontes estudados, tanto em sítios de TPA como nas áreas adjacentes, uma vez que os balanços das somas das frações de fósforo do solo variaram de 81 até 101%. Em relação à distribuição percentual das frações orgânicas e inorgânicas totais verificou-se o predomínio do P inorgânico, sendo responsável, em média, por 65,27 % do PT, já o Po variou entre 26,79 a 43,38% do PT, sendo superior ao valor encontrado por Busato, Canellas e Velloso (2005), cuja participação média foi de 25 %, em superfície, e de 28 %, em subsuperfície do PT. O mesmo foi observado por Guerra et al. (1996), que encontraram contribuição média de 27 % em amostras de 17 solos. Cunha et al. (2007) observaram que o Po representou até 36,9% do PT. De acordo com Condrón et al. (1990), este comportamento é encontrado em solos tropicais geneticamente evoluídos (Figura 15).

Por outro lado, foi observado padrão inverso quando tratou-se somente fração lábil onde ocorreu, em geral, um percentual superior de Pol em comparação ao Pil apresentado teores de até 78,02% do Ptl.(Figura 16) Guerra et al. (1996) observaram que, para Argissolos, o Po correlaciona-se positivamente com o C total e P total, ainda que o aumento das formas orgânicas não acompanhe o rápido incremento do P total no solo. De acordo com Hedley et al., (1982) e Tokura et al., (2002) o conteúdo de matéria orgânica é um importante controlador da síntese de Po no solo, e o seu incremento aumenta também a proporção de Po em relação às quantidades totais de P. Vários outros trabalhos comprovam a influência da matéria orgânica sobre as transformações de P no solo.

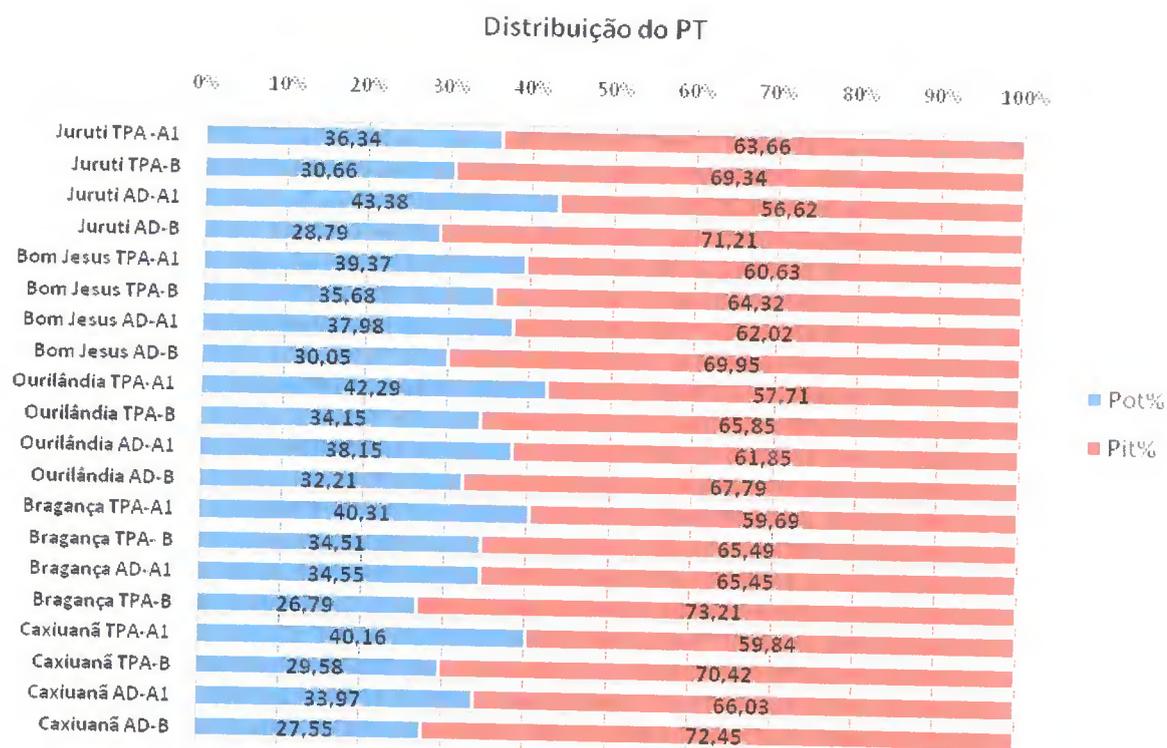


FIGURA 16- Distribuição do P orgânico total (Pot) e do P inorgânico total (Pit) em relação ao P total do solo (PT) no horizonte A1 e B dos sítios de TPA e áreas adjacentes

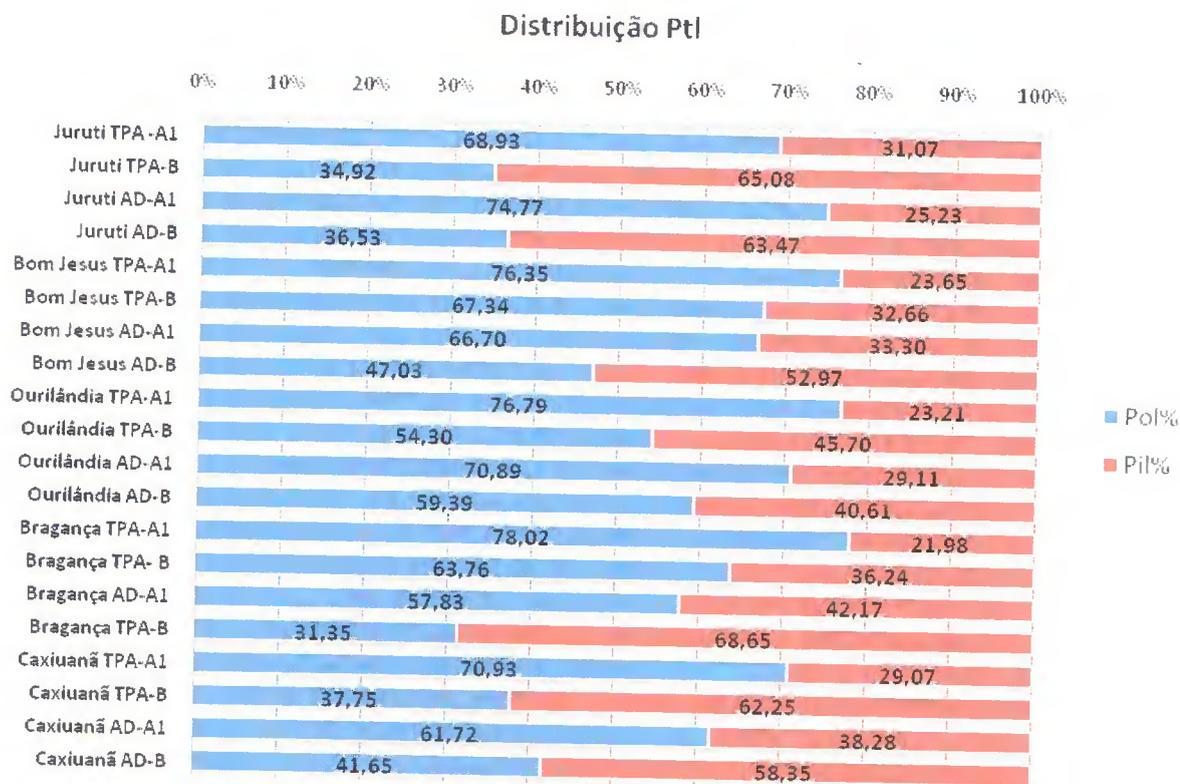


FIGURA 17- Distribuição do P orgânico lábil (Pol) e do P inorgânico lábil (Pit) em relação ao P total lábil (Ptl) no horizonte A1 e B dos sítios de TPA e áreas adjacentes

### 2.3.3 Análise multivariada para os atributos químicos e formas de fósforo

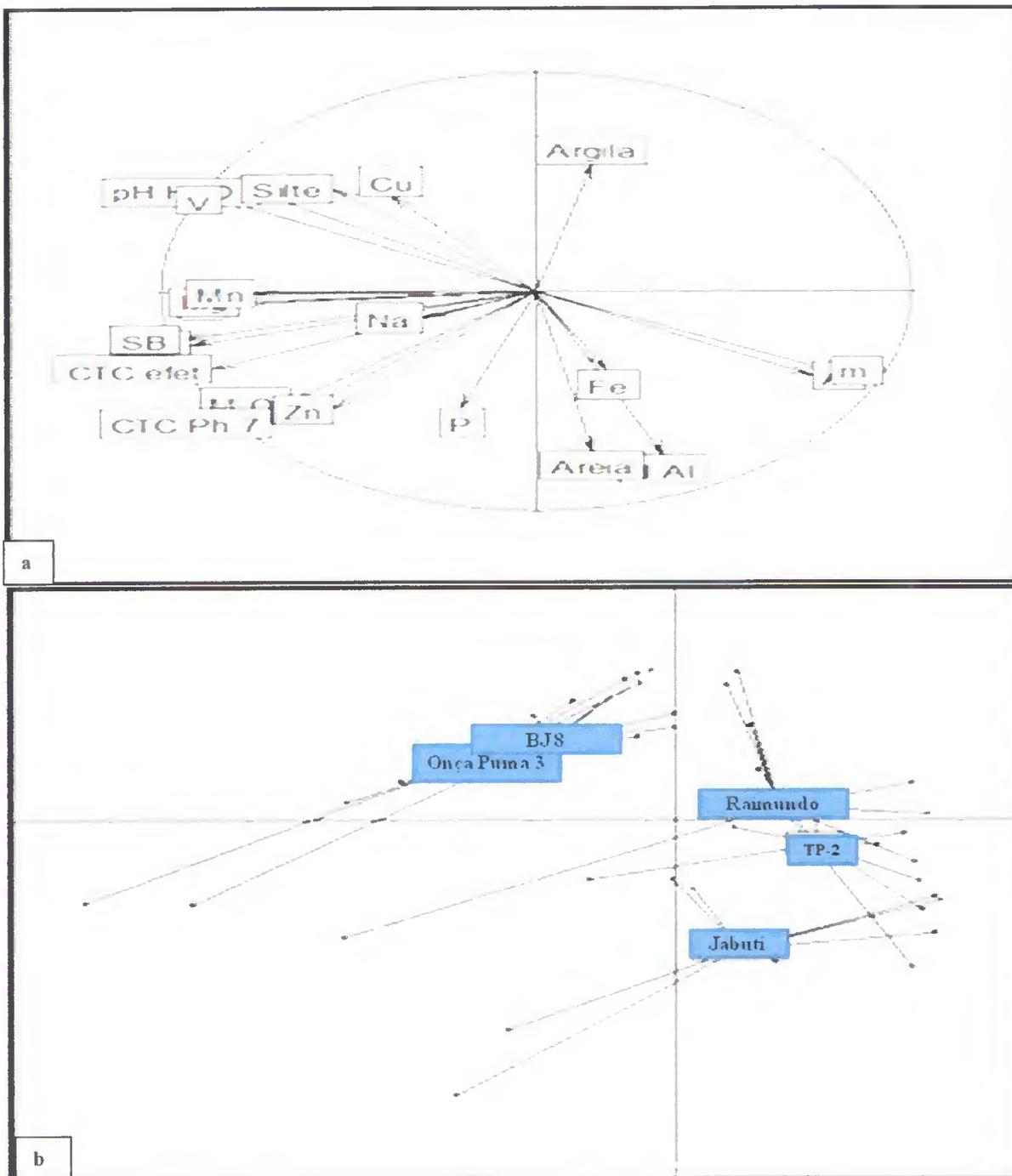
A Figura 18a mostra os resultados da análise de componentes principais (ACP) para os atributos químicos do solo e frações granulométricas. A distribuição das variáveis selecionadas apresentou variação acumulada de 60,84% para os eixos CP1 (componente principal 1) e CP2 (componente principal 2), sendo o eixo CP1 capaz de explicar 41,66% e o CP2, 19,18% dessa variância. Mn, Mg, K, Na, Ca, SB e CTC<sub>efetiva</sub> foram os atributos químicos mais fortemente correlacionados com o primeiro eixo. Os demais atributos apresentaram menor correlação com esse eixo, sendo menos importante na explicação dessa componente principal. Os atributos mais fortemente correlacionados com o segundo eixo de ordenação foram H+Al, areia, argila, P e Fe. Os atributos Mn, Mg, K, Na, Ca, SB e CTC<sub>efetiva</sub> foram os que mais influenciaram na variação total entre os tratamentos utilizados.

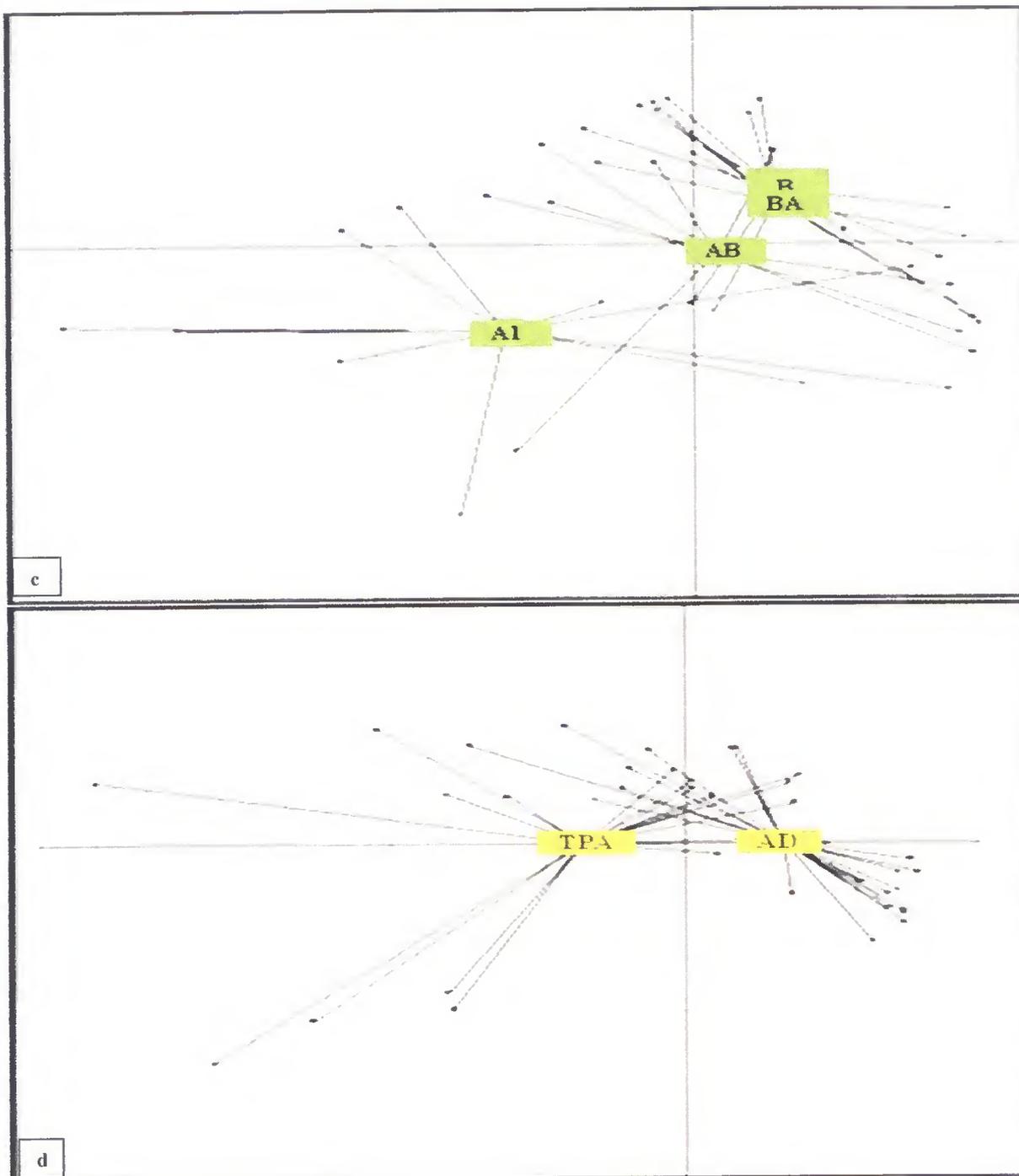
A dispersão gráfica demonstra que houve diferença entre os tratamentos utilizados em relação aos atributos químicos do solo. No diagrama de ordenação das amostras em função dos sítios verifica-se que Raimundo e Terra Preta 2 localizam-se à direita, próximos à CP1, indicando que os atributos Mn, Mg, K, Na, Ca, SB e CTC<sub>efetiva</sub> apresentaram maior influência na diferenciação desses locais em relação aos demais. No entanto, estes sítios posicionam-se sentido contrário aos dessas áreas, apresentando em geral os menores valores para estas variáveis sendo no sítio Terra Preta 2 em ambas as áreas e em Raimundo principalmente em sua área adjacente (Figura 18b).

Os sítios de Onça Puma 3 e BJ 8 apresentam uma considerável sobreposição de comportamento, em que a posição acima e à esquerda está relacionada com os maiores valores de pH em água, V% e os altos teores de Silte e Cu atributos nos quais estes sítios apresentam maior similaridade.

O sítio de Jabuti, localizado à direita do diagrama, próximo à CP2, demonstra que as variáveis H+Al, areia, argila, P e Fe, foram características de maior influência para diferenciar esse local dos demais. A classe textural varia nesta área de Areia a Franco arenosa, apresentando baixos teores de argila. Observam-se, ainda, os maiores teores de P disponível e altos valores de Fe e H+Al. Como este sítio apresenta os maiores teores de MO tanto na área adjacente como em TPA, o processo de decomposição destes resíduos orgânicos pode ter favorecido o aumento da acidez potencial do solo (H + Al) e, conseqüentemente, aumentou o alumínio na solução do solo e o ferro nesse ecossistema (ALVARENGA, 1996).

Observa-se comportamento antagônico entre as variáveis V%, pH e Al, m%, indicando a relação indireta entre essas variáveis em que os maiores valores de V% e pH correspondem aos menores valores de Al e m%. Segundo Moreira e Fageria (2009), com o aumento do pH do solo, há a diminuição no conteúdo de  $Al^{+3}$ . Da mesma forma Ernani e Gianello (1983), relataram em experimento com a incorporação de cama de frango que a saturação por bases foi positivamente correlacionada com pH e negativamente com  $Al^{+3}$  estando de acordo com o preconiza a literatura (MELLO et al., 1983; RAIJ, 1991).





**FIGURA 18-** Análise de Componentes Principais (ACP) realizada para as propriedades químicas dos sítios de TPA e áreas adjacentes para cinco diferentes áreas, nos horizontes A1, AB, BA e B. (a) Circulo de correlações entre as variáveis químicas do solo e as frações granulométricas. (b) Diagrama de ordenação das amostras em função dos sítios ( $p=0.001$ , observação=0.37) (c) Diagrama de ordenação das amostras em função dos horizontes ( $p=0.003$ , observação=0.18) (d) Diagrama de ordenação das amostras em função das áreas estudadas (TPA, AD) ( $p=0.003$ , observação=0.10)

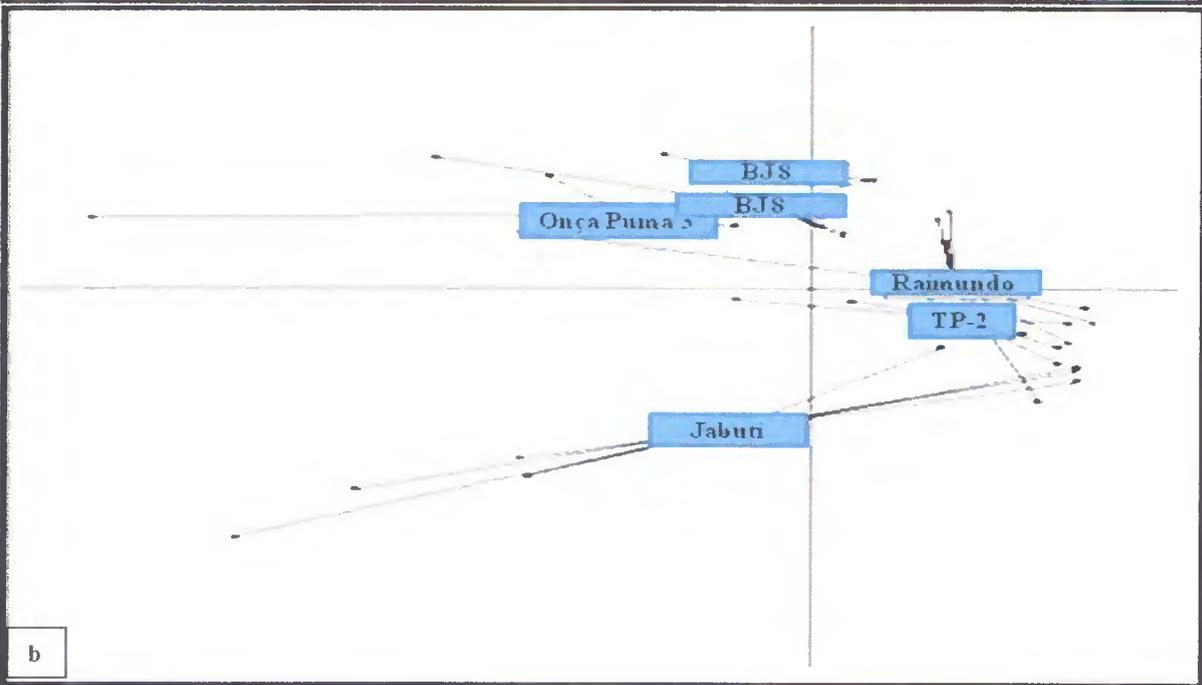
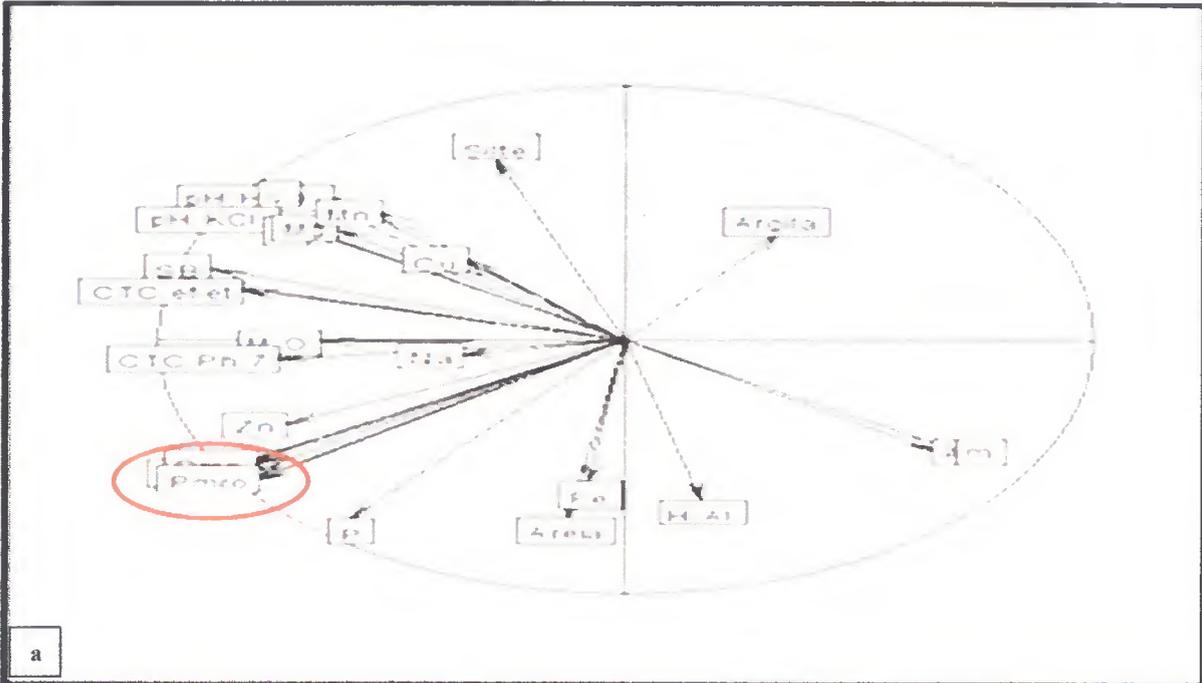
O diagrama de ordenação das amostras em função dos horizontes mostra que o horizonte A1 isolado abaixo e a esquerda do diagrama de ordenação, próximo à CP1, indica que os atributos Mn, Mg, K, Na Ca, e  $CTC_{efetiva}$  tiveram maior influência na diferenciação

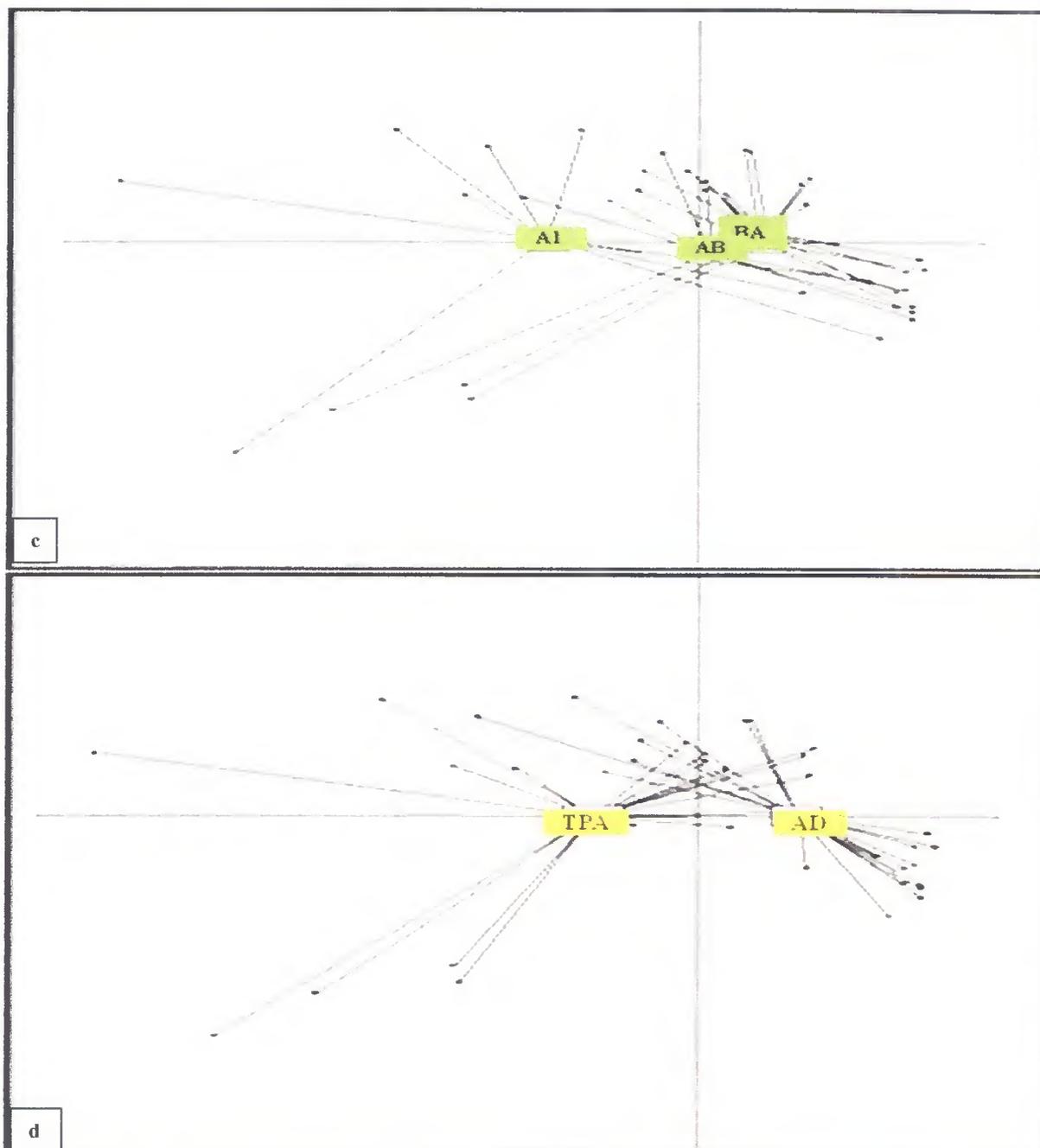
deste em relação aos demais levando-se em consideração que estes atributos foram os mais importantes para a explicação da variância total dos resultados (Figura 18c). O horizonte A1 nas TPA é denominado de horizonte antropogênico, pois sofreu maior influência dos indígenas, havendo grande deposição de resíduos orgânicos, estando a MO diretamente relacionada com os maiores teores de Ca e Mg. Em solos tropicais a CTC gerada pela MO pode representar um grande percentual da CTC<sub>pH 7</sub>. Bayer e Mienlniczuk (1997a) destacaram o incremento na CTC de um Podzólico Vermelho com a utilização do plantio direto, o que está relacionado com o aumento dos teores de MO, a qual apresentou uma CTC em torno de 314 cm<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>.

O horizonte AB também correlacionou-se com o CP1 e apesar de ainda ser possível perceber alguma influência da ação antrópica neste horizonte de transição, observa-se valores para estes atributos nitidamente inferiores ao encontrados no horizonte A1. O horizonte BA e B apresentam-se ligeiramente destacados do horizonte AB, pois são atraídos pelo CP2 principalmente pela variável Argila, que em geral apresentou maiores teores com o aumento da profundidade.

Observa-se que a maioria dos parâmetros selecionados para a ACP correlacionaram-se com a TPA, principalmente as variáveis Mn, Mg, K, Na, Ca, SB e CTC<sub>efetiva</sub> e ligeiramente influenciados pelas variáveis MO, CTC<sub>pH 7</sub> e Zn. A posição em sentido oposto das TPA e áreas adjacentes infere os menores valores para esta última, sendo em geral observados para estas variáveis (Figura 18d). Isto sugere que mesmo com as variações que ocorrem entre as áreas de TPA estes atributos possibilitaram caracterizar e diferenciar as TPA de suas áreas adjacentes.

A Figura 19a mostra os resultados da análise de componentes principais (ACP) para os atributos químicos do solo, frações granulométricas e formas de fósforo. A distribuição das variáveis selecionadas apresentou variação acumulada de 64,83% para os eixos F1 e F2, sendo o eixo F1 capaz de explicar 42,73% e o F2, 22,06% dessa variância. A SB, CTC<sub>efetiva</sub>, CTC<sub>pH 7</sub> e MO foram os atributos químicos mais fortemente correlacionados com o primeiro eixo. Os demais atributos apresentaram menor correlação com esse eixo, sendo menos importante na explicação dessa componente principal.





**FIGURA 19-** Análise de Componentes Principais (ACP) realizada para as propriedades químicas e formas de fósforo do solo dos sítios de TPA e áreas adjacentes para cinco diferentes áreas, nos horizontes A1, AB, BA e B. (a) Circulo de correlações entre as variáveis químicas do solo, formas de fósforo e frações granulométricas. (b) Diagrama de ordenação das amostras em função dos sítios ( $p=0,001$ , observação=0,37) (c) Diagrama de ordenação das amostras em função dos horizontes ( $p=0,001$ , observação=0,15) (d) Diagrama de ordenação das amostras em função das áreas estudadas (TPA, AD) ( $p=0,001$ , observação=0,13)

Os atributos mais fortemente correlacionados com o segundo eixo de ordenação foram, Silte, Argila, P, Fe, Areia H +A1. Os atributos SB,  $CTC_{efetiva}$ ,  $CTC_{pH 7}$ , MO, Na foram os que mais influenciaram na variação total entre os tratamentos utilizados.

A dispersão gráfica demonstra que houve diferença entre os tratamentos utilizados em relação aos atributos químicos do solo. No diagrama de ordenação das amostras em função dos sítios verifica-se que Raimundo e Terra Preta 2 localizam-se à direita, próximos à CP1, indicando que os atributos SB,  $CTC_{efetiva}$ ,  $CTC_{pH\ 7}$ , MO, e com menor importância o Na, Zn, as formas de fósforo, tiveram maior influência na diferenciação desses locais em relação aos demais (Figura 19b).

Os sítios de Onça Puma 3 e BJ 8 apresentaram correlação com a CP2, principalmente com Silte disposto no quadrante superior. O sítio Onça Puma 3 foi o que apresentou os maiores teores de Silte. O teor de silte variou de 165 a 394  $g.kg^{-1}$ . Verifica-se que normalmente os solos alcançam no máximo 10% ( $100g\ kg^{-1}$ ), o que ocorre na maioria dos solos do Brasil (PRADO, 1991). Deste modo, os altos teores de silte nestas áreas pode ter contribuído para os teores de MO que apresentaram valores máximos de 25,06 e 37,33  $g\ kg^{-1}$ , no horizonte superficial dos sítios BJ 8 e Onça Puma 3 respectivamente. Silva Júnior (2007) estudando Latossolo Amarelo da Amazônia mostrou que, das frações granulométricas, a fração Silte foi a que apresentou maior concentração de carbono. De acordo com Desjardins et al. (2004) a fração Silte contém principalmente uma matéria orgânica pouco humificada e microrganismos ligados à fase mineral do solo.

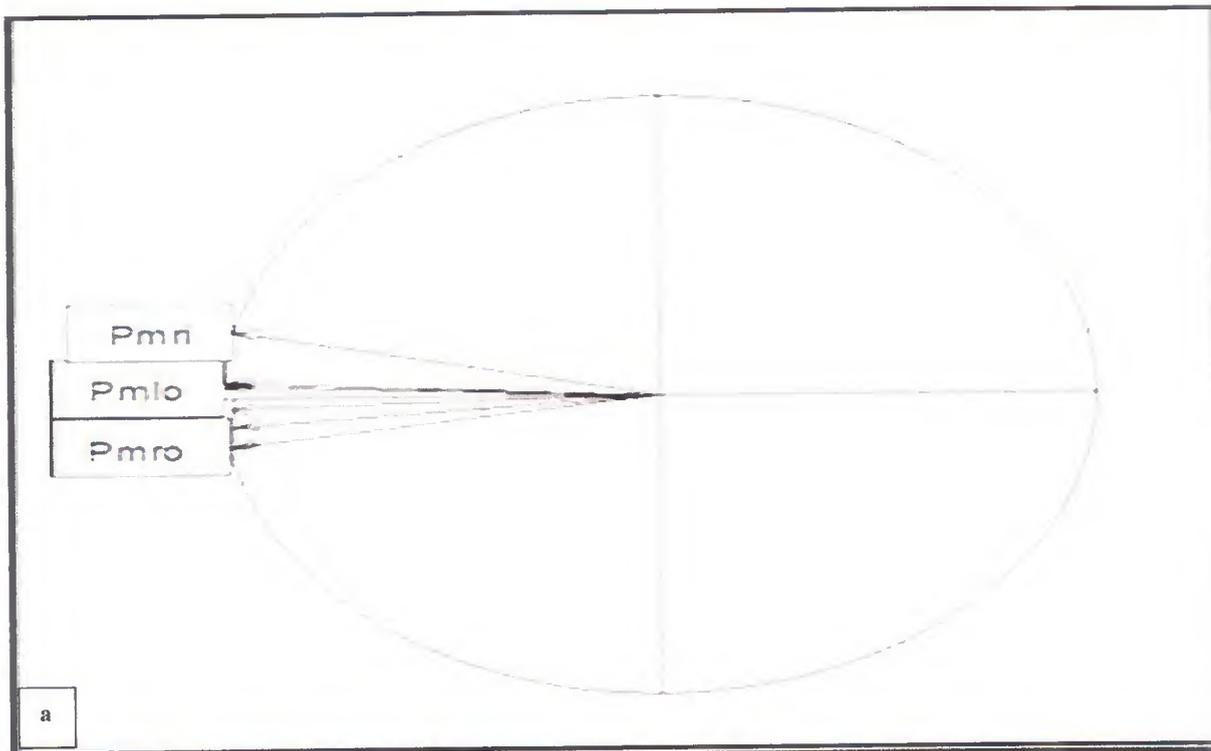
O sítio de Jabuti apresenta maior influência dos atributos da CP2, tendendo para o lado esquerdo relacionando-se com os maiores teores de P disponível, que juntamente com os demais atributos, o diferencia dos demais locais

O diagrama de ordenação das amostras em função dos horizontes demonstra que o horizonte A1 correlaciona-se com a CP1, indicando que os atributos SB,  $CTC_{efetiva}$ ,  $CTC_{pH\ 7}$ , MO tem maior influência na diferenciação desses locais em relação aos demais, quando se leva em consideração que estes atributos foram os mais importantes para a explicação da variância total dos resultados (Figura 19c). Os horizontes AB, BA e B apresentaram grande similaridade e se correlacionaram com o primeiro eixo de ordenação, sendo pouco atraídos para o lado direito devido os menores valores destes atributos em relação ao horizonte A1

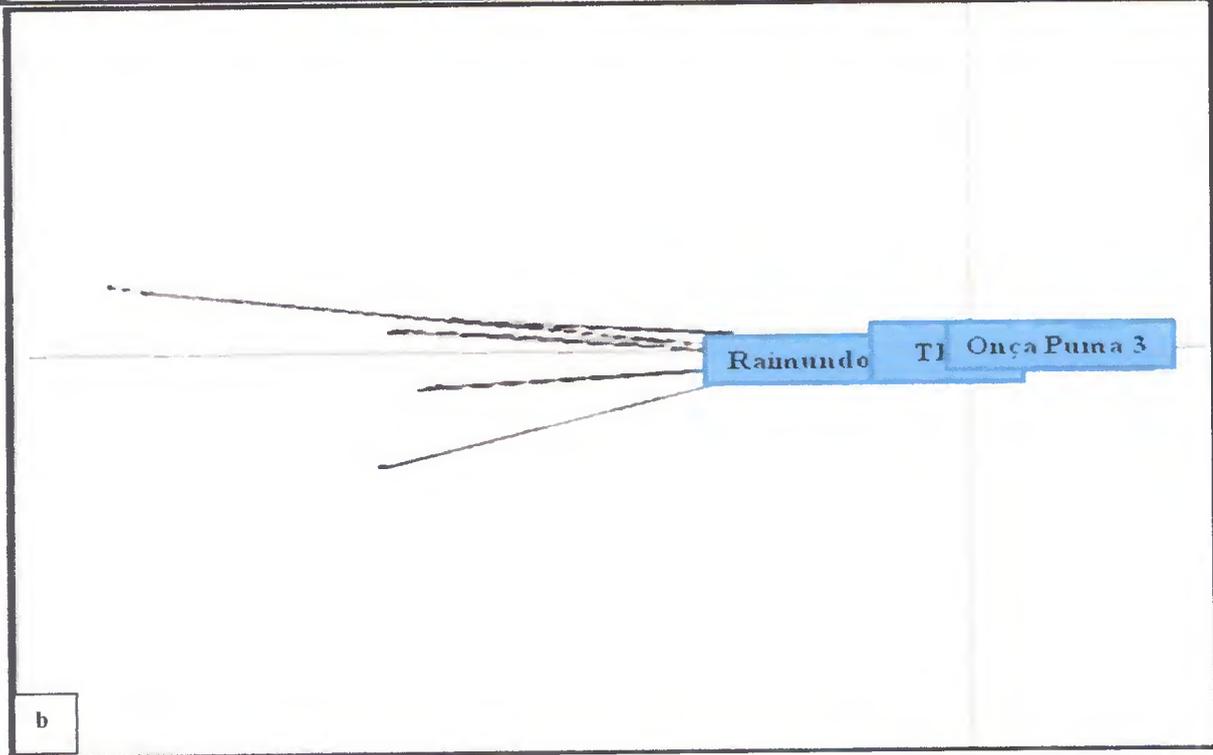
Observa-se que a TPA apresentou as maiores correlações com SB,  $CTC_{efetiva}$ ,  $CTC_{pH\ 7}$  e MO e as menores com as variáveis Na, Zn e formas de fósforo. A posição em sentido oposto das TPA em relação às áreas adjacentes infere os menores valores observados em geral para estas variáveis, onde mesmo com as variações que ocorrem entre as áreas de TPA, estes atributos possibilitaram caracterizar e diferenciar as TPA dos solos originais (Figura 19d).

Por meio da Figura 20a, verifica-se que para as formas de P do solo, apresentou autovalores de 97,06% para o CP1 e de 1,5 % para o CP2, o que representa 98,56% da

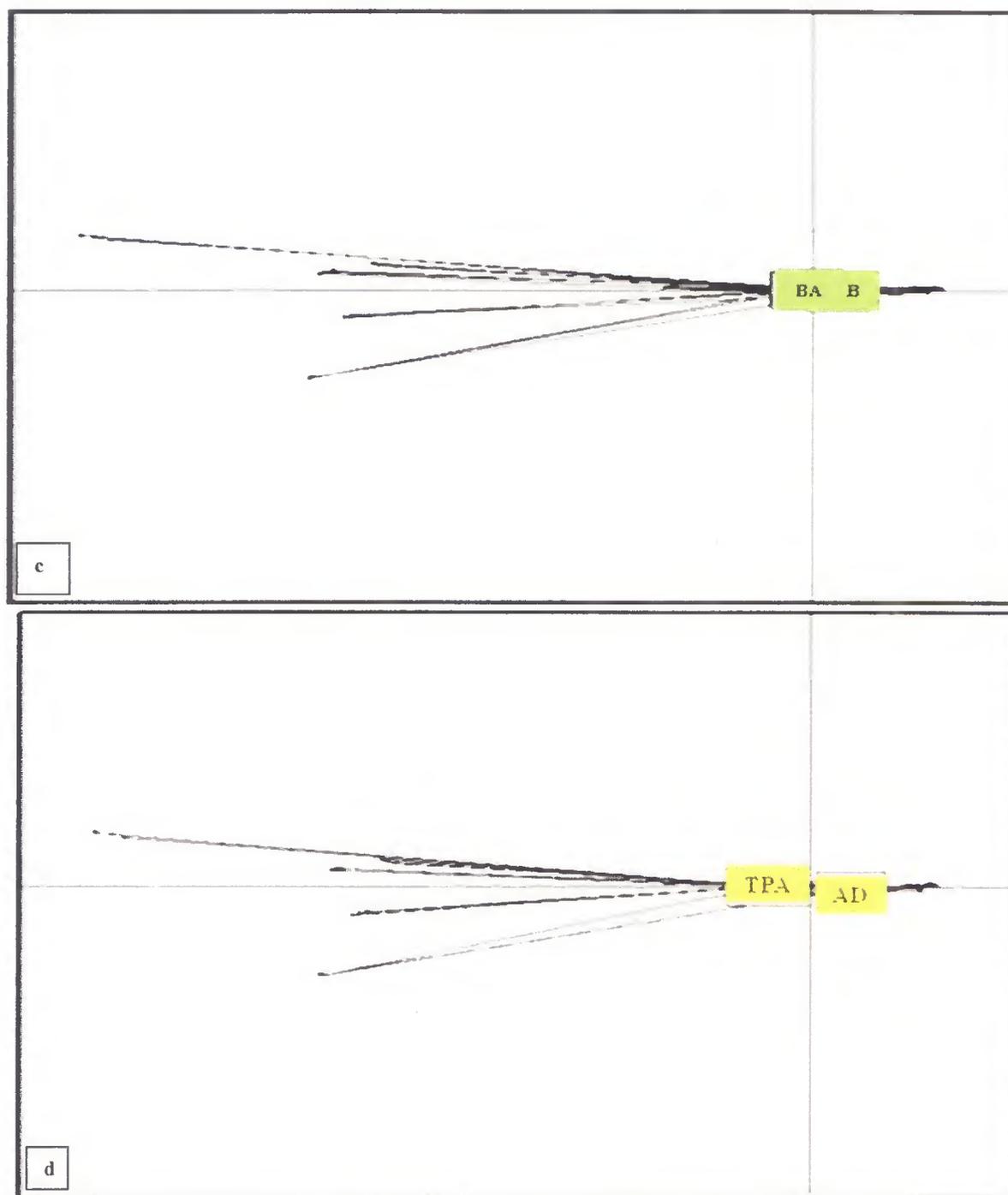
variação acumulada nos dois eixos. Deste modo todas as formas de P apresentaram-se fortemente correlacionadas com o primeiro eixo de ordenação, podendo-se visualizar tendência para agrupamento entre os sítios e entre os horizontes, caracterizando que não ocorreu dissimilaridade entre os mesmos (Figuras 20b e 20c). Em função das áreas de TPA e áreas adjacentes, observa-se a oposição entre elas. Isso representa a diferenciação entre essas áreas pelos maiores valores de P em todas as formas observadas nas áreas de TPA (Figura 20d).



a



b



**FIGURA 20-** Análise de Componentes Principais (ACP) realizada para as formas de fósforo do solo dos sítios de TPA e áreas adjacentes para cinco diferentes áreas, nos horizontes A1, AB, BA e B. (a) Circulo de correlações entre as variáveis químicas do solo. (b) Diagrama de ordenação das amostras em função dos sítios ( $p=0.002$ , observação=0.20) (c) Diagrama de ordenação das amostras em função dos horizontes ( $p=0.68$ , observação=0.05) (d) Diagrama de ordenação das amostras em função das áreas estudadas(TPA, AD) ( $p=0.001$ , observação=0.85). .

#### 2.3.4 Avaliação do grau de similaridade ou de dissimilaridade entre as formas de Po do solo

Os dados obtidos foram submetidos à análise de agrupamento para as formas de fósforo ( $P_{tl}$ ,  $P_{t H^+}$ ,  $P_{t OH^-}$ ) avaliados nas áreas de TPA e áreas adjacentes. Na Figura 21 observa-se o dendrograma formado a partir da matriz de dados padronizados pela Análise de Cluster, utilizando-se a distância euclidiana quadrada como medida de similaridade entre as áreas estudadas, através do Método Complete Linkage. O eixo vertical representa a distância euclidiana escalonada de 0 a 3000. No eixo horizontal, encontram-se as áreas que geraram os grupos. O ponto de parada do processo de agrupamento sucessivo foi estabelecido como aquele em que os grupos formados apresentaram detalhamento apropriado da informação provida pelos dados (MATTOS JÚNIOR et al., 1999).

Verifica-se através do dendrograma de distância das áreas estudadas, que foi possível a formação de quatro grupos. O primeiro (G1) constituído pelas áreas Raimundo TPA, BJ 8 TPA, Jabuti AD, Terra Preta 2 AD, Raimundo AD. O segundo grupo (G2), foi representado pelas áreas de Onça Puma 3 AD, Terra Preta 2 TPA. O terceiro grupo (G3) foi formado pelo sítio Onça Puma 3 TPA e o quarto grupo (G4) composto pelo sítio Jabuti TPA.

O baixo valor da distância euclidiana entre os membros do grupo G1 mostram que em relação as formas de fósforo estas áreas apresentam uma grande semelhança, em que observa-se que os grupos se formaram em função dos teores de P, possuindo esses grupos os menores valores encontrados. Por outro lado nos grupos G3 e G4, os sítios Onça Puma 3 TPA e Jabuti TPA respectivamente, se destacaram com os maiores valores.

Apesar do incremento de P observado nos sítios de TPA em relação as áreas adjacentes, a separação dos grupos não isolou completamente essas localidades como observado na Análise de Componente Principal.

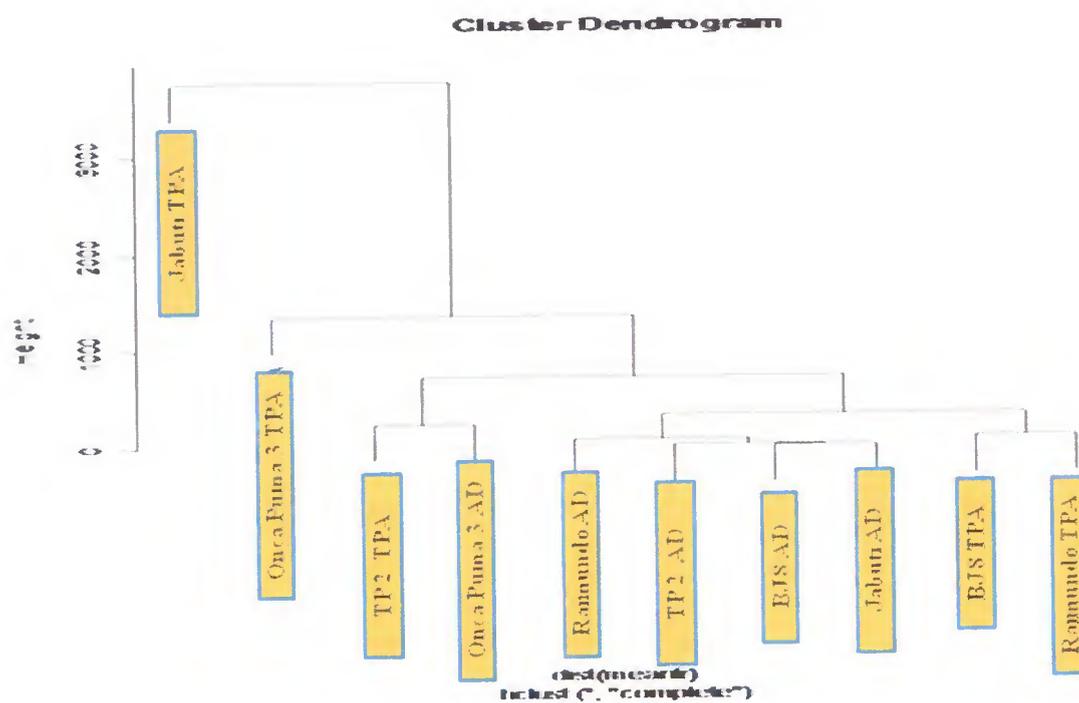


FIGURA 21- Dendrograma das formas de fósforo em nos sítios de TPA e suas áreas adjacentes pelo método de formação de grupos (*complete linkage method*).

## 2.4 CONCLUSÕES

- 1- Os sítios estudados apresentam capacidade diferencial na acumulaçãodas das formas P estudadas, predominando no horizonte superficial, tanto nas áreas de TPA quanto nas áreas adjacentes.
- 2- O fracionamento do P orgânico mostra que a maior parte do mesmo ocorre na forma  $Po H^+$  predominando sobre as formas Pol e  $Po OH^-$ .
- 3- Em relação ao PT, este foi superior nos sítios de TPA, onde os maiores percentuais foram de Pit. Entretanto, o P orgânico lábil (Pol) predominou sobre o P inorgânico lábil (Pil).
- 4- Nos sítios de TPA os valores de pH  $H_2O$ , MO, P disponível, K, Ca, Mg trocáveis, Mn disponível CTC, e V% , foram superiores aos valores encontrados em suas respectivas áreas adjacentes.

## REFERÊNCIAS

- AGBENIN, J. O.; IWUAFOR, E. N. O.; AYUBA, B. A critical assessment of methods for determining organic phosphorus in savana soils. **Biology and Fertility of Soils**, v.28, p.177-181, 1999.
- ALMEIDA, J. R. **Cronocromossequência de solos originários de rochas pelíticas do Grupo Bambuí**. 150p. 1979. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição Vegetal) – Universidade Federal Viçosa. MG, 1979.
- ALVARENGA, M. I. N. **Propriedades físicas, químicas e biológicas de um Latossolo Vermelho-Escuro em diferentes ecossistemas**. 1996. 211f. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Lavras. MG, 1996.
- ALVAREZ V.; V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. Ed. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. Aproximação. Viçosa, MG, 1999. p. 25-32.
- ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ V. V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.1003- 1011, 2003.
- ARAÚJO, E. A. **Qualidade do sorgo em ecossistemas de mata nativa e pastagens na região leste do acre, na Amazônia Ocidental**. 2008. 253f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, 2008.
- ARAÚJO, M. S. B. et al. Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, p. 259-268, 2004.
- \_\_\_\_\_; SALCEDO, I.H. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar na região Nordeste. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.643-650, 1997.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. SAMPAIO, E. V. S. B. Efeito de fertilizações fosfatadas anuais em solo cultivado com cana-de-açúcar. II. Formas disponíveis e efeito residual do P acumulado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 17, p. 397-403, 1993.

ASADU, C. L. A.; DIELS, J.; VANLAUWE, B. A. Comparison of the contributions of clay, silt, and organic matter to the effective CEC of soils of subSaharan Africa. **Soil Science** Hagerstown, v. 162, p.785-794, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.21, p.105-112, 1997a.

BECKMAN, E. H. et al. Distribuição vertical e horizontal de substâncias húmicas em Terra Preta de Índio, município Rio Preto da Eva, Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30. 2005, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2005.

BEDROCK, C. N.; CHESHIRE, B. V. M., MENDONC, A. E. S.; SCHAEFER, C. E. R.; NOVOTNY, E. H.; REIS, E. L.; KER, J. C., Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. **Geoderma**, v. 127, p. 104-113, 2005.

BENITES, V. M., MENDONC0A, E. S., SCHAEFER, C. E. R., NOVOTNY, E. H., REIS, E. L., KER, J. C., Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. **Geoderma**, v. 127, p. 104-113, 2005.

BOWMAN, R. A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, v.53, p.362-366, 1989.

BOWMAN, R. A.; COLE, C. V. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. **Soil Science**, v.125, p.95-101, 1978a.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos. 1989. 878p.

\_\_\_\_\_; WEIL, R. R. **The nature and properties of soil**. 2. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1999. 624p.

BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Phosphorus in the microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 16, p. 169-175, 1984.

BUSATO, J. G; CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo num cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo fracionamento seqüencial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 935-944, 2005.

CABALA, P.R.; FASSBENDER, H.W. Formas del fósforo en suelos de la región cacaotera de Bahía, Brasil. **Turrialba**, v.20, p.439-444, 1970.

CAMARGO, F. Estudo de alguns perfils do solos coletados em diversas regiões da hiléia (1941). In: LEHMANN, J. et al. **Dark earths: origin, properties, management**. Netherlands: Kluwer Academic, 2003. chap. 2.

CANELLAS, L.P. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhiço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.5, p.935-944, 2003.

CANTARELLA, H.; ABREU, C. A.; BERTON, R.S. Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo. In: GUERRINI, I. A.; BULL, L.T., (Ed). **Encontros sobre matéria orgânica do solo**. Jaboticabal: Universidade Estadual de São Paulo, 1992. p.63-122.

CHACÓN N.; DEZZEO N. Phosphorus fractions and sorption processes in soil samples taken in a forest-savanna sequence of the Gran Sabana in southern Venezuela **Biology and Fertility of Soils**, v. 40, p.14-19, 2004.

CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, v. 84, p. 133-144, 1957.

CHAUVEL, A.; LUCAS, Y.; BOLLET, R. On the genesis of the soil mantle of the region of Manaus, Central Amazônia, Brasil. **Experientia**, v. 43, p. 234-241. 1987.

CHEN, J. S.; CHIU, C. Y. Effect of topography on the composition o soil organic substances in a perhumid sub-tropical montane forest ecosystem in Taiwan. **Geoderma**, v. 96, p. 19-30, 2000.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.33, n.6, p.1161-1164, 2003.

CNEC. **Relatório de impacto ambiental**. Projeto Juruti, Pará-Brasil. Omnia Minérios. 2002.

CONDRON L. M.; TIESSEN H. Interactions of organic phosphorus in terrestrial ecosystems. In: TURNER B. L.; FROSSARD, E. BALDWIN; D.S. (Ed). **Organic phosphorus in the environment**. Oxford: CABI, 2005. p. 295-307.

CONDRON, L. M. et al. Critical evaluation of methods for determining total organic phosphorus in tropical soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, p. 1261-1266, 1990.

CORAZZA, E. J. **Biodisponibilidade do íon fosfato em solos sob pastagens cultivadas na região do Cerrado**. 2002. 114f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

CÔRREA, G. R. **Caracterização pedológica de arqueo-antropossolos no Brasil: sambaquis da Região dos Lagos (RJ) e terras pretas do índio na região do baixo rio Negro/Solimões (AM)**. 2007. 115f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Viçosa. MG, 2007

COSTA, E. A; GOEDERT, W. J; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.41, n.7, 2006.

COSTA, J. A. **Caracterização e Classificação dos ambientes da Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Melgaço-Pará**, 2002. 56f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2002.

COSTA, M. L. et. A geologia da região de Caxiuanã na Amazônia Oriental. In: LISBOA, P. (Ed). **Caxiuanã: populações tradicionais, meio físico e diversidade biológica**. Belém, PA: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2002. Cap.205, p. 179.

CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 262 p.

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, v. 64, p. 197-214. 1995.

CUNHA FRANCO, E. As "Terras Pretas" do Planalto de Santarém. **Revista da Sociedade dos Agrônomos e Veterinários do Pará**, Belém, v.8, p.17-21. 1962.

CUNHA, T. J. F. **Ácidos húmicos de solos escuros da Amazônia (Terra Preta de Índio)**. 2005. 118f. Tese (Doutorado.) - Universidade Federal Rural de Rio de Janeiro, RJ. 2005.

CUNHA, T. J. F. et al. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amanzônia(Terra Preta). **Acta Amazônica**, v. 37, n. 1, p. 91-98, 2007.

\_\_\_\_\_; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BENITES, V.M.; SANTOS, G.A.; Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (terra preta de índio) in the brazilian amazon basin . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.85-93. 2009.

DAMODAR REDDY, D.; SUBBA RAO, A.; RUPA, T.R. Effectsof continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol.Biores. **Technol.**, v.75, p.113-118, 2000.

DEMATTÊ, J. L. I.; DEMATÊ, J. A. M. Comparações entre as propriedades químicas de solos das regiões da floresta amazônica e do cerrado do brasil central. **Scientia Agrícola**, v. 50, p. 272-286, 1993.

DENEVAN, W. M **Cultivated landscapes of native Amazonia and the Andes**. Oxford: Oxford University Press 2001.

DERENNE, S.; LARGEAU, C. A review of some important families of refractory macromolecules: Composition, origin, and fate in soils and sediments. **Soil Science**, v. 166, p 833-884, 2001.

DESJARDINS, T ;BARROS, E.; SARRAZIN, M.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI, A. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in brazilian Amazônia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v.103, p.365-373, 2004.

DUDA, G.P. **Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solo**. 2000. 150p. Tese (Doutorado). UFRRJ, Seropédica, 2000

\_\_\_\_\_; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M.; MENDES, A. M. S. Caracterização de fósforo e carbono orgânico em solos cultivados com diversas culturas em sistema de produção agroecológica. **Revista Científica Rural**, v. 11, p. 34-32, 2006.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA CNPS. Rio de Janeiro. 412 p., 1999.

\_\_\_\_\_. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/ CNPS, 1997.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. Centro Nacional de Pesquisa de solos, 2006. 306p.

ERNANI, P. R.; GIANELLO, C. Diminuição do alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e camas de aviário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, n. 2, p. 161-165, 1983.

FALCÃO, N. P. et al. Determining nutrient bioavailability of Amazonian Dark Earth soils; methodological challenges. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). **Amazonian Dark Earths**; origin, properties, managements. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 255-270.

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 Amazônica**, v. 36, p. 401-406, 2006.

FALESI, E. C. As Terras Pretas do planalto de Santarém. **Revista da Sociedade dos Agrônomos e Veterinários do Pará**, v. 8, p.17-21, 1972.

FARES, F. L.; FARDEAU, J. C.; JACQUIN, F. Quantitative survey of organic phosphorus in different soil types. **Phosphorus in Agriculture**, Paris, v.28, p.25-40, 1974.

FARIA, J. B. **A Cerâmica da Tribo Uaboí dos rios Trombetas e Jamundá**. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Proteção ao Índio, 1946. p. 5-42.

FIXEN, P. E.; LUDWICK, A. E. Residual available phosphorus in near- neutral and alkaline soils: I. Solubility and capacity relationships. **Soil Science Society of American Journal**, v 46, p. 332-334, 1982.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 247f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2003.

GERMAN, L. A geographical method for Anthrosol characterization in Amazônia: contribution to method and human ecological theory. In: GLASER, B.; WOODS, W.I., (Ed). **Amazon Dark Earths**: Explorations in space and time. Berlin: Springer, 2004. p. 29-51.

GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Black carbon in density fractions, of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. **Organic Geochemistry**, v. 31, p. 668-678, 2000.

GLASER, B.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W.; RUIVO, M. L. Soil organic matter stability in Amazonian Dark earths. In LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W.I., (Ed). **Amazonia Dark earths**; Origin, Properties and management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003a. p. 141 – 158.

\_\_\_\_\_; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soil in the tropics with charcoal: a review. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p.219-230, 2002.

GONZÁLES-PÉREZ, J. A.; GONZÁLES-VILA, F. J.; ALMENDROS, G.; KNICKER, H. The effect of fire on soil organic matter – a review. **Environment International**, v. 30, p. 855-870, 2004.

GUERRA, J. G. M. **Produção sazonal de *Brachiaria decumbens* Stapf., conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural**. 1993. 234f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1993.

\_\_\_\_\_; ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. A.; FERNANDES, M. S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, p. 291-299, 1996.

HARRISON, A. F. Labile organic phosphorus mineralization in relationship to soil properties. **Soil Biology and Biochemistry**. v.14, p.343-351, 1982.

HARTT, C. F. **Contribuições para a Ethnologia do Valle do Amazonas**. Archivos do Museu Nacional do Rio de Janeiro: [S.n.], 1885. v. 6, p. 1,

HAYNES, R. J. Lime and phosphate in the soil-plant system. **Adv. Agron**, v. 37, p. 249-315, 1984.

HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B.; CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.46, p.970-976, 1982.

HÖLSCHER, D. et al. Dynamic of soil chemical parameters in shifting agriculture in the Eastern Amazon. **Agriculture Ecosystems & Environment** , v. 66, p. 153-163, 1997.

HUE, N. V. Effects of organic acids/anions on sorption and phytovailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, v.152, p.463-471, 1991.

I. FAN YU; SHENG-BIN HO. Comparison of the Ignition Method and the Perchloric Acid Digestion Method for the Determination of Total Phosphorus in Agricultural Soils of Taiwan. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.40, p. 1953-1963 2009.

KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed). **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.107-138

KÄMPF, N.; KERN, D. C. **O solo como registro da ocupação humana pré histórica na Amazônia**. In: TORRADO, P. V.; ALLEONI, L. R. F; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (Org). **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2005. v. VI, p. 277-320.

\_\_\_\_\_; WOODS, W. I.; KERN, D. C.; CUNHA, T. J. **Classificação das Terras Pretas de Índio e Outros Solos Antrópicos Antigos**. In: TEIXEIRA, W. G. et al. (Org.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. Manaus. 2009. v. 1. p. 87-102.

KATZER F. A Terra Preta. **Boletim da Secção do Fomento Agrícola no Estado do Pará**. v.3, p.35-38, 1944

KERN, D. C. **Caracterização pedológica de solos com Terra Preta Arqueológica na região de Oriximiná**, Pará. 1988. 232f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

KERN, D. C. **Geoquímica e pedogeoquímica de sítios arqueológicos com terra preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel - Pará)**. 1996. 124f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.

\_\_\_\_\_; D'AQUINO, G.; RODRIGUES, T. E.; FRAZÃO, F. J.; SOMBROEK, W.; MYERS, T. P.; NEVES, E. G. **Distribution of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon**. In: LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B. & WOODS, W. I. **Amazonian Dark Earths. Origin, properties and management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 51-75.

\_\_\_\_\_; KÄMPF, N. Ação antrópica e pedogênese em solos com Terra Preta em Cachoeira-Porteira. Pará. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**. Belém, 2005. v.1. n.2. p.187- 201.( Série Ciências Naturais).

\_\_\_\_\_; KÄMPF, N. O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na Região de Oriximiná-PA. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 13. p. 219-25, 1989.

KILLHAM, K. **Soil ecology**. Cambridge, 1994. 242p.

LEHMANN, J.; SILVA, J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v. 249, p. 343–357, 2003.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 4.ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. 83p.

LIANG, B. et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Science of Society America Journal**, v. 70, p. 1719-1730, 2006.

LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. R.; KÄMPF, N.; COSTA, M. L.; SOUZA, K. W.; Características Químicas e Mineralógicas e a Distribuição de Fontes de Fósforo em Terras Pretas de Índio da Amazônia Ocidental. In: TEIXEIRA, W. G. et al., (Org.). **Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus, 2009. v. 1. p. 87-102.

\_\_\_\_\_; 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”) Western Amazonia. **Geoderma**, v.110, p.1-17. 2002.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R. Alterações em características químicas de solos da região amazônica pela introdução de pastagens. **Acta Amazônica**, v.30, p.71-80, 2000.

LOPES, E. L. N.; FERNANDES, A. R.; GRIMALDI, C.; RUIVO, M. L. P.; RODRIGUES, T. E.; SARRAZIN, M. Características químicas de um Gleissolo sob diferentes sistemas de uso, nas margens do rio Guamá, Belém, Pará. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi – Ciências Naturais**, Belém, v. 1, n.1, p. 127-137, 2006.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; Lenzi, E. A matéria orgânica nos solos. In: **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro, 2001. p.36-45.

LUIZAO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Ciência e Cultura**, v. 9, n. 3, 2007.

MACHADO, M. I. C. S.; BRAUNER, J. L.; VIANNA, A. C. T. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 331-336, 1993.

- MADARI, et al., Matéria Orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio) : **Suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo** In: TEIXEIRA, W. G. (Org.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. Manaus, 2009. v.1.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.
- MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo-SP: Agronômica Ceres, 1987
- MARAKOV, M. I.; MALYSHEVA, T. I.; HAUMAIR, L.; ALT, H. G.; ZECH, W. The forms of phosphorus in humic and fulvic acids of a toposequence of alpine soils in the northern Caucasus. **Geoderma**, v.80, p.61-73, 1997.
- MARTINAZZO, R. et al. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto afetado pela adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.3, p.563-568, 2007.
- MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S.; VILLANI E, M. A.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO J. C. C. Formas de fósforo no solo em sistemas de milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.625-632. 2006.
- MATTOS JÚNIOR, D.; GONZALES, A. F.; POMPEU JUNIOR, J.; PARAZZI, C. Avaliação de curvas de maturação de laranjas por análise de agrupamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.2203-2209, 1999.
- MBAGWU, J. S. C.; PICCOLO, A. Effects of humic substances from oxidized coal on soil chemical properties and maize yield. In: DROZD, J. (Ed). **The role of humic substances in the ecosystems and in environmental protection**. Wroclaw, Poland: IHSS, POLISH SOCIETY OF HUMIC SUBSTANCES, 1997. p. 921-925.
- MCDOWELL, R. W.; CONDRON L. M. I. Stewart . An examination of potential extraction methods to assess plant-available organic phosphorus in soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.44, p.707-715, 2007.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_ ; STEWART, I. An examination of potential extraction methods to assess plant-available organic phosphorus in soil. **Biology and Fertility of Soils**. v.44, p.707-715, 2007.

- MELLO, F. A. F.; SOBRINHO, M. O. C. B.; ARZOLLAS, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIEHL, J. DE C. **Fertilidade do Solo**. 3. ed. Piracicaba, 1985. 400p.
- MELO, V. S. **Avaliação da qualidade dos solos em sistemas de floresta primária-capoeira-pastagem na Amazônia Oriental por meio de indicadores de sustentabilidade microbiológicos e bioquímicos**. 2007. 145f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.
- MESQUITA FILHO, M.V.; TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of hydrosequence of soils from the Cerrado region (Brazil). **Geoderma**, v.58, p.107-123, 1993.
- MIELNICZUK, J. **Matéria Orgânica e as Sustentabilidades de Sistemas Agrícolas in: Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre, 1999. 508p
- MORAES, J. L. et al. Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon Basin. **Soil Science Society of America**, v. 59, p. 244, 1995.
- MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Soil chemical attributes of Amazonas States, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, p. 2912-2925, 2009.
- \_\_\_\_\_.; MALAVOLTA, E. **Variação das propriedades químicas e físicas do solo e na matéria orgânica em agroecossistemas da Amazônia Ocidental (Amazonas)**. Piracicaba: CENA/USP, 2002. 79p.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Ufla, 2002. 625p.
- MUNSELL. **Munsell Soil Color Charts**. Baltimore: Color Compary., 2000.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chemical Acta**, v 27, p. 31-36, 1962.
- NEUFELDT, H.; SILVA, J. E.; AYARZA, M. A.; ZECH, W. Land-use effects on phosphorus fractions in Cerrado oxisols. **Biology and Fertility of Soils**, v.31, p.30-37, 2000.
- NEVES, M. C. P. Como os microrganismos do solo obtêm energia e nutrientes. In: CARDOSO, E. J. N. B.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Ed). **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992, p. 17-31.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa-MG : UFV, 1999. 399 p.

NOVOTNY, E. H.; HAYES, M. H. B.; MADARI, B. E.; BONAGAMBA, T. J.; DEAZEVEDO, E. R.; SOUZA, A. A.; SONG, G.; NOGUEIRA, C. M.; MANGRICH A. S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the Utilisation of Charcoal for Soil Amendment. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 20, n. 6, p.1003-1010, 2009.

NÚÑEZ, J. E. V. et al. Conseqüências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre a contaminação do solo, sedimentos e água por metais pesados. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.23, p.981-990, 1999.

OGUNTUNDE, P. G. et al. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 39, p. 295-299, 2004.

OLIVEIRA, J. R. C. D. et al. **Caracterização dos solos da Folha Itapacurá-Mirim, município de Trairão, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002.

OLSEN, S. R.; SOMMER, L. E. Phosphorus. In: MILLER, R. H.; KENNEY, D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 403-430.

PABST, E. Critérios de distinção entre Terra Preta e Latossolo na região de Balterra e os seus significados para a discussão pedogenética. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, Série Antropologia**, Belém, v. 7, n.1, p. 5-19, 1991.

PARÁ. Secretaria De Estado De Planejamento, Orçamento E Finanças - SEPOF. **Estatística Municipal de Ourilândia do Norte**, 2007a. 46p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_ **Estatística Municipal de Bragança**, 2007b. 51p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_ **Estatística Municipal de Juruti**. 2009. 48p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_ **Estatística Municipal de Bom Jesus do Tocantins**, 2008. 46p.

PARFITT, R. L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**, v 30, p. 01-46. 1978.

PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. **Geologia do Brasil**. São Paulo: USP. 1983. 631 p.

- PRADO, H. do. **Manejo dos solos**: descrições pedológicas e suas implicações. Campinas: Nobel, 1991. 116p.
- RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Ceres/Potafos, 1991.
- RANZANI, G.; KINJO, T.; FREIRE, O. **Ocorrência de "Plaggen Epipedon" no Brasil**. Científico da Escola Superior de Agricultura/ Luiz de Queiroz, 1962. v 5, p. 1-11. (Boletim Técnico).
- REDDY, D. D.; RAO, A. S.; TAKKAR, P. N. Effects of repeated manure and fertilizer phosphorus additions on soil phosphorus dynamics under a soybean-wheat rotation. **Biology and Fertility of Soils**, v,25, p.150-155, 1999.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1999. 367 p
- RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J. Resposta do capim-pensacola à adubação fosfatada e a mineralização em solos com diferentes valores de pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p 201-205,1994.
- \_\_\_\_\_; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 589-597, 2000.
- \_\_\_\_\_; ANGHINONI, T. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 01, p. 151-160, 2001.
- ROCHA, A. T.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, W. A. C.; RIBEIRO, M. R. Fracionamento do fósforo e avaliação de extratores do P-disponível em solos da ilha de Fernando de Noronha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. Campina Grande, v.9, n.2, p.178-184, 2005.
- RODRIGUES, M. R. L.; MALAVOLTA, E. **Disponibilidade de micronutrientes em solos da Amazônia**. 1998. 141f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz- USP, 1998.
- RODRIGUES, R. C. **Biomassa microbiana e acúmulo de liteira em sistemas agroflorestais composto por meliaceas utilizadas como indicadores biológicos de**

**qualidade do solo.** 2006. 105f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2006.

RODRIGUES, S. E. G.; VIEIRA, L.S.; QUEIROZ, W.T. Formas de fósforo em Latossolos de Estado do Amapá. **Boletim da FCAP**, n.20, p.15-25, 1991.

RODRIGUES, T. E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ, V. H. et al (Ed). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. Cap.60. p. 19.

ROOSEVELT, A. C. Determinismo ecológico na interpretação do desenvolvimento social indígena da Amazônia. In: NEVES, W. (Ed). **Origem, adaptações e diversidade biológica do homem nativo da Amazônia.** Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1991. Cap.159. p.103.

\_\_\_\_\_. The Lower Amazon: A dynamic human habitat. In: LENTZ, D.L. (ed) **Imperfect Balance: Landscape transformations in the precolumbian Americas.** New York: Columbia University Press, 2000. p. 455-491.

ROQUETTE PINTO, E. **Rondônia.** São Paulo: Ed. Brasiliense, 1950. 395 p. (Série 5, v.39).

SAH, R. N.; MIKKELSEN, D. S. Transformations of inorganic phosphorus during the flooding and draining cycles of soil. **Soil Science America Journal**, v 50, p. 62-67, 1986.

SALAS, A. M.; ELLIOT, E. T.; WESTFALL, C. V.; COLE, C. V.; SIX, J. The role of particulate organic matter in phosphorus cycling. **Soil Science Society of America Journal**, v.67, p.181-189, 2003.

SANCHES, P. A.; LOGAN, T. J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: LAL, R. ; SANCHES, P. A. (Ed) **Myths and science of soils of the tropics.** Madison: SSSA, 1992. p. 35-46.

\_\_\_\_\_; SALINAS J. G. Low input management technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. **Advances in Agronomy**. v. 34, p. 279-406. 1981.

SANTOS, E. E. F.; SANTOS, M. H. L. Influência do tempo de cultivo nas características químicas de um Latossolo no Oeste baiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, Ribeirão Preto, **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. 1CD-ROM.

SAUNDERS, W. M. H.; WILLIAMS, E. G. Observations on the determination of total organic phosphorus in soils. **Journal of Soil Science**, v.6, p.254-267, 1995.

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

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; VALE JUNIOR, J. F.; MELLO, J. W. V. Uso dos solos e alterações na paisagem na Amazônia: Cenários e reflexões. **B. Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ci. Terra**, v.12, p.63-104, 2000.

SCHIMDT, M. W. I. et al. Comparative analysis of black carbon in soil. **Global Biogeochemic Cycles**, v. 15, p. 163, 2001.

SCHULZE, D. G. An introduction to soil mineralogy. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed) **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p.11-34.

SCIENTIA CONSULTORIA CIENTÍFICA. **Projeto de Resgate Arqueológico na área de intervenção da Linha de Transmissão em 500 kV Tucuruí (PA) – Açailândia (MA) – 4º Circuito**: relatório final das atividades de campo. São Paulo: Scientia Consultoria Científica/ENTE, 2007.

\_\_\_\_\_. **Relatório Final: Levantamento Arqueológico**. São Paulo, 2003.

SHARPLEY, A.N Phosphorus cycling in unfertilized and fertilized agricultural soils. **Soil Science Society of America Journal** , v. 49, p 905-911, 1985

SILVA JUNIOR, M. L. **Dinâmica do carbono e do fósforo em um Latossolo Amarelo, textura argilosa, apos conversão da floresta em capoeira e pastagens, na Amazônia Oriental**. 2007. 214f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2007.

SILVA, F. C.; RAIJ, B. V. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v 34, p. 267-288. 1999.

SILVA, G. R; SILVA JR, M. L.; MELO, V. S., Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um latossolo amarelo do Estado do Pará. **Acta amazônica**, v. 36, p. 151-158, 2006.

- SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D.; FEITOZA, L. Utilização do lodo de esgoto como fonte de fósforo e nitrogênio para o milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DECIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 4p. CD-ROM
- SILVA, M. A.; NÓBREGA, J. C. A.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; MARQUES, J. J. G. S. M.; MOTTA, P. E. F. Frações de fósforo em Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.1197-1207, 2003.
- SILVEIRA, I. M.; KERN, D. C.; QUARESMA, H. D. A. B. Reconstruindo uma ocupação. Capítulo II Populações Tradicionais. In: Pedro Lisboa (org.). **Caxiuanã: populações tradicionais, meio físico & diversidade biológica**. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém-PA, 2002. p 59-76.
- SIMÕES, M. F. O Museu Goeldi e a Arqueologia da Bacia Amazônica. In: Roque Carlos - **Antologia da Cultura Amazônica**. São Paulo: Amazônia Edições Culturais, 1972. p. 172-80 (Antologia-Folclore, 6).
- SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Microbial populations and activities in highly-weathered acidic soils: highlights of the Brazilian research. In: MONIZ, A. C. al. (Ed) **Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production**. Campinas: SBCS, 1997. p. 139.
- SJOBERG, A. Phosphate analysis of antropic soils. **Journal Field Archaeology**, v. 3, p. 447-454, 1976.
- SMITH, D. M.; CHUGHTAI, A. R. The surface-structure and reactivity of black carbon. **Colloids and Surfaces**, Amsterdam, v. 105, p. 47-77, 1995.
- SMITH, N. J. H. Anthrosols and human carrying capacity in amazonia. **Ann. Assoc. Am. Geogr.**, v.70, p.553-566, 1980.
- SOARES, A. E. S.; **Analises químicas de nutrientes em áreas com diferentes sistemas de uso da terra no município de Benjamin Constant, Amazonas**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia /UFAM, 2007.
- SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; MAMO, T.; FRITZCHE, F.; ZECH, W. Phosphorus forms and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands. **Geoderma**, v.105, p.21-48, 2002.

SOMBROEK, W. **Amazon soil: A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region.** Wageningen: Centre for Agricultural Publications and Documentation, 1966. 292p.

\_\_\_\_\_. et al. Terra preta and terra mulata: Pre-columbian Amazon kitchen middens and agricultural fields, their sustainability and their replication. In: CONGRESSO MUNDIAL DE CIÊNCIA DO SOLO, 2002. **Anais...**Bangkok, 2002. p.14.

\_\_\_\_\_.; RUIVO, M.L.; FEARNside, P.M.; GLASER, B.; LEHMANN, J. Amazonian Dark Earths as carbon stores and sinks. In: LEHMANN, J. (Eds). **Amazonian Dark Earths: Origin, properties and management.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 125-139.

SOMBROEK, W. G. et al. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. **Ambio**, v. 22, p. 417-426, 1993.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (eds) **Fertilidade do Solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 206-274.

SOUZA, K. W.; LIMA, H. N.; SCHAEFER, C.E.R.; TEIXEIRA, W. G.; PULROLNIK, K.; CORRÊA, G. R. Phosphorous forms in cultivated indian black earth (anthrosols) of varying texture in the brazilian amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1347-1355. 2009

SOUZA, L. F. et al. **Relação entre a fertilidade e as substâncias húmicas numa terra preta da Amazônia.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO,39., 2003, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Ribeirão preto, SP : SBCS, 2003.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry.** New York: Jonh Wiley & Sons, 1994. 496p.

STEWART, J. W. B.; TIESSEN, H. Dynamics of soil organic phosphorus. **Biogeochemistry, Netherlands.** v 4, p. 41-60, 1987.

TARAFDAR, J.C.; CLAASSEN, N. Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatases produced by plant roots and microorganisms. **Biology and Fertility of Soils**, v.5, p.308-312, 1988.

TATE, K. R.; SALCEDO, I. H. Phosphorus control of soilorganic matter accumulation and cycling. **Biogeochem.** v.5, p.99-107, 1988.

- TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; COLE, C. V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. **Soil Science Society of America Journal**, v.48, p.853-858, 1984.
- \_\_\_\_\_; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Nutrients and soil organic matter dynamic under shiftig cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v.39, p.139-159, 1992.
- TOKURA, A. M.; FURTINI, A. E. N.; CURI, N.; FAQUIN, V., KURIHARA, C.H.; ALOVISI, A. A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1467-1476, 2002.
- TSAI, S.M.; ROSSETO, R. Transformações microbianas do fósforo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P., (Coord). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.231-242.
- VIEIRA, L. S; SANTOS, P. C. T. C.; SILVA Jr., M.L.; COUTINHO, R. M. V. Formas de fósforo em solos do Estado do Pará - I - Latossolo Amarelo, textura média da parte Noroeste da Região Bragantina. **Boletim da FCAP**, v.21, p.65-75, 1993.
- VIONE, E. L. R. et al. Fracionamento de fósforo em solos sob plantio direto. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1997.
- WALKER, T. W.; SYERS, J.K. The fate of phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**, v.15, p.01-19, 1976.
- WILLIAM, J. D. H.; MAYER, T.; NRIAGU, J. O. Extractability of phosphorus minerals common in soils and sediments. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.44, p.462-465, 1980.
- WOODS, E. I. Developent of antrosol research. 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.3-14
- ZECH, W.; HUMAIER L.; HEMPFLING R. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In: MC CARTHY, P. et al. (Ed). **Humic substances in soil and croop sciences Society of Amarica**, Madison: Wis, 1990. p.187- 202.