



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ASSINATURAS GEOQUÍMICAS DOS PERFIS DE SOLO DO SÍTIO  
ARQUEOLÓGICO DO MUNICÍPIO BOM JESUS DO TOCANTINS - PARÁ**

**Dissertação apresentada por:**

**ANY KELLY TERRA DA SILVA**

**Orientadora: Vanda Porpino Lemos (UFPA)**

**Coorientadora: Dirse Clara Kern (MPEG)**

---

**Belém  
2010**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

S586a Silva, Any Kelly Terra da  
Assinaturas geoquímicas dos perfis de solo do sítio arqueológico do município Bom Jesus do Tocantins - Pará / Any Kelly Terra da Silva; Orientadora: Vanda Porpino Lemos; Coorientadora: Dirse Clara Kern – 2010  
xi, 44f. : il.

Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

1. Geoquímica - Pará. 2. TPA. 3. Argissolo. 4. Fertilidade. I. Lemos, Vanda Porpino, *orient.* II. Kern, Dirse Clara, *coord.* III. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 20. ed.: 551.9098115

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**ASSINATURAS GEOQUÍMICAS DOS PERFIS DE SOLO  
DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO DO MUNICÍPIO BOM  
JESUS DO TOCANTINS -PARÁ**

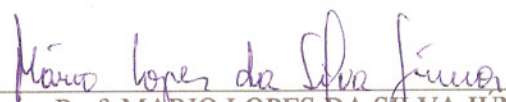
**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR**  
**ANY KELLY TERRA DA SILVA**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de  
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA**

**Data de Aprovação: 07 / 12 / 2010**

**Banca Examinadora:**

  
Prof.<sup>a</sup> VANDA PORPINO LEMOS  
(Orientadora-UFPA)

  
Prof. MARIO LOPES DA SILVA JÚNIOR  
(Membro-UFPA)

  
Prof. MARCONDES LIMA DA COSTA  
(Membro-UFPA)

*Aos meus amados pais  
Juca Melo e Algecy Terra  
e minhas queridas irmãs  
Ana Keyla e Aretha Kyara.  
Com eterno amor e gratidão, dedico.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida constituir-se em uma eterna oportunidade de aprendizado e por me permitir cumprir mais uma etapa. A Ele toda honra e toda glória.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vanda Porpino Lemos pela orientação e incentivo durante a realização desse trabalho;

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Dirse Clara Kern - MPEG, pela co-orientação e apoio;

Ao Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa pelo auxílio prestado na finalização da dissertação.

Ao Prof. Dr. Norberto Nogueira - Ufra (Universidade Federal Rural da Amazônia) pela oportunidade e orientação nas aulas de estágio docente.

Ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, através do programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica e Petroquímica pela oportunidade concedida, permitindo também utilizar sua infra-estrutura durante todo o curso;

A CAPES pelo apoio financeiro através da bolsa de mestrado e ao projeto “Assinaturas Geoquímicas Identificadoras de Terras Pretas Amazônicas”;

À Scientia Consultoria Científica;

Aos técnicos dos laboratórios de Raio-x, Absorção Atômica, Sedimentologia e Análises Químicas da UFPA/IG/PPGG, pela colaboração nas práticas laboratoriais;

À minha família pela educação, valores, amor incondicional, apoio e confiança depositados em mim;

As amigas Jully Carvalho, Helenice Menezes e Elma Oliveira pela linda amizade construída, pelas inúmeras ajudas, risos e tantas outras emoções compartilhadas nestes anos;

E ao Tasso Guimarães pelo amor, apoio, sugestões e contribuições de forma grandiosa.

## RESUMO

A integração de dados morfológicos, mineralógicos e químicos do solo com Terra Preta Arqueológica (TPA) e Argissolos adjacentes permitiu identificar os principais processos responsáveis pela formação da TPA em um sítio arqueológico no município de Bom Jesus do Tocantins, sudeste do Estado do Pará. A similaridade entre esses dados nos horizontes subsuperficiais dos solos com TPA e adjacentes indicam que a TPA foi provavelmente desenvolvida a partir de Argissolos com posterior transformação pedogenética através da introdução de materiais orgânicos e inorgânicos (utensílios de cozinha, alimentos e outros materiais de origem vegetal e animal) por antigas colonizações humanas que resultou no espessamento do horizonte superficial e concentrações maiores de CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Zn, P e Zn disponível, além de Ca<sub>trocável</sub> e Mg<sub>trocável</sub> em relação aos Argissolos adjacentes. Além disso, essa intervenção antrópica antiga também provocou modificações no horizonte subsuperficial do Argissolo com TPA, como concentrações altas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e principalmente P disponível. O *Soil Taxonomy* e o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) são adequados para a identificação do solo TPA, uma vez que priorizam nas ordens do solo os principais processos pedogenéticos atuantes na formação do solo, relacionados aos horizontes subsuperficiais, além das transformações pedogenéticas posteriores no horizonte superficial. Adicionalmente, este trabalho recomenda o acréscimo de alguns atributos diagnósticos como quantidade de artefatos cerâmicos e líticos, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, P e Zn disponível, carbono orgânico, Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>, CTC e índice de saturação por bases no horizonte superficial do *Soil Taxonomy* e SiBCS, para o agrupamento e distinção dos diversos tipos de solos antrópicos antigos da Amazônia.

Palavras chaves: Geoquímica - Pará. TPA. Argissolo. Fertilidade.

## ABSTRACT

The integration of morphological, mineralogical and chemical data of a soil with Archeological Black Earth (ABE) and surrounding *Argissolos* allowed to identify the main process acting on the ABE formation from Bom Jesus do Tocantins, southeast Pará State. The similarity between these data in the subsurface horizon of ABE and surrounding soils indicate that ABE was probably developed from *Argissolos* with subsequent pedogenetic transformation through the input of organic and inorganic materials (kitchenware, foods and other materials of animal and vegetable origin) by ancient human settlements that promoted the thickness of the surface horizon and higher concentrations of CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Zn, available P and Zn, and exchangeable Ca and Mg in relation to surrounding *Argissolos*. Furthermore, this anthropic influence also resulted in changes of subsurface horizon of *Argissolos* with ABE, such as high concentrations of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and available P. The Soil Taxonomy and Brazilian System of Soil Classification (BSSC) are suitable to identify ABE, since they prioritize in the soil orders the main pedogenetic process acting on soil formation and development, related to the subsurface horizon, and subsequent pedogenetic transformations in the surface horizon. Moreover, this study propose the addition of diagnostic properties such as ceramic and lithic artifacts, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and available P and Zn, organic carbon, Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>, CEC and base saturation index in the surface horizon of Soil Taxonomy and BSSC to group and differentiate several types of anthropic soils of Amazon region.

Key words: Geochemistry-Pará. Dark earth. Argissolos. Fertility.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	a) Município Bom Jesus do Tocantins e área de estudo sítio arqueológico BJ8; b) Classes de solos do município Bom Jesus do Tocantins.....	04
Figura 2 -	a) Perfil de solo TPA com delimitação dos horizontes; b) Distribuição das frações granulométricas; c) Classes texturais dos horizontes segundo o triângulo de classificação textural de solos.....	12
Figura 3 -	a) Perfil de solo adjacente 1 com delimitação dos horizontes; b) Distribuição das frações granulométricas; c) Classes texturais dos horizontes segundo o triângulo de classificação textural de solos.....	13
Figura 4 -	a) Perfil de solo adjacente 2 com delimitação dos horizontes; b) Distribuição das frações granulométricas; c) Classes texturais dos horizontes segundo o triângulo de classificação textural de solos.....	14
Figura 5 -	Padrões de DRX com os principais minerais identificados através do (a) método do pó e (b) <i>pipette-on-glass</i> do solo TPA.....	16
Figura 6 -	Distribuição das concentrações dos minerais e matéria orgânica no perfil TPA do sítio BJ8.....	17
Figura 7 -	Padrões de DRX com os principais minerais identificados através do (a) método do pó e (b) <i>pipette-on-glass</i> do solo adjacente 1.....	19
Figura 8 -	Padrões de DRX com os principais minerais identificados através do (a) método do pó e (b) <i>pipette-on-glass</i> do solo adjacente 2.....	20
Figura 9 -	Distribuição das concentrações médias dos minerais e matéria orgânica nos perfis adjacentes do sítio BJ8.....	21
Figura 10 -	a) Concentrações dos elementos maiores no solo TPA; b) Concentrações dos elementos menores no solo TPA; c) Concentrações médias dos elementos maiores nos solos adjacentes; d) Concentrações médias dos elementos menores nos solos adjacentes.....	24
Figura 11 -	Análises de agrupamento para os elementos maiores, menores e traços no solo TPA (a) e solos adjacentes (b).....	28
Figura 12 -	Concentrações dos elementos maiores, menores e traços do solo TPA normalizados com a Crosta Continental Superior-UCC, Folhelhos Pós-Arqueanos Australianos – PAAS e solos adjacentes do sítio BJ8.....	34
Figura 13 -	Correlação entre os perfis de solo adjacentes (Argissolos) e TPA.....	35



**LISTA DE TABELAS**

Tabela I -	Procedimentos de análise química e de fertilidade empregados nas amostras de solo.....	08
Tabela II -	Descrição morfológica dos solos TPA e solos adjacentes.....	11
Tabela III -	Composição mineralógica no perfil TPA do sítio BJ8.....	17
Tabela IV -	Média da composição mineralógica dos perfis adjacentes do sítio BJ8.....	21
Tabela V -	Concentração dos elementos maiores, menores e traços do solo TPA.....	23
Tabela VI -	Concentração média dos elementos maiores, menores e traços dos solos adjacentes.....	26
Tabela VII -	Valores obtidos para os parâmetros de fertilidade do solo TPA.....	30
Tabela VIII -	Concentração média dos parâmetros de fertilidade dos solos adjacentes....	31

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	v
<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 ÁREA DE ESTUDO</b> .....	3
2.1 LOCALIZAÇÃO.....	3
2.2 CONTEXTO GEOLÓGICO E FÍSIOGRÁFICO.....	3
2.3 CLIMA E HIDROGRAFIA.....	5
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	6
3.1 AMOSTRAGEM DE SOLO.....	6
3.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	7
3.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	6
3.4 ANÁLISE MINERALÓGICA.....	7
3.5 ANÁLISES QUÍMICAS E DE FERTILIDADE.....	7
3.6 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS.....	9
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	10
4.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS.....	10
4.2 CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS.....	15
4.2.1 <b>Solo TPA</b> .....	15
4.2.2 <b>Solos adjacentes</b> .....	18
4.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	22
4.3.1 <b>Elementos maiores, menores e traços</b> .....	22
4.3.1.1 Solo TPA.....	22
4.3.1.2 Solos adjacentes.....	25
4.3.2 <b>Associações geoquímicas</b> .....	27
4.3.3 <b>Parâmetros de fertilidade</b> .....	29

4.4 CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DOS SOLOS TIPO TPA E SOLOS ADJACENTES.....	32
4.5 SOLOS ADJACENTES COMO SUBSTRATO E FONTE DOS SOLOS TIPO TPA.....	33
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>37</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>42</b>
ANEXO A - Coeficientes de correlação química entre os elementos maiores, traços e parâmetros de fertilidade do solo TPA.....	43
ANEXO B - Coeficientes de correlação química entre os elementos maiores, traços e parâmetros de fertilidade dos solos adjacentes.....	44

## 1. INTRODUÇÃO

Alguns atributos como textura, cor, estrutura, composição química e mineralógica, capacidade de troca catiônica (CTC), índice de saturação por bases (V), são utilizados para a distinção e subdivisão das classes de solos. Por exemplo, solo muito profundo, constituído por material mineral com horizonte subsuperficial B latossólico e pobre em nutriente são atributos dos Latossolos, enquanto que horizonte subsuperficial B textural com atividade da fração argila baixa ( $\leq 27$  cmolc/kg) ou alta ( $\geq 27$  cmolc/kg) combinada com  $V \geq 50\%$  são típicos dos Argissolos (Embrapa, 2006). Estas classes de solo abrangem grande parte da região Amazônica (Sombroek, 1966 & Lima, 2001). Entretanto, algumas áreas apresentam alterações nas características primárias do solo devido à colonização humana antiga (Woods, 2009). Os horizontes superficiais dos solos destas áreas apresentam coloração escura, restos de material arqueológico (artefatos cerâmicos e líticos) e alta concentração de Ca, Mg, Zn, Mn, P e  $C_{org}$ . Smith (1980), Eden *et al.* (1984) e Kern (1988) definiram estes solos como Terra Preta Arqueológica (TPA) ou Terra Preta de Índio (TPI). A TPA pode ser encontrada em planícies de inundação (várzea e igapó) e terra firme com dimensões que variam de um até centenas de hectares (Kern & Kämpf, 2005).

A fertilidade da TPA é geralmente superior as outras classes de solos da Amazônia (Kern & Kämpf, 1989; Rodrigues, 1996; Woods & McCann, 1999; McCann *et al.* 2001; Lima *et al.* 2002). Além disso, diversos estudos têm mostrado que as taxas de mineralização do carvão e as perdas de nutrientes por lixiviação são baixas (Lehmann *et al.* 2003), o que contribui para a preservação natural da TPA. Assim, estes solos são frequentemente utilizados pelas populações locais para o cultivo de hortaliças, cereais, frutas, mandioca e legumes (German, 2003).

Os sítios arqueológicos com TPA podem corresponder a várias classes de solos como Latossolos, Argissolos, Cambissolos, Plintossolos e Espodossolos (Kern *et al.* 2003). Entretanto, Kämpf *et al.* (2003) consideram as classificações pedológicas impróprias para o agrupamento e distinção dos diversos tipos de solos antrópicos uma vez que enfatizam os horizontes subsuperficiais que são menos sensíveis a modificações por atividades humanas. A influência da atividade humana (antiga e atual) é definida através do horizonte superficial no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2006) e *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2010). Por exemplo, o solo com TPA pode ser classificado como Latossolo Amarelo distrófico antrópico no SiBCS, onde a influência antrópica é reconhecida a partir dos subgrupos. A *Food and Agriculture Organization-World Reference Base For Soil*

*Resources* (FAO-WRB) agrupa o solo com TPA em *Plaggic* ou *Hortic Anthrosols* (FAO, 2007). Esta classe apresenta solos formados ou profundamente modificados por atividades humanas, como cultivo ou adição de materiais orgânicos (resíduos domésticos). Os solos com TPA da Amazônia podem abranger tipos diferentes de *Hortic Anthrosols* (Sombroek *et al.* 2002), mas segundo Kämpf *et al.* (2003) grande parte é excluída dos *Anthrosols* devido a espessura  $\geq 50$  cm requerida para o horizonte superficial. Na tentativa de classificar o solo com TPA, Sombroek *et al.* (2002) listaram alguns critérios como espessura da camada escura, textura, concentração de  $C_{org}$ , CTC, V,  $P_{disponível}$ , Mn e Zn.

As características químicas do solo, efetivamente empregadas na classificação do solo com TPA, têm sido intensamente estudadas na região do baixo Amazonas e Tapajós (e.g. Kern, 1988; Kern & Kampf, 1989; Zech *et al.* 1990; Pabst, 1991; Kern & Costa, 1997; Glaser, 1999, Glaser *et al.* 2000), mas informações sobre solos com TPA na região dos rios Araguaia e Tocantins ainda são muito escassas. No município de Bom Jesus do Tocantins ocorrem Argissolos extensos com depósitos de TPA pedogenicamente transformados que contêm diversos artefatos arqueológicos. Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar o comportamento geoquímico dos solos com TPA e Argissolos adjacentes e os principais processos responsáveis pela formação da TPA através das características morfológicas, composição mineralógica e química dos perfis de solo de um sítio arqueológico no município de Bom Jesus do Tocantins, sudeste do Estado do Pará. Além disso, este estudo interdisciplinar pode contribuir para o aperfeiçoamento dos sistemas de classificação de solos antrópicos ou dos horizontes superficiais antropicamente modificados.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

### 2.1. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada no município de Bom Jesus do Tocantins (Figura 1a), na microrregião de Paragominas - sudeste do Estado do Pará. O município abrange uma área de ~ 2.800 km<sup>2</sup>, distante cerca de 400 km da cidade de Belém (SEPOF, 2008). O sítio arqueológico denominado BJ8 (S 05°06'42"/W 48°40'27"; Figura 1a) possui uma superfície plana limitada por um relevo suavemente ondulado com cobertura de vegetação secundária (pastagem com babaçu - *Orbignya phalerata* Mart.) e várzea que margeia pequenos cursos d'água. O sítio BJ8 está distante cerca de 10 km da sede do município.

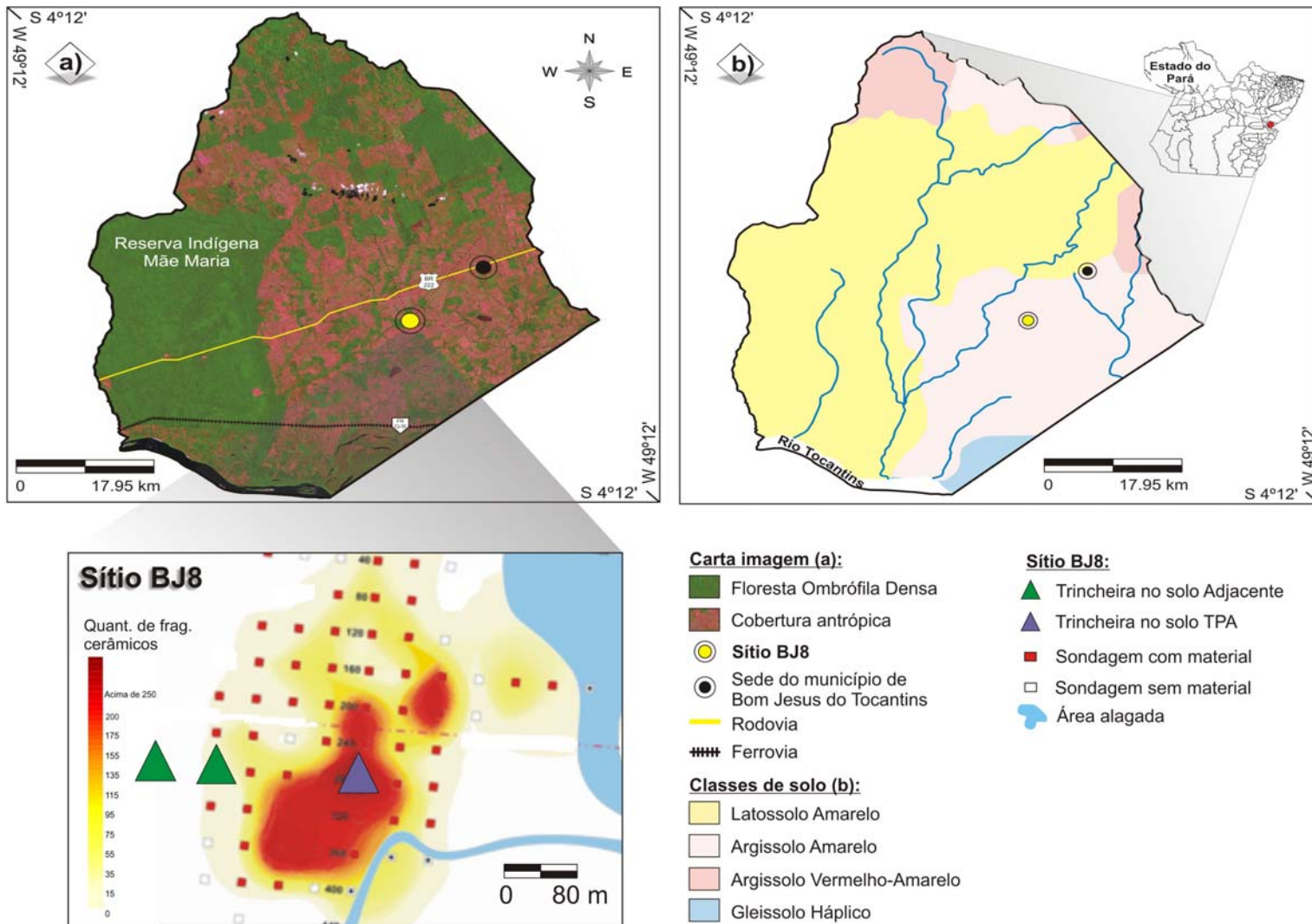
### 2.2. CONTEXTO GEOLÓGICO E FISIAGRÁFICO

O município de Bom Jesus do Tocantins está localizado na borda sudoeste da Bacia São Luís-Grajaú (Jurássico Superior/Cretáceo Inferior). O preenchimento da Bacia São Luís-Grajaú consiste na sucessão litoestratigráfica Grajaú-Codó-Itapecuru.

O relevo da região é caracterizado por áreas acidentadas, dissecadas, tabuliformes, colinosas com rebordos erosivos, superfícies aplainadas, serras de pequena extensão e várzeas, que estão inseridas nas unidades morfoestruturais da Depressão Periférica do Sul do Pará e do Planalto Setentrional Pará-Maranhão (SEPOF, 2008).

Os tipos de solos desenvolvidos sobre diferentes unidades geológicas do município de Bom Jesus do Tocantins podem ser classificados como Latossolos Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Amarelos e Gleissolos Háplicos (Figura 1b).

As unidades de vegetação do município de Bom Jesus do Tocantins são a Floresta Ombrófila Densa Submontana, principalmente representada pela *Manilkara huberi* Ducke (Sapotaceae), *Bertholletia excelsa* H.B.K (Lecythidaceae) e *Hymenolobium petraeum* Ducke (Fabaceae); a Floresta Ombrófila densa aluvial que ocorre em planícies de inundação e possui espécies como *Carapa guianensis* Aublet. (Meliaceae), *Protium tenuifolium* Engl. (Burseraceae) e *Hura crepitans* L. (Euphorbiaceae). Soares Filho *et al.* (2005) demonstraram que ao longo dos anos, as áreas de Floresta Ombrófila Densa se reduziram drasticamente em decorrência da intensificação da atividade antrópica com modificações parciais ou totais da estrutura primária da vegetação, observado através das áreas extensas de vegetação secundária e atividades agrossilvopastoris.



**Figura 1: a) Município Bom Jesus do Tocantins e área de estudo sítio arqueológico BJ8 (Composição: Landsat/TM-5R4G3B), b) Classes de solos do município Bom Jesus do Tocantins (Adaptado de IBGE, 2008).**

### 2.3. CLIMA E HIDROGRAFIA

O clima é equatorial superúmido, tipo Am-Aw na classificação de Köppen, com temperaturas e umidade relativa médias anuais de 26,3°C e 78% respectivamente. O período chuvoso ocorre entre os meses de novembro e maio, e o período seco nos meses de junho a novembro, com índice pluviométrico médio anual em torno de 2.000 mm (Fisch *et al.* 1998). A drenagem da região faz parte da bacia Araguaia-Tocantins que abrange a bacia do rio Tocantins, Araguaia e Itacaiunas. A rede de drenagem do município de Bom Jesus do Tocantins apresenta uma densidade baixa à moderada, padrão do tipo dentrítico e principais tributários com sentido NE-SW (Figura 1). Os tributários mais importantes são os rios Flexeira, Mãe Maria, Jacundá, Jacundazinho, Boa Sorte, Cajueiro e Grapiá (SEPOF, 2008).



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. AMOSTRAGEM DE SOLO

Para o presente estudo foram coletadas amostras no sítio com TPA e nos solos adjacentes. O trabalho de amostragem foi realizado pelos técnicos da Scientia Consultoria Científica através do projeto de Resgate Arqueológico.

Selecionou-se uma trincheira no sítio BJ8, denominado solo TPA, e duas trincheiras em suas adjacentes, solo adjacente 1 e solo adjacente 2. A amostragem do ponto adequado para realização da trincheira no solo TPA foi baseada na expressiva quantidade de artefatos arqueológicos restritos no horizonte A (Figura 1). As trincheiras foram abertas até atingirem o horizonte B (~1,5 m). As amostras de solo foram coletadas em cada horizonte (A, AB, BA e B) nos três perfis, totalizando 19 amostras de solo.

Antes da coleta do solo foi feita a descrição nos perfis utilizando o método proposto por Lemos e Santos (2002) que consiste na determinação da profundidade, cor, textura, consistência, estrutura, transição, presença de raízes e outras observações, com a finalidade de auxiliar a classificação dos solos. Apenas a cor do solo foi determinada através da comparação com a carta de cores *Munsell* (Munsell Color Company, 2000).

#### 3.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras de solos de cada horizonte foram secas ao ar e posteriormente destorroadas e homogeneizadas. Em seguida, foi separada uma alíquota de 50g para análise granulométrica. Para as análises mineralógicas e químicas, as amostras foram desagregadas, trituradas e pulverizadas (< 0,0625 mm) e para análise de fertilidade foram desagregadas e passadas em peneira com malha < 2 mm obtendo a terra fina seca ao ar (TFSA).

#### 3.3. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica consistiu de separação e quantificação das frações areia, silte e argila, segundo o método da EMBRAPA (1997). A análise foi realizada no laboratório de sedimentologia do Instituto de Geociências - UFPA.

### 3.4. ANÁLISE MINERALÓGICA

As análises mineralógicas foram realizadas por difração de raios-X (DRX), empregando-se o difratômetro PANalytical modelo PW 3040, com ânodo de cobre ( $k\alpha_1 = 1,54060 \text{ \AA}$ ), ajustado a 40 kV e 30 mA. Utilizou-se o método do pó e de lâminas orientadas através do método *pipette-on-glass* (Thorez, 1976) para os argilominerais. As lâminas orientadas foram preparadas em modo normal (OR), sob atmosfera etilenoglicol (GL) e aquecidas (AQ) a 550 °C - 2h. Os registros foram obtidos no intervalo de 5° a 75° 2 $\theta$  para as amostras totais pulverizadas e no intervalo 3° a 36° para as lâminas orientadas. Os resultados foram interpretados com auxílio do *software* X'Pert HighScore 2.1 com banco de dados do ICDD (International Center for Diffraction Data) e apresentados como símbolos segundo Kretz (1983) e Spear (1993). As análises foram realizadas no Instituto de Geociências - UFPA.

### 3.5. ANÁLISES QUÍMICAS E DE FERTILIDADE

As análises químicas (elementos maiores e traços) das amostras de solo foram realizadas no laboratório da SGS GEOSOL, no laboratório de Análises Químicas e Absorção Atômica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (Tabela I). A carga do solo ( $\Delta\text{pH}$ ) foi obtida por Potenciometria (  $\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ).

A análise de fertilidade foi conduzida no laboratório de Análise Química de Solo, da Universidade Federal de Viçosa e nos laboratórios de Análises Químicas e Absorção Atômica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (Tabela I).

**Tabela I: Procedimentos de análises químicas e de fertilidade empregados nas amostras de solo.**

Parâmetros	Métodos Analíticos
Perda ao Fogo, SiO <sub>2</sub>	Gravimetria e ICP-OES
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Colorimetria e ICP-OES
CaO, Na <sub>2</sub> O, MgO, K <sub>2</sub> O	Digestão Total HClO <sub>4</sub> + HF, EAA e ICP-OES
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Complexometria com EDTA e ICP-OES
Carbono Orgânico (CO)	Walkley-Black
Ba, Sr, Sc, Y, Zr, V, Be, Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Pb	Digestão Total HF + HClO <sub>4</sub> , EAA e ICP-OES
P, Zn, Fe, Mn, Cu	Extrator de Mehlich-1 e EAA
P disponível	Extrator de Mehlich-1 e colorimetria
Ca <sup>2+</sup> e Mg <sup>2+</sup> trocável	Extrator KCl 1N e EAA
K <sup>+</sup> e Na <sup>+</sup> trocável	Extrator de Mehlich-1 e EAA
pH-KCl 1 N, pH-H <sub>2</sub> O	1:2,5 - Potenciômetro

A partir do K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> trocáveis e acidez potencial (Al<sup>+</sup> trocável e H<sup>+</sup>) foram obtidos a soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e índice de saturação por bases (V), com base nas seguintes fórmulas:

$$SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+}$$

$$CTC = SB + H^{+} + Al^{3+}$$

$$V = 100 (SB/CTC)$$

As concentrações dos elementos maiores e traços foram normalizados com a Crosta Continental Superior – UCC (Wedepohl, 1995) e folhelhos australianos Pós-Arqueanos – PAAS (Taylor e MacLennan, 1985) e as concentrações dos solos TPA foram normalizados com os solos adjacentes. A análise estatística do grau de similaridade dos dados foi realizada através do método da ligação simples (*Single Linkage*) e correlação  $\rho$  de Pearson (coeficiente produto-momento);

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{var}(X) * \text{var}(Y)}}$$

onde:

$\rho = 1$ ; correlação perfeita positiva entre  $x$  e  $y$ .

$\rho = -1$ ; correlação negativa perfeita entre  $x$  e  $y$ .

$\rho = 0$ ;  $x$  e  $y$  não apresentam dependência linear.

### 3.6. CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Os solos foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2006), *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2010), FAO-WRB (FAO, 2007) e *Archaeo-pedological Classification-APC* (Kämpf *et al.* 2003).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

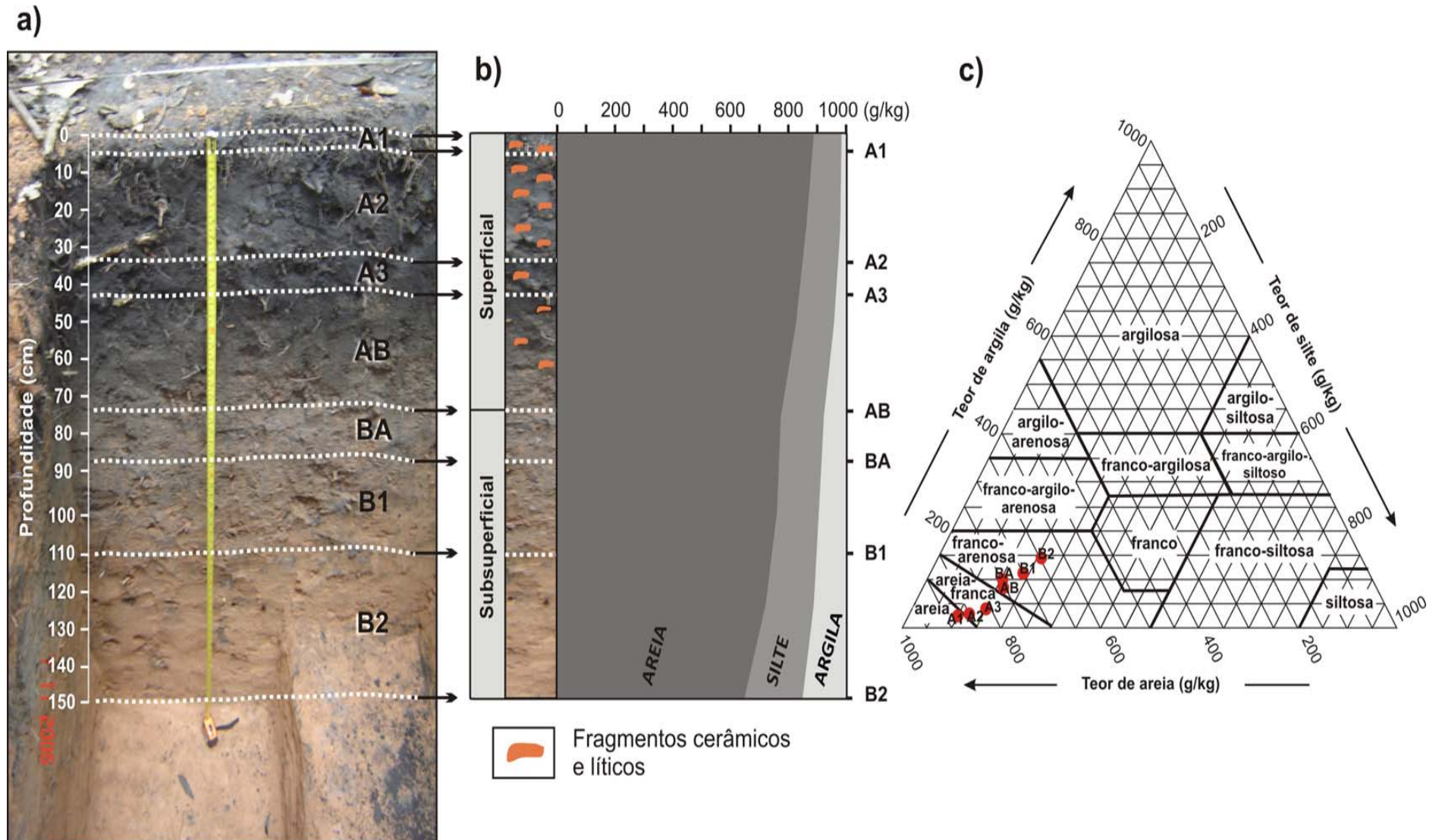
A análise granulométrica do solo TPA indicou a predominância da fração areia sobre a fina (silte e argila), e uma diminuição relativa da fração fina do horizonte subsuperficial para o superficial (Figura 2), portanto um fato normal em solos tropicais. O horizonte subsuperficial (73-150 cm) é composto por areia (648-760 g/kg), silte (135-193 g/kg) e argila (105-167 g/kg), textura franco-arenosa, bruno-forte (7.5YR 5/6) a bruno (7.5YR 4/4), blocos subangulares a granular, friável a firme, enquanto o horizonte superficial (73-0 cm) é constituído por areia (765-885 g/kg), silte (96-138 g/kg) e argila (18-97 g/kg), textura classificada como areia a franco-arenosa, bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2) a preto (10YR 2/1), blocos subangulares a granular, friável. No sítio como um todo foi catalogado 1920 fragmentos cerâmicos e líticos, raízes, marcas de raízes, folhas e outros materiais vegetais (Tabela II; Figura 2).

Os solos adjacentes são representados basicamente pela fração areia, mas os teores de silte e argila são maiores que o perfil de solo TPA. A quantidade da fração fina também diminui do horizonte subsuperficial para o superficial (Figura 3 e 4). O horizonte subsuperficial (25-150 cm), mais espesso que o solo TPA, contém areia (501-638 g/kg), silte (222-344 g/kg) e argila (80-223 g/kg), textura franco argiloarenosa a franco-arenosa, bruno-forte (7.5YR 4/6) a marrom escuro (7.5YR 3/4), blocos subangulares a granular, friável a firme. A espessura do horizonte superficial (0-25 cm) é menor que o solo TPA, e contém areia (557-709 g/kg), silte (239-380 g/kg) e argila (52-67 g/kg), textura franco-arenosa, bruno-escuro (7.5YR 3/3) a bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2), blocos subangulares a granular, friável, muitas raízes finas a médias e folhas (Tabela II; Figura 3 e 4). A análise granulométrica das amostras de solo confirma o processo de iluviação que ocorre nos perfis estudados.

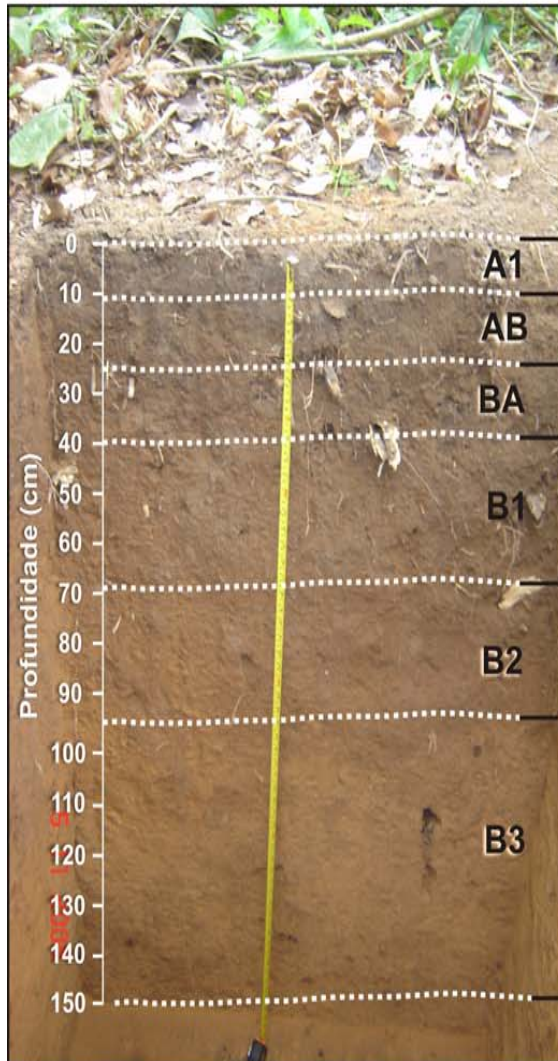
**Tabela II: Descrição morfológica dos solos TPA e solos adjacentes.**

<b>Horizonte</b>	<b>Profundidade (cm)</b>	<b>Cor (Munsell)</b>	<b>Estrutura <sup>(1)</sup></b>	<b>Consistência <sup>(2)</sup></b>	<b>Transição <sup>(3)</sup></b>
<b>Solo TPA</b>					
A1	0-3	10YR 2/1	fc, gr	mf	gl, pn
A2	3-33	10YR 2/1	fc, gr	mf, npl, npj	gl, pn
A3	33-42	10YR 3/2	fc, gr	mf, npl, npj	gl, pn
AB	42-73	10YR 3/2	mod, pq/gd, bsa/gr/gs	f, lpl, lpj	gl, pn
BA	73- 88	7.5YR 4/4	mod, pq/gd, bsa/gr/gs	f, pl, lpj	gl, pn
B1	88-110	7.5YR 4/6	mod, pq/gd, bsa/gr/gs	f, pl, pj	df, pn
B2	110-150	7.5YR 5/6	ft, pq/gd, bsa/gr	fm, pl, mpj	-
<b>Solo adjacente 1</b>					
A1	0-11	10YR 3/2	gr	mf, lpl, pj	cl, pn
AB	11-25	10YR 3/4	fc, pq/med, bsa/gr	mf, lpl, pj	cl, pn
BA	25-40	10YR 3/4	fc, pq/med, bsa/gr	f, pl, pj	gl, pn
B1	40-74	7.5YR 4/4	pq/gd, bsa/gr	f, lpl, pj	gl, pn
B2	74-95	7.5YR 4/6	mod, pq/gd, bsa/gr	fm, npl, npj	gl, pn
B3	95-150	7.5YR 4/6	mod, pq/gd, bsa/gr	fm, npl, npj	gl, pn
<b>Solo adjacente 2</b>					
A1	0-10	7.5YR 3/2	mfc, gr	mf, mpl, lpj	cl, pn
AB	10-22	7.5YR 3/3	fc, pq/gd, bsa/gr	f, pl, lpj	cl, pn
BA	22-32	7.5YR 3/4	fc, pq/med, bsa/gr	f, lpl, lpj	gl, pn
B1	32-52	5YR 4/4	fc, pq/med, bsa/gr	f, pl, pj	gl, pn
B2	52- 64	5YR 4/6	fc, pq/gd, bsa/gr	f, lpl, pj	gl, pn
B3	64-100	7.5YR 4/6	mod, pq/gd, bsa/gr	fm, lpl, lpj	gl, pn

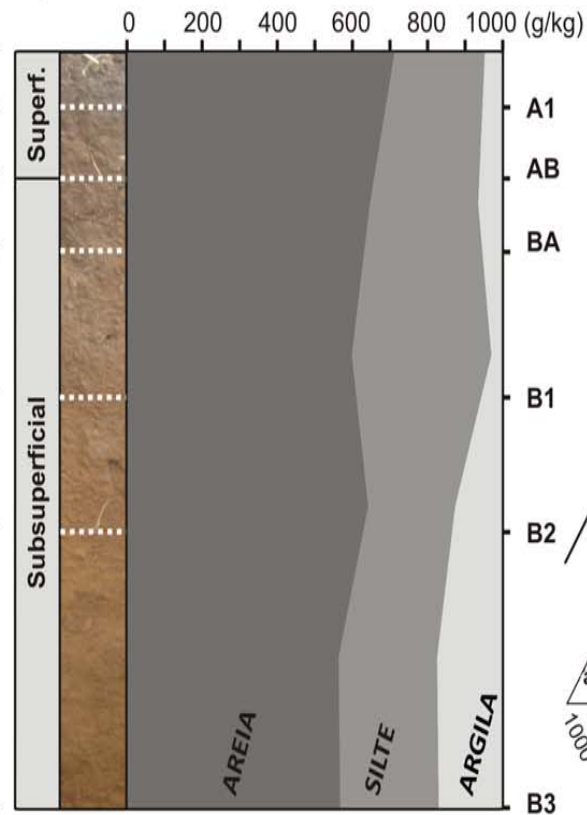
Estrutura <sup>(1)</sup>; Grau: muito fraca: mfc, fraca: fc, moderada: mod, forte: ft; Tamanho: pequena: pq, média: med, grande: gd; Tipo: grãos simples: gs, granular: gr, blocos subangulares: bsa. Consistência úmida <sup>(2)</sup>: muito friável: mf, friável: f, firme: fm, muito firme: mfm; Plasticidade: não plástica: npl, ligeiramente plástica: lpl, plástica: pl, muito plástica: mpl; Pegajosidade: não pegajosa: npj, ligeiramente pegajosa: lpj, pegajosa: pj, muito pegajosa: mpj. Transição <sup>(3)</sup>; Topografia: plana: pn; Contraste: clara: cl, gradual: gl, difusa: df.



a)



b)



c)

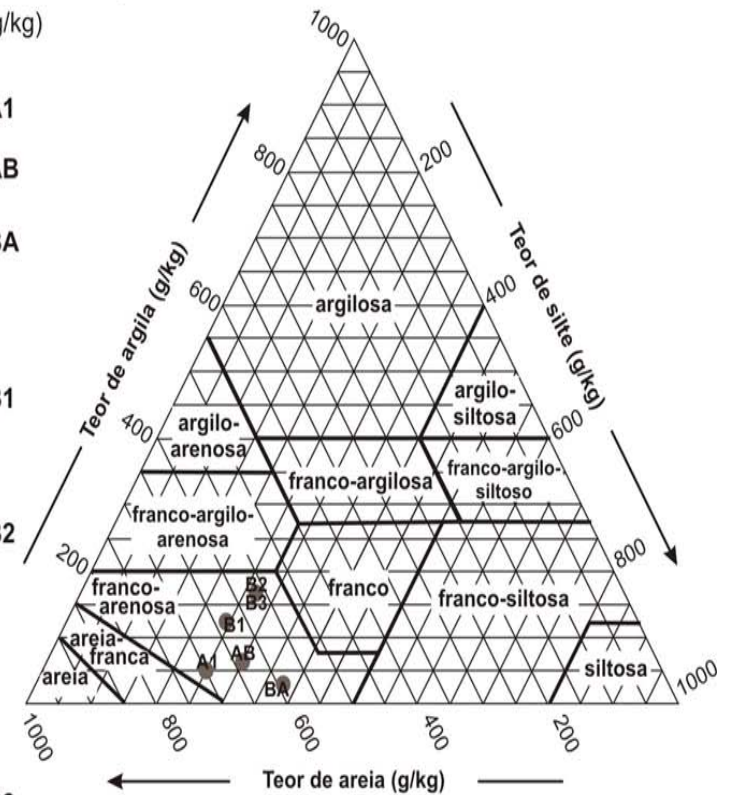
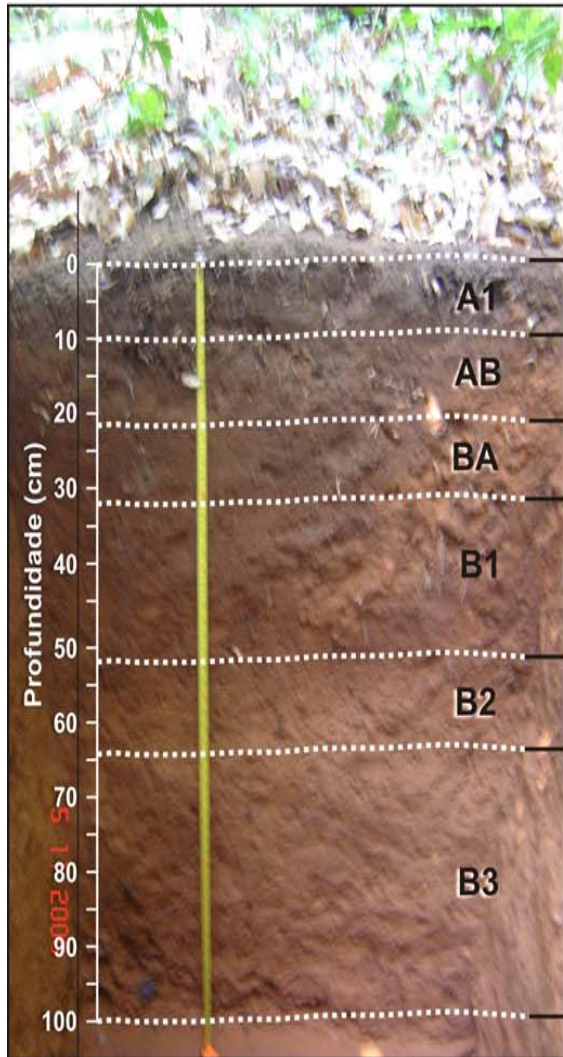


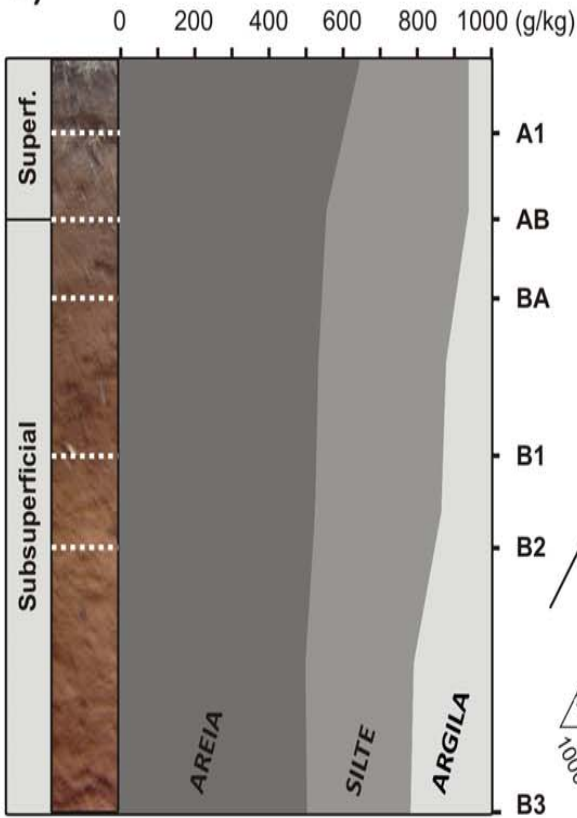
Figura 3: a) Perfil de solo adjacente 1 com delimitação dos horizontes; b) Distribuição das frações granulométricas; c) Classes texturais dos horizontes segundo o triângulo de classificação textural de solos (Lemos & Santos, 2002).



a)



b)



c)

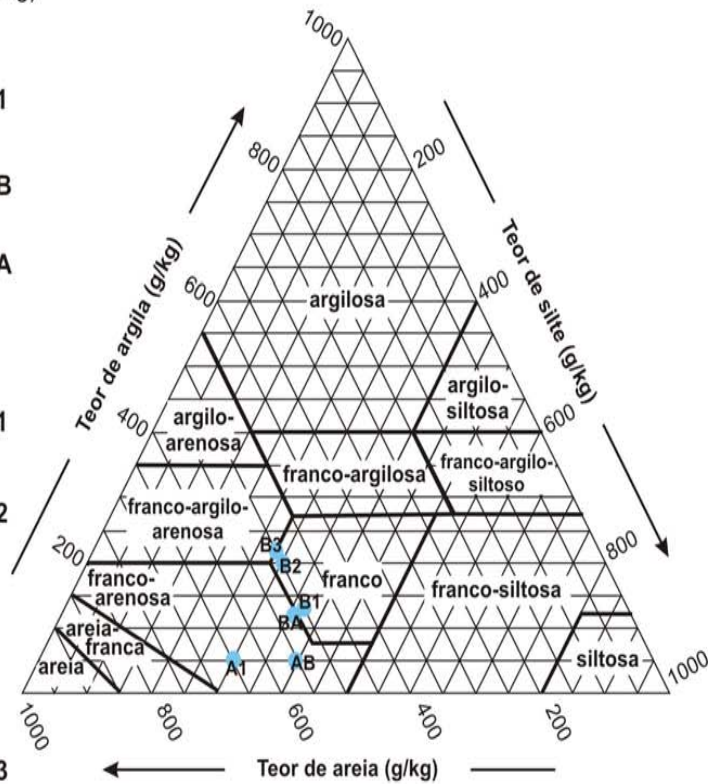


Figura 4: a) Perfil de solo adjacente 2 com delimitação dos horizontes; b) Distribuição das frações granulométricas; c) Classes texturais dos horizontes segundo o triângulo de classificação textural de solos (Lemos & Santos, 2002).

## 4.2. CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS

### 4.2.1. Solo TPA

Os minerais identificados no perfil de solo TPA foram o quartzo, caulinita, goethita, hematita, anatásio e illita, equivalente a mineralogia encontrada em outros solos com TPA na região de Caxiuanã (Carmo, 2008; Lemos *et al.* 2009). A albita não faz parte da composição dos solos, porém foi encontrada no horizonte A, oriunda dos artefatos cerâmicos os quais são abundantes neste horizonte (Figura 1a). Os difratogramas obtidos pelo método *pipette-on-glass* (Thorez, 1976) reforçam a presença de illita e caulinita no solo e os picos mais desenvolvidos de caulinita ocorrem no horizonte B (Figura 5).

Quartzo, caulinita e anatásio são provavelmente derivados do intemperismo do Grupo Itapecuru (e.g. Nascimento e Góes, 2007), sobreposto pelos solos analisados neste trabalho. Hematita e goethita podem ser originárias da oxidação de argilominerais durante os processos pedogenéticos.

Os dados quantitativos obtidos por cálculos estequiométricos confirmam o resultado da difração em que os valores crescentes de quartzo estão no horizonte A do perfil enquanto que no horizonte B se concentra a caulinita (Figura 6). O quartzo corresponde a uma média de 74% em peso, a caulinita 17%, illita 1,2% e os minerais hematita + goethita, anatásio e albita mostram concentrações médias inferiores a 1%, cada (Tabela III).

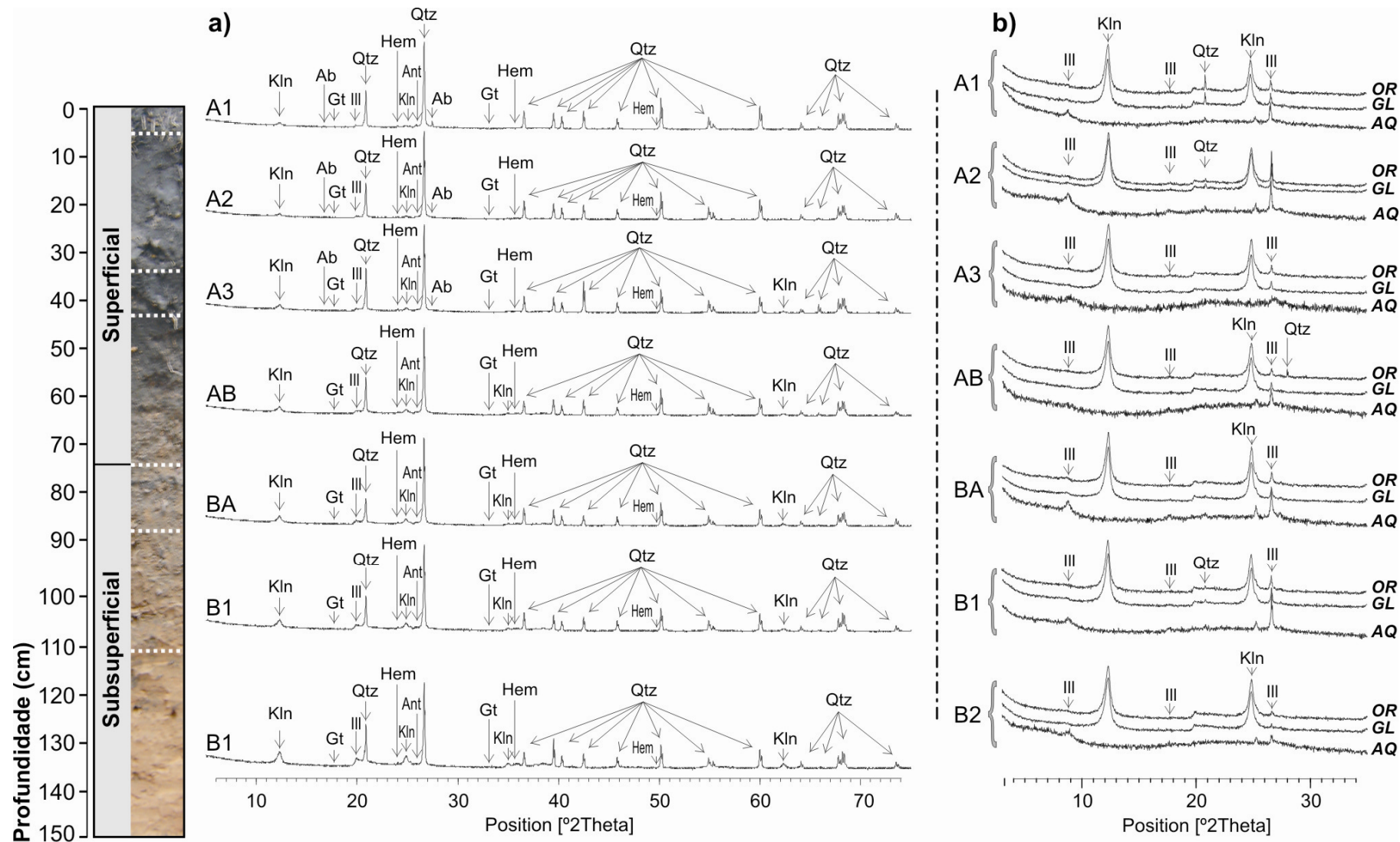
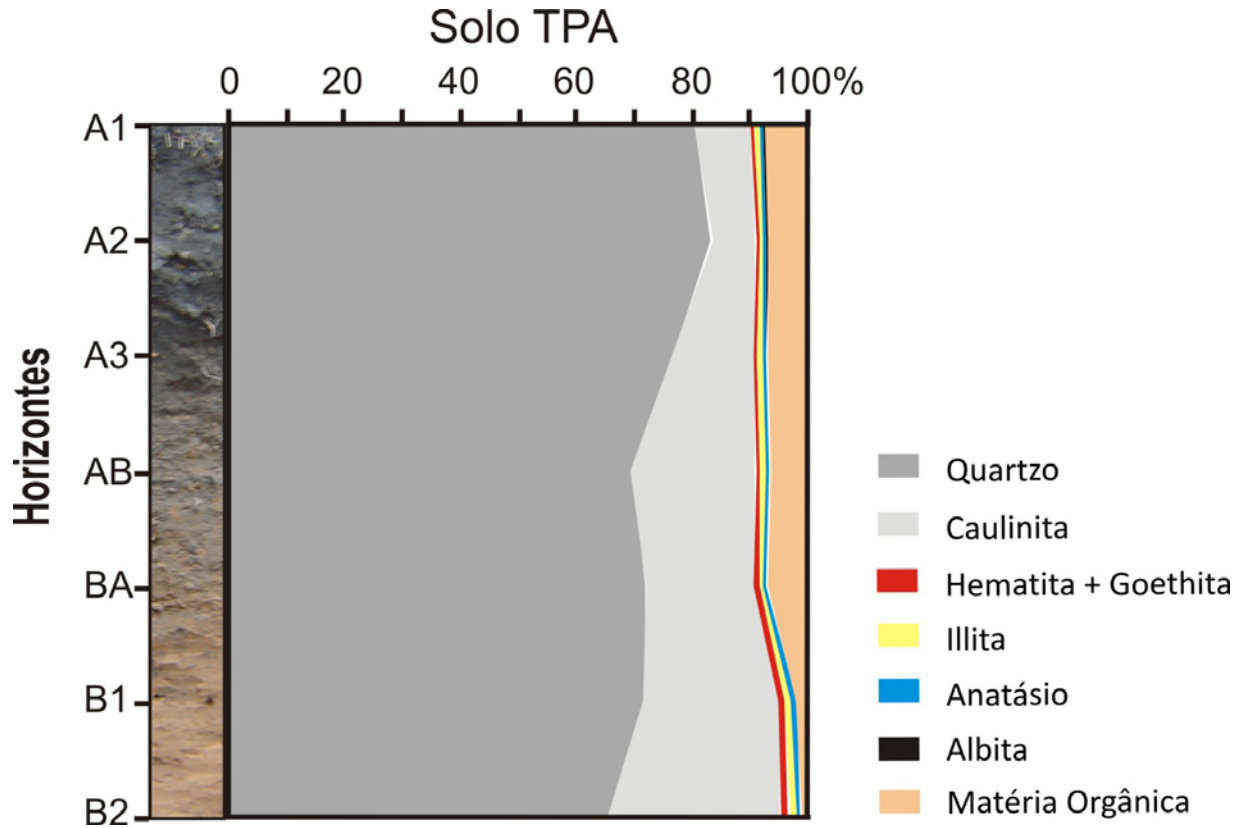


Figura 5: Padrões de DRX com os principais minerais identificados através do (a) método do pó e (b) *pipette-on-glass* (Thorez, 1976) do solo TPA: quartzo (Qtz); caulinita (Kln); hematita (Hem); goethita (Gt); anatásio (Ant); albita (Ab); illita (Ill).



**Figura 6 - Distribuição das concentrações dos minerais e matéria orgânica no perfil TPA do sítio BJ8.**

**Tabela III: Composição mineralógica no perfil TPA do sítio BJ8.**

Horizonte	Quartzo	Caulinita	Hematita + Goethita		Illita	Anatásio	Albita	Matéria Orgânica
			%					
A1	80,58	9,67	0,53	1,27	0,55	0,17	7,23	
A2	83,49	7,44	0,42	1,10	0,57	0,17	6,81	
A3	76,59	13,92	0,58	1,10	0,71	0,17	6,93	
AB	69,63	21,36	0,84	1,10	0,70	0	6,37	
BA	72,16	18,43	0,75	1,10	0,69	0	6,87	
B1	71,95	22,96	1,01	1,35	0,84	0	1,89	
B2	66,13	29,19	1,22	1,52	0,88	0	1,06	

#### **4.2.2. Solos adjacentes**

Os perfis de solos adjacentes 1 e 2 são constituídos também por quartzo, caulinita, goethita, hematita, anatásio e illita. Contudo, illita foi reconhecida somente nas lâminas orientadas. O horizonte subsuperficial também demonstra os picos mais desenvolvidos de caulinita (Figura 7 e 8).

Os dados quantitativos também confirmam o resultado da difração onde os valores crescentes de quartzo estão no horizonte A do perfil e no horizonte B se concentra a caulinita (Figura 9). O quartzo corresponde a uma média de 73% em peso, a caulinita 19%, hematita + goethita e illita na faixa de 1,7% enquanto que o mineral anatásio apresentam concentrações média menores de 1% (Tabela IV).

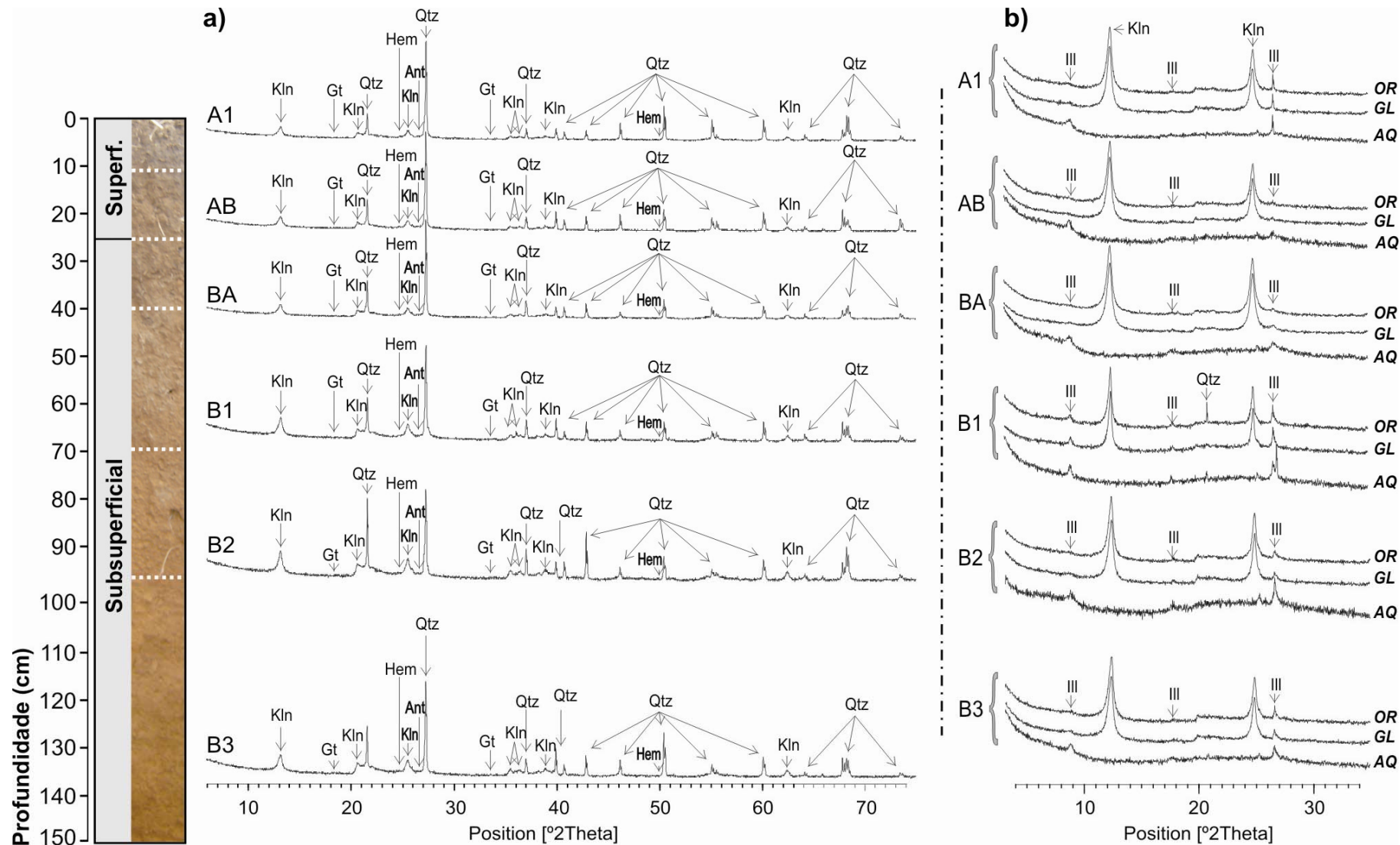


Figura 7: Padrões de DRX com os principais minerais identificados através do (a) método do pó e (b) *pipette-on-glass* (Thorez, 1976) do solo Adjacente 1: quartzo (Qtz); caulinita (Kln); hematita (Hem); goethita (Gt); anatásio (Ant); illita (III).

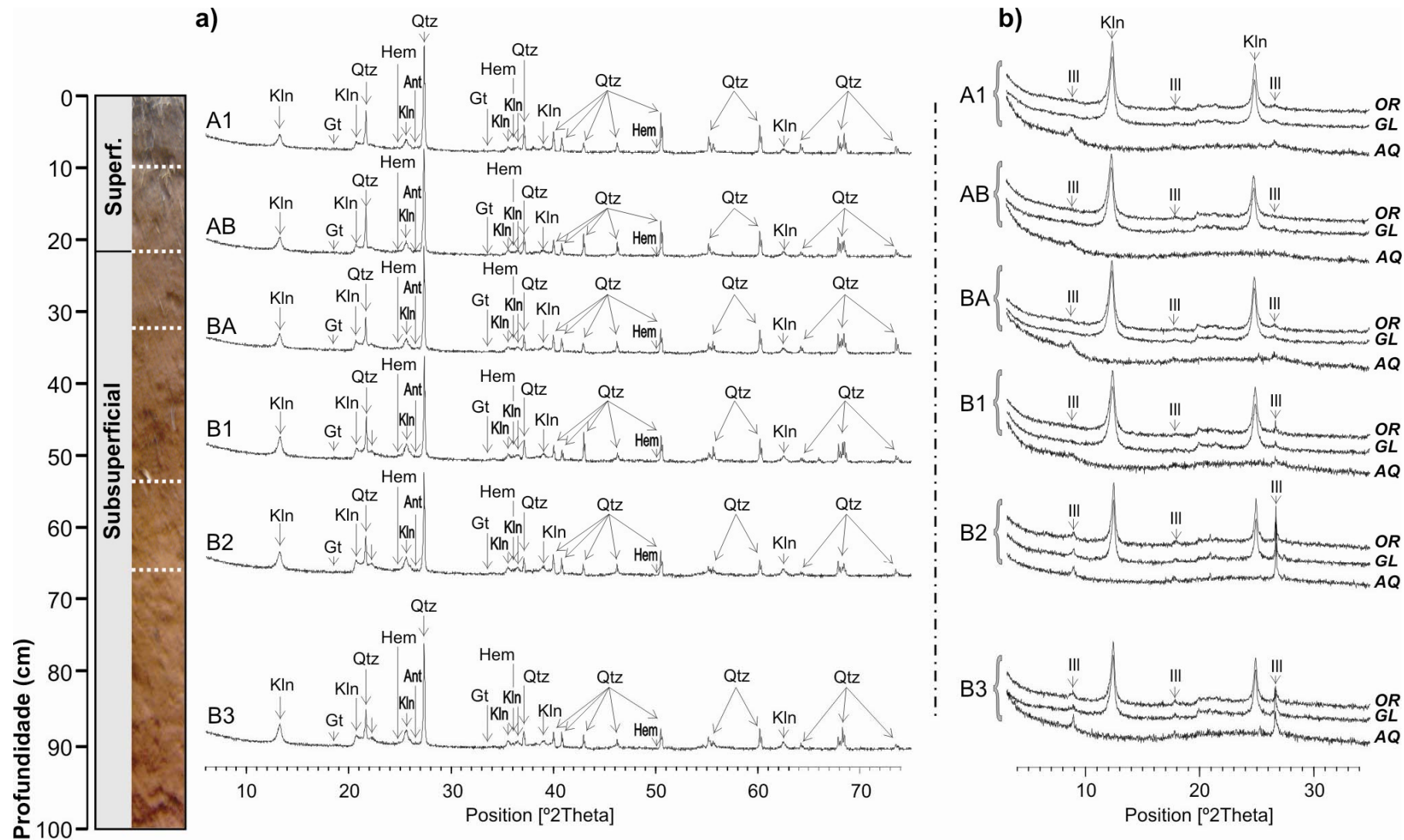
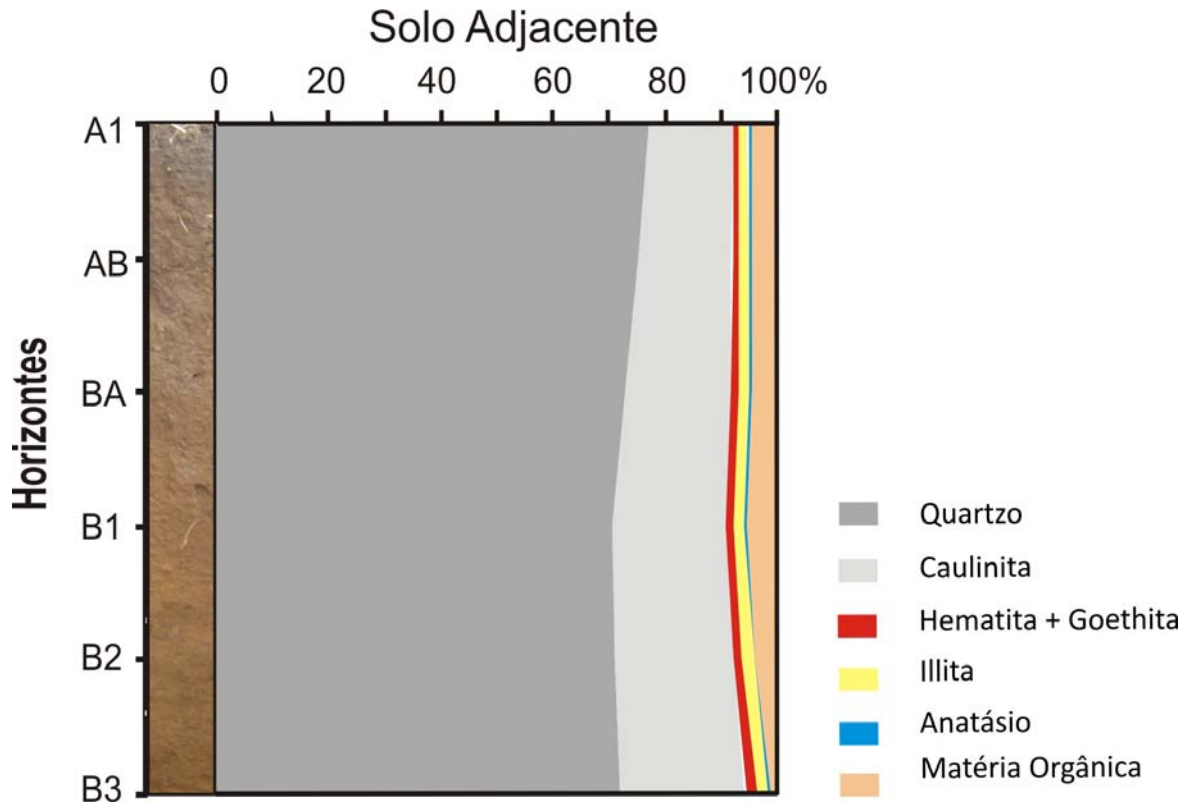


Figura 8: Padrões de DRX com os principais minerais identificados através do (a) método do pó e (b) *pipette-on-glass* (Thorez, 1976) do solo Adjacente 2: quartzo (Qtz); caulinita (Kln); hematita (Hem); goethita (Gt); anatásio (Ant); illita (Ill).



**Figura 9: Distribuição das concentrações médias dos minerais e matéria orgânica nos perfis adjacentes do sítio BJ8.**

**Tabela IV: Média da composição mineralógica dos perfis adjacentes do sítio BJ8.**

Horizonte	Quartzo	Caulinita	Hematita + Goethita	Illita	Anatásio	Matéria orgânica
	%					
A1	77,08	14,88	1,40	1,52	0,47	4,65
AB	74,90	16,88	1,71	1,52	0,43	4,56
BA	72,55	19,06	1,83	1,69	0,47	4,40
B1	70,60	20,15	1,84	1,78	0,44	5,19
B2	70,99	20,96	2,01	1,86	0,42	3,76
B3	71,91	22,35	2,24	2,03	0,44	1,03



### 4.3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA

#### 4.3.1. Elementos maiores, menores e traços

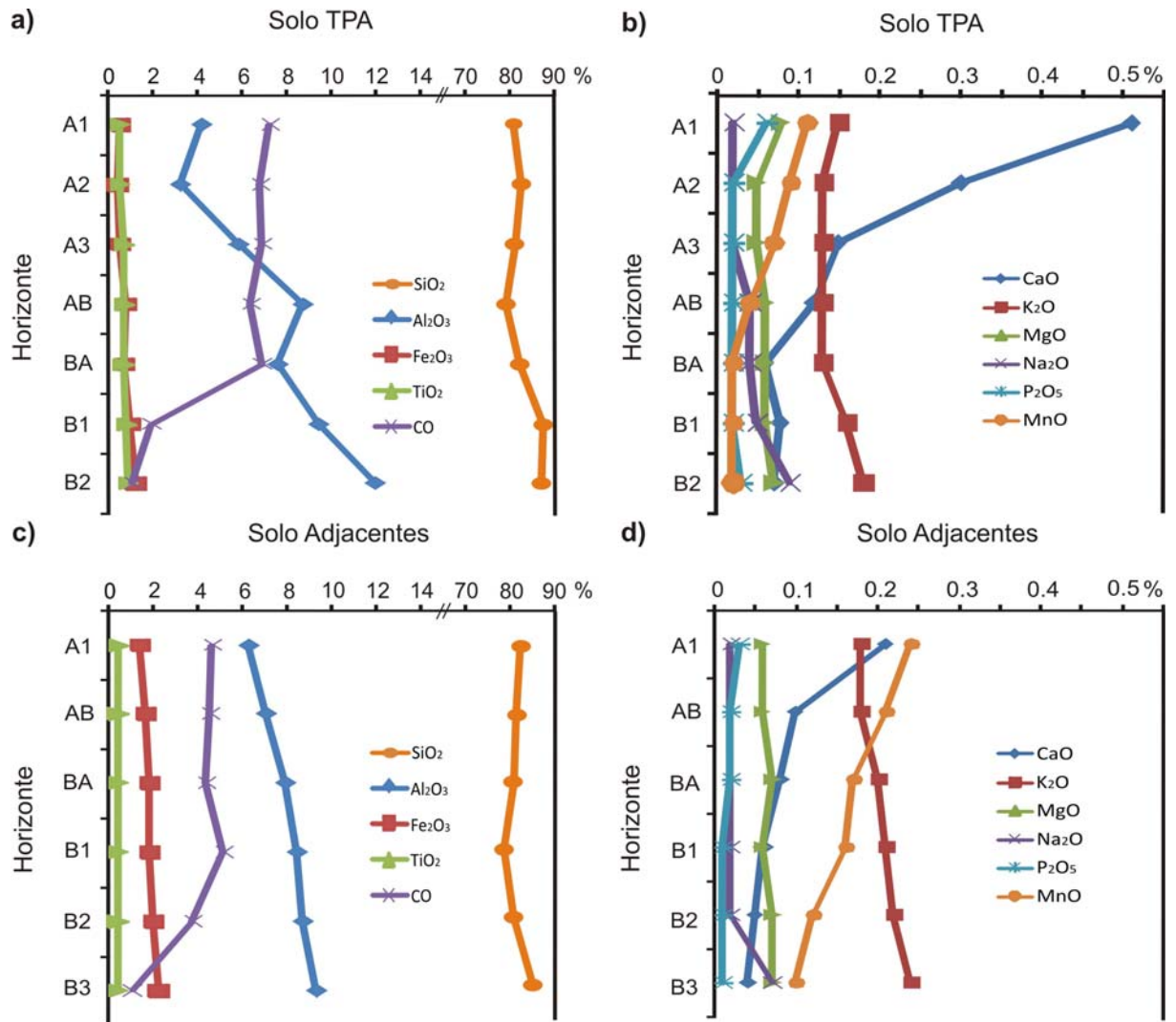
##### 4.3.1.1. Solo TPA

Os solos são compostos principalmente por  $\text{SiO}_2$  (82-87,8 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (4,2-11,9 %), além de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,42-1,2 %),  $\text{TiO}_2$  (0,55-0,88 %),  $\text{CaO}$  (0,07-0,51 %) e  $\text{K}_2\text{O}$  (0,13-0,18 %). Em concentrações mais baixas estão  $\text{MgO}$  (0,05-0,08 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,02-0,09 %),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,02-0,06%) e  $\text{MnO}$  (0,01 %). O carbono orgânico demonstra teores entre 1,1% e 6,9% no horizonte B, e um aumento progressivo para 7,2 % no horizonte A. Os elementos traços apresentam três perfis de concentração distintos, sendo eles: Cu, Ba, Sr e Zn que aumentam do horizonte B para o horizonte A; os elementos V, Ni, Cr e Zr diminuem do horizonte B para o horizonte A; e os elementos Be, Sc, Y, Co e Pb são relativamente similares ao longo do perfil de solo (Tabela V).

As concentrações de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  diminuem em direção ao horizonte A e são inversamente proporcionais ao carbono orgânico (Figura 10a), reflexo de uma influência relativamente menor de argilominerais (caulinita) desestabilizados pelo conteúdo elevado de matéria orgânica no horizonte superficial (Costa e Kern, 1999). Em geral, a concentração de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  é inversamente proporcional, uma vez que é produto do antagonismo entre quartzo e argilominerais. Os picos menos desenvolvidos da caulinita no horizonte A e o coeficiente de correlação entre  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (0.59) e  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CO}$  (-0.81) sustentam esta interpretação. As concentrações de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e o coeficiente entre  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$  (0.65) podem indicar uma contribuição da presença de illita que se distingue dos outros minerais de argila do grupo da mica pela concentração mais elevada em potássio (Anexo A).

As concentrações de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  diminuem do horizonte B para o horizonte A (Figura 10a) e podem estar relacionadas com anatásio e hematita/goethita, respectivamente. Além disso, correlações esperadas entre os metais de transição, tais como  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Ni}$  (0.95),  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{V}$  (0.95),  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Cr}$  (0.82) e  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Zr}$  (0.62) que devem ocorrer associados aos oxi-hidróxidos de ferro. O coeficiente entre  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}$  (0.92) sugere uma contribuição parcial da albita, uma vez que concentrações de  $\text{Na}_2\text{O}$  também são menores no horizonte A (Figura 10b). As concentrações altas de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Figura 10b) e a correlação negativa entre  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$  (-0.37) podem indicar uma correspondência forte com resíduos orgânicos (Anexo A).





**Figura 10:** a) Concentrações dos elementos maiores no solo TPA; b) Concentrações dos elementos menores no solo TPA; c) Concentrações médias dos elementos maiores nos solos Adjacentes; d) Concentrações médias dos elementos menores nos solos Adjacentes.

Adicionalmente, as concentrações altas de CaO no horizonte A (Figura 10b) e coeficiente entre CaO/Sr (0.84) e CaO/Ba (0.80) podem também estar relacionados aos artefatos cerâmicos, resíduos vegetais e animais (Costa *et al.* 2004a,b).

O empobrecimento de K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ni, V, Cr e Zr no horizonte A é típico de perfis de solos Amazônicos (Sombroek, 1966; Lima, 2001). Entretanto, as concentrações relativamente altas de CaO, MgO, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Zn, Cu, Ba e Sr sugerem modificação do horizonte A através da formação da TPA.

#### 4.3.1.2. Solos adjacentes

As amostras dos solos adjacente 1 e 2 apresentam principalmente SiO<sub>2</sub> (79,6-86,6 %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6,2-9,6 %), além de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,1-2,9 %), TiO<sub>2</sub> (0,36-0,51 %) e K<sub>2</sub>O (0,17-0,25 %) e MnO (0,11-0,29 %). Em concentrações menores estão CaO (0,03-0,23 %), Na<sub>2</sub>O (0,02-0,12 %), MgO (~0,06 %) e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,01-0,03 %). O carbono orgânico varia de 0,74 % a 6,9 % no horizonte B, seguido de teores em torno de 3 % e 7 % no horizonte A. Os elementos traços revelam concentrações homogêneas em todo o perfil de solo, com diferenças pequenas de Zr, Cu, Cr, Ni, V, Ba e Zn do horizonte B para o horizonte A (Tabela VI).

SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> são os mais abundantes (Figura 10c), e constituem o quartzo e argilominerais como a caulinita e illita. Os maiores teores da fração fina e o coeficiente de correlação entre SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (-0.01) e SiO<sub>2</sub>/Zr (0.05) correspondem a baixa contribuição da fração areia que o solo com TPA. As concentrações de SiO<sub>2</sub> e carbono orgânico, e o coeficiente entre SiO<sub>2</sub>/CO (-0.82) evidencia o antagonismo entre quartzo e matéria orgânica. As concentrações de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diminuem suavemente em direção ao horizonte A (Figura 10c), mas os coeficientes entre Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/K<sub>2</sub>O (0.96) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MgO (0.85) ainda sustentam a presença de illita. As concentrações de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, o coeficiente entre Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ni (0.94), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/V (0.64) e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cr (0.34) pode ser correlacionada com hematita e goethita (Anexo B). TiO<sub>2</sub> não demonstrou oscilações significativas e provavelmente corresponde ao anatásio. As concentrações de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> são menores que o solo com TPA (Figura 10d). Além disso, o coeficiente entre P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (-0.91), o aumento de CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e MnO do horizonte B para o horizonte A e correlação positiva destes elementos com carbono orgânico (~0.40) revelam uma correspondência maior com a fração orgânica do solo, enquanto que Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Ni, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Zn, Cr mostram concentrações mais baixas no horizonte superficial. Os elementos Ba, Sr, Zn e MgO foram relacionados a resíduos vegetais e animais no solo TPA,

contudo o coeficiente negativo entre estes elementos e o carbono orgânico pode indicar uma associação maior com argilominerais e oxi-hidróxidos de ferro (Anexo B).

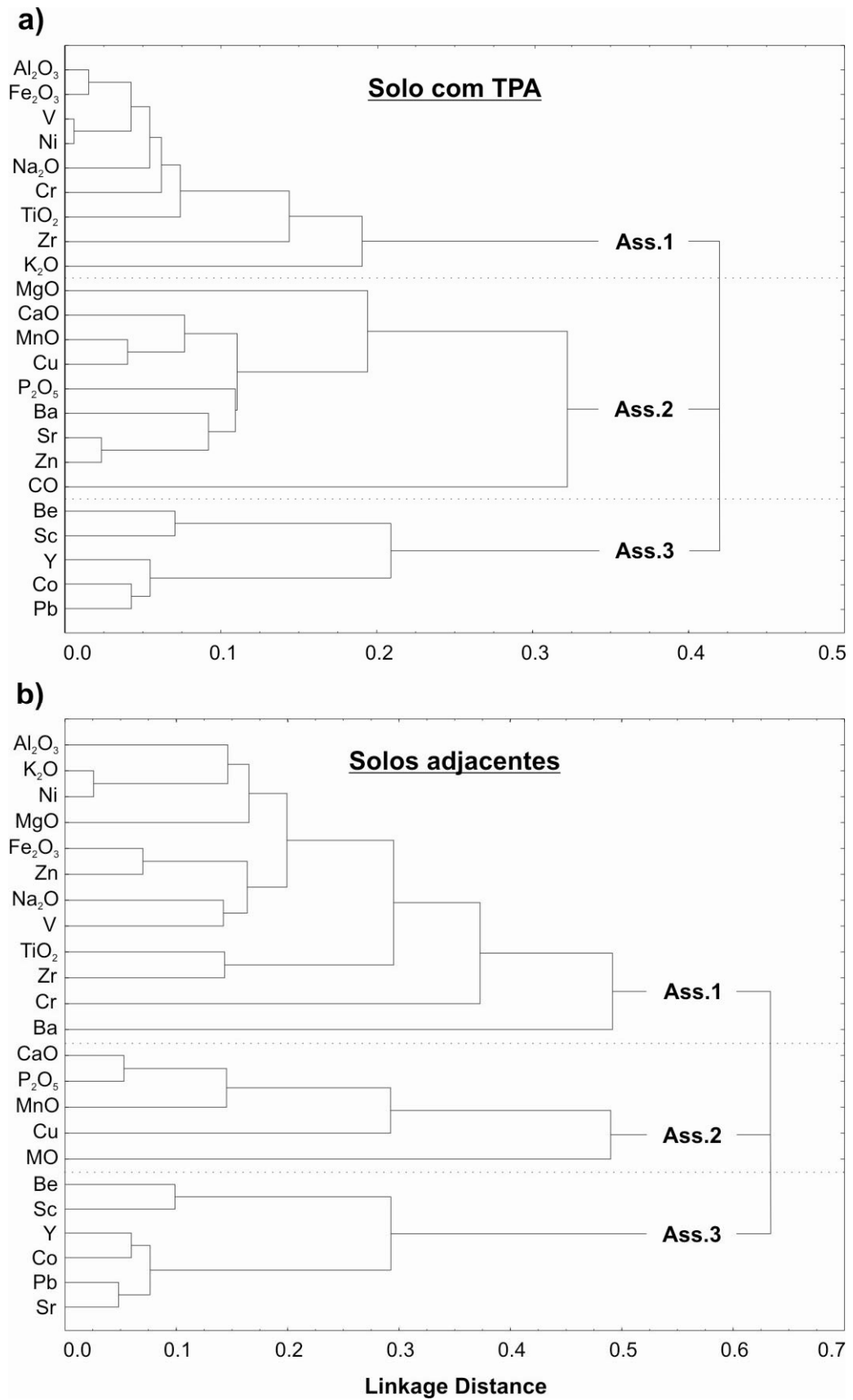
**Tabela VI: Concentração média dos elementos maiores, menores e traços dos solos adjacentes.**

<b>Elementos</b>	<b>A1</b>	<b>AB</b>	<b>BA</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>Média</b>
<b>%</b>							
SiO <sub>2</sub>	83,08	82,3	81,58	79,78	81,79	85,62	82,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,27	7,06	7,96	8,42	8,76	9,35	7,97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,40	1,71	1,83	1,84	2,01	2,24	1,84
TiO <sub>2</sub>	0,47	0,43	0,47	0,45	0,42	0,44	0,45
CaO	0,21	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,09
K <sub>2</sub> O	0,18	0,18	0,20	0,21	0,22	0,24	0,21
MgO	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07
Na <sub>2</sub> O	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,07	0,03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
MnO	0,24	0,21	0,17	0,16	0,12	0,10	0,17
CO	4,65	4,56	4,40	5,19	3,76	1,03	3,93
<b>ppm</b>							
Zr	171	165	167	159	148	175	164
Ba	96	89	87	86	87	95	90
Zn	56	61	62	66	68	71	64
Cu	56	47	31	29	28	30	37
V	37	42	45	46	48	57	46
Ni	30	34	35	36	41	44	37
Sr	32	27	26	27	28	30	28
Cr	16	18	17	17	19	18	18
Co	13	14	14	15	14	13	14
Y	11	12	12	12	12	13	12
Pb	11	13	11	12	9	10	11
Sc	8	9	10	11	11	13	10
Be	3	3	3	3	3	3	3

#### 4.3.2. Associações geoquímicas

A análise estatística do grau de similaridade dos dados identificou três principais associações no solo com TPA (Figura 11a): associação 1 ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-V-Ni-Na}_2\text{O-Cr-TiO}_2\text{-Zr-K}_2\text{O}$ ) com elementos que estão bem correlacionados com argilominerais e oxi-hidróxidos de ferro; associação 2 ( $\text{MgO-CaO-MnO-Cu-P}_2\text{O}_5\text{-Ba-Sr-Zn-CO}$ ) possui as concentrações mais altas no horizonte A e indica os materiais que podem ter sido introduzidos por uma população pré-histórica (utensílios de cozinha, alimentos e outros materiais de origem vegetal e animal) com alteração parcial após o descarte, além dos processos pedogenéticos subsequentes relacionados com os teores altos de carbono orgânico; e a associação 3 ( $\text{Be-Sc-Y-Co-Pb}$ ) mostra concentração e padrão de distribuição similar ao longo do perfil de solo.

Nos solos adjacentes (Figura 11b) as três principais associações identificadas foram: associação 1 ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-Ni-MgO-Fe}_2\text{O}_3\text{-Zn-Na}_2\text{O-V-TiO}_2\text{-Zr-Cr-Ba}$ ) com elementos que estão bem correlacionados com caulinita, illita e hematita/goethita; associação 2 ( $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-MnO-Cu-CO}$ ) possui relação maior com material orgânico do solo; associação 3 ( $\text{Be-Sc-Y-Co-Pb-Sr}$ ) não demonstrou variações significativas entre os horizontes do solo. Assim, estes elementos possuem características semelhantes aos solos amazônicos com cobertura vegetal (Sombroek, 1966). As associações geoquímicas dos solos TPA e adjacente mostram semelhanças entre si, o que comprova que a TPA se formou nos solos Argissolos.



**Figura 11: Análises de agrupamento para os elementos maiores, menores e traços no solo TPA (a) e solos adjacentes (b).**

### 4.3.3. Parâmetros de fertilidade

O pH dos solos é um parâmetro que gera informações sobre os componentes presentes, carga líquida dos solos e sobre os índices de fertilidade, tais como, concentrações de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e concentrações de elementos disponíveis nos solos. O pH do solo TPA em KCl ( $\bar{x} = 6,3$ ) e H<sub>2</sub>O ( $\bar{x} = 5,3$ ) resultou em  $\Delta$ pH negativo, predominando carga líquida negativa, assim como em outros tipos de solo da Amazônia. Contudo, valores ligeiramente maiores de pH e foram encontrados no horizonte A. A matéria orgânica, illita, caulinita e goethita são os componentes principais responsáveis pelo desenvolvimento de cargas negativas nos perfis de solos. Com exceção da matéria orgânica, os componentes desses solos podem também desenvolver cargas positivas em condição extremamente ácida.

A carga negativa dos solos é contrabalançada pelos cátions trocáveis Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> presentes nesses solos e quantificados pela capacidade de troca catiônica efetiva e potencial. Conforme os dados indicados nas tabelas VII e VIII verifica-se que os valores de CTC (T) são bem inferiores ao CTC-argila em todos os horizontes de ambos os perfis. Esta característica é refletida pelas maiores concentrações de matéria orgânica, illita e caulinita na fração argila dos solos, sendo os maiores valores obtidos de CTC-argila no horizonte A do perfil TPA onde a matéria orgânica se acumula e propicia o aumento da capacidade de troca catiônica dos solos.

Os elementos disponíveis Mn e Zn possuem concentrações maiores no horizonte A, mas o P revela comportamento relativamente inverso e influência nos horizontes B do solo. Fe, Cu disponível não indicam variações significativas. Com relação à concentração dos elementos trocáveis, Ca, Mg, K e Na aumentam levemente em direção ao horizonte A, mas Al não foi detectado. Assim, a acidez potencial (0,6-1,9 cmol<sub>c</sub>/kg), Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> (2,3-9,6 cmol<sub>c</sub>/kg), SB (2,1-9,9 cmol<sub>c</sub>/kg), CTC (2,7-11,7 cmol<sub>c</sub>/kg) apresentam um padrão similar aos elementos trocáveis que resultou no teor de saturação por bases  $V \geq 75\%$  (Tabela VII), solos considerados eutróficos.



**Tabela VII: Valores obtidos para os parâmetros de fertilidade do solo TPA.**

<b>Elementos</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>AB</b>	<b>BA</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>
pH-H <sub>2</sub> O	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,2	6,3
pH-KCl	5,6	5,4	5,3	5,1	5,1	5,1	5,2
ΔpH	-0,7	-0,9	-1,0	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
<b>mg/kg</b>							
Mn disponível	94	44	31	25	11	9	7
P disponível	20	4	3	4	10	17	51
Fe disponível	9	5	6	9	10	9	10
Zn disponível	8	3	2	1	0	0	0
Cu disponível	0	2	2	2	2	1	1
<b>cmol<sub>c</sub>/kg</b>							
Ca <sup>2+</sup>	8,3	5,3	3,4	2,6	2,2	2,0	2,2
Mg <sup>2+</sup>	1,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
K <sup>+</sup>	0,23	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
Na <sup>+</sup>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al <sup>3+</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	1,9	1,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6
SB	9,9	5,6	3,5	2,8	2,4	2,1	2,3
Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	9,6	5,6	3,5	2,8	2,3	2,1	2,3
CTC efetiva (t)	9,86	5,59	3,51	2,78	2,35	2,11	2,32
CTC potencial (T)	11,76	7,39	4,31	3,58	3,13	2,71	2,92
CTC (argila)	639,13	293,25	86,20	36,91	29,81	21,85	17,49
<b>%</b>							
V	84	76	81	78	75	78	80

A presença de argilominerais, os teores de carbono orgânico e ΔpH negativo indicam capacidade elevada de adsorção de cátions no solo. Os argilominerais caulinita 1:1 e illita 2:1 identificados no solo TPA possuem CTC baixa (3-15 cmol<sub>c</sub>/kg) e moderada (20-40 cmol<sub>c</sub>/kg), respectivamente (Soltner, 1983). Além disso, Mn, Zn e Cu disponíveis apresentam coeficiente de correlação positiva com o carbono orgânico (~0.50), assim como Ca, Mg e K trocável (~0.40), mas Fe demonstra correlação positiva com Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.76) e P com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.30). Os elementos Ca e Mg trocável também apresentam coeficiente alto com CaO (0.99) e MgO (0.69), respectivamente (Anexo A). Desta forma, a distribuição desses elementos pode estar relacionada com carbono orgânico, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO, MgO e argilominerais, principalmente illita.

Com relação aos solos adjacentes, o pH em KCl ( $\bar{x}$  = 6,2) e H<sub>2</sub>O ( $\bar{x}$  = 5,1) são menores que o solo TPA e também resultaram em ΔpH negativo. Os elementos disponíveis Mn, Fe, Zn, P e Cu apresentam concentrações relativamente maiores no horizonte B. As concentrações dos elementos trocáveis possuem concentrações semelhantes ao solo TPA, exceto Ca e Mg trocáveis. Al trocável também não foi detectado. Acidez potencial (1-3,4

cmol<sub>c</sub>/kg) e CTC (2,9-11 cmol<sub>c</sub>/kg) são levemente maiores, enquanto Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> (1,5-7,4 cmol<sub>c</sub>/kg), SB (1,7-7,7 cmol<sub>c</sub>/kg) e V (60-69%) apresentam concentrações menores que o solo TPA (Tabela VI).

**Tabela VIII: Concentração média dos parâmetros de fertilidade dos solos adjacentes.**

<b>Elementos</b>	<b>A1</b>	<b>AB</b>	<b>BA</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>
pH-H <sub>2</sub> O	6,1	6,1	6,3	6,2	5,9	5,9
pH-KCl	5,2	5,1	5,1	5,1	4,9	5,0
ΔpH	-0,9	-1,0	-1,3	-1,1	-1,0	-0,9
<b>mg/kg</b>						
Mn disponível	163	114	82	51	41	31
Fe disponível	13	21	19	15	14	14
P disponível	4	1	1	1	1	1
Zn disponível	4	1	1	0	0	0
Cu disponível	2	2	2	2	1	1
<b>cmol<sub>c</sub>/kg</b>						
Ca <sup>2+</sup>	6,5	3,1	1,9	1,5	1,1	1,0
Mg <sup>2+</sup>	0,9	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5
K <sup>+</sup>	0,26	0,08	0,06	0,11	0,17	0,15
Na <sup>+</sup>	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al <sup>3+</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	3,4	2,4	1,6	1,3	1,2	1,3
SB	7,7	3,7	2,5	2,2	1,8	1,7
Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	7,4	3,6	2,5	2,1	1,6	1,5
CTC efetiva (t)	7,69	3,71	2,54	2,16	1,81	1,68
CTC potencial (T)	11,09	6,06	4,09	3,46	3,01	2,98
CTC (argila)	187,90	93,12	41,51	24,61	15,46	14,48
<b>%</b>						
V	69	61	62	63	60	57

A concentração de P disponível, assim como a concentração total nos solos TPA e adjacentes são inferiores aos obtidos em outros sítios com TPA, tais como sítio Manduquinha (Kern, 1996) e Ilha de Terra (Meireles, 2004) na região de Caxiuanã. As maiores concentrações de P disponível foram obtidas nos horizontes superiores dos perfis, especialmente no perfil TPA. Este tipo de distribuição indica que a maior parte do P disponível provém da matéria orgânica, que é constituída principalmente por C, H, O, S e P. A concentração de fósforo de origem inorgânica deve ser negligenciável haja vista que as rochas que deram origem aos solos da região de Bom Jesus do Tocantins devem ser pobres em fósforo.

P, Mn e Cu disponível, Ca e Mg trocáveis podem ser correlacionados com o carbono orgânico ( $\sim 0.35$ ). Além disso, Mn, Cu, P disponível e Ca trocável também mostraram coeficiente relativamente alto com MnO (0.95), Cu<sub>total</sub> (0.46), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.82) e CaO (0.99), respectivamente (Anexo B).

#### 4.4. CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DOS SOLOS TIPO TPA E SOLOS ADJACENTES

Com base na presença do horizonte B textural abaixo do horizonte A, argila de atividade baixa ( $\bar{x} = 23,6$  cmol<sub>c</sub>/kg), matiz 7.5YR, V ( $\bar{x} = 70\%$ ) no horizonte subsuperficial, e ausência de plintita, gleização, caráter plânico e sódico, os solos TPA e adjacentes podem ser classificados conforme o SiBCS até o subgrupo como ARGISSOLOS AMARELOS Eutróficos típicos. Além disso, a textura média, horizonte superficial com 25 cm de espessura e estrutura granular permitiram a definição até a família como horizonte A chernozêmico para os solos adjacentes. Textura arenosa/média, concentrações mais elevadas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ( $\bar{x} = 0,3$  g/kg) e a presença de artefatos líticos e cerâmicos no horizonte superficial agrupam o solo TPA na família como horizonte A antrópico.

Segundo a correspondência aproximada com o *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2010), os solos TPA e adjacentes podem ser classificados como *Typic Kandiodox*. No solo TPA, o horizonte diagnóstico superficial possui espessura de 73 cm e pode ser identificado como *antropic*. Com relação à legenda FAO-WRB (FAO, 2007), os solos adjacentes são classificados como *Haplic Lixisols*, e o solo TPA como *Hortic Anthrosols*. Conforme a classificação da TPA através da legenda APC (Kämpf *et al.* 2003), o solo TPA corresponde aos requisitos do *Culto-Hortic Archaeo-anthrosols, ebonic, sandy, mesotrophic, cumulic*.

Uma das problemáticas levantadas por estes autores para criação da legenda APC é a exclusão de diversos solos TPA da FAO-WRB (FAO, 1998) devido à espessura  $\geq 50$  cm requerida para o horizonte diagnóstico superficial. Entretanto, o critério diagnóstico proposto pela FAO-WRB (FAO, 1998) envolve a identificação dos horizontes superficiais e subsuperficiais “antropodogênicos”: *terríc, irragric, plaggic, hortíc, anthraquic* e *hydragric*, mas as espessuras limitantes são somente exigidas nos horizontes *hortíc* e *hydragric*. O horizonte *hortíc* deve apresentar carbono orgânico ( $\geq 1\%$ ) e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,01%) nos 25 cm superiores (Gong *et al.* 1997) e o *hydragric* espessura  $\geq 10$  cm. O *hortíc* é um horizonte superficial modificado pelo homem através de um cultivo profundo, adubação intensiva e/ou introdução contínua de dejetos humanos e animais, e outros resíduos orgânicos e inorgânicos

(e.g. utensílios cerâmicos de cozinha). Este tipo de solo é amplamente descrito na região amazônica (Sombroek *et al.* 2002). O *hydragric* é um horizonte subsuperficial antrópico associado com cultivo úmido e apresenta geralmente feições redoximórficas. Na atualização da FAO-WRB (FAO, 2006, 2007) o horizonte *Hortic* passou a ser limitado a uma espessura  $\geq 20$  cm e os critérios diagnósticos do horizonte *hydragric* permanecem inalterados.

#### 4.5. SOLOS ADJACENTES COMO SUBSTRATO E FONTE DOS SOLOS TIPO TPA

Em geral, os solos do sítio arqueológico BJ8 são relativamente enriquecidos em SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO, Cu, Sc, Ni e Zn em relação ao UCC e PAAS. Enquanto que MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ba, Sr, Cr e V revelam um empobrecimento elevado (Figura 12). Estes perfis de concentração podem estar relacionados ao forte intemperismo do Grupo Itapecuru e outras feições geológicas locais que contribuiu para o desenvolvimento dos solos do município de Bom Jesus do Tocantins.

Em comparação com os solos adjacentes (Figura 12), o solo TPA apresenta concentrações mais elevadas de CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e Zn no horizonte superficial e Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no subsuperficial, enquanto que as concentrações menores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, Co, Ni e Cu ocorrem no horizonte superficial e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, Co, Ni, Cu, Zn, Ba, Sr, Sc e Y no subsuperficial. Apesar destas diferenças, a similaridade entre as características morfológicas, mineralógicas e químicas dos horizontes subsuperficiais do solo TPA e solos adjacentes sugerem que a TPA foi provavelmente desenvolvida a partir de Argissolos com posterior transformação pedogenética através da introdução de materiais orgânicos e inorgânicos por uma colonização humana antiga, o que resultou no espessamento do horizonte superficial (Figura 13). Entretanto, esta influência antrópica antiga também resultou em modificações no horizonte subsuperficial, como as concentrações altas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e principalmente P disponível. Esta tendência não foi observada nos Argissolos adjacentes e informações sobre fosfatos de alumínio não são conhecidas nas rochas da região (e.g. Radam, 1974; Nascimento e Góes, 2007). Assim, os sistemas de classificação de solos como o *Soil Taxonomy* (ST) e Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) são adequados para a identificação da TPA, uma vez que priorizam nas ordens do solo os processos pedogenéticos atuantes na formação e desenvolvimento do solo, relacionados com os horizontes subsuperficiais, além das transformações pedogenéticas posteriores no horizonte superficial. Contudo, este trabalho recomenda a adição de alguns atributos diagnósticos como quantidade de artefatos cerâmicos e líticos, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, P e Zn disponíveis, carbono orgânico, Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>, CTC e V no horizonte

superficial do *Soil Taxonomy* e SiBCS para o agrupamento e distinção dos diversos tipos de solos antrópicos antigos da Amazônia.

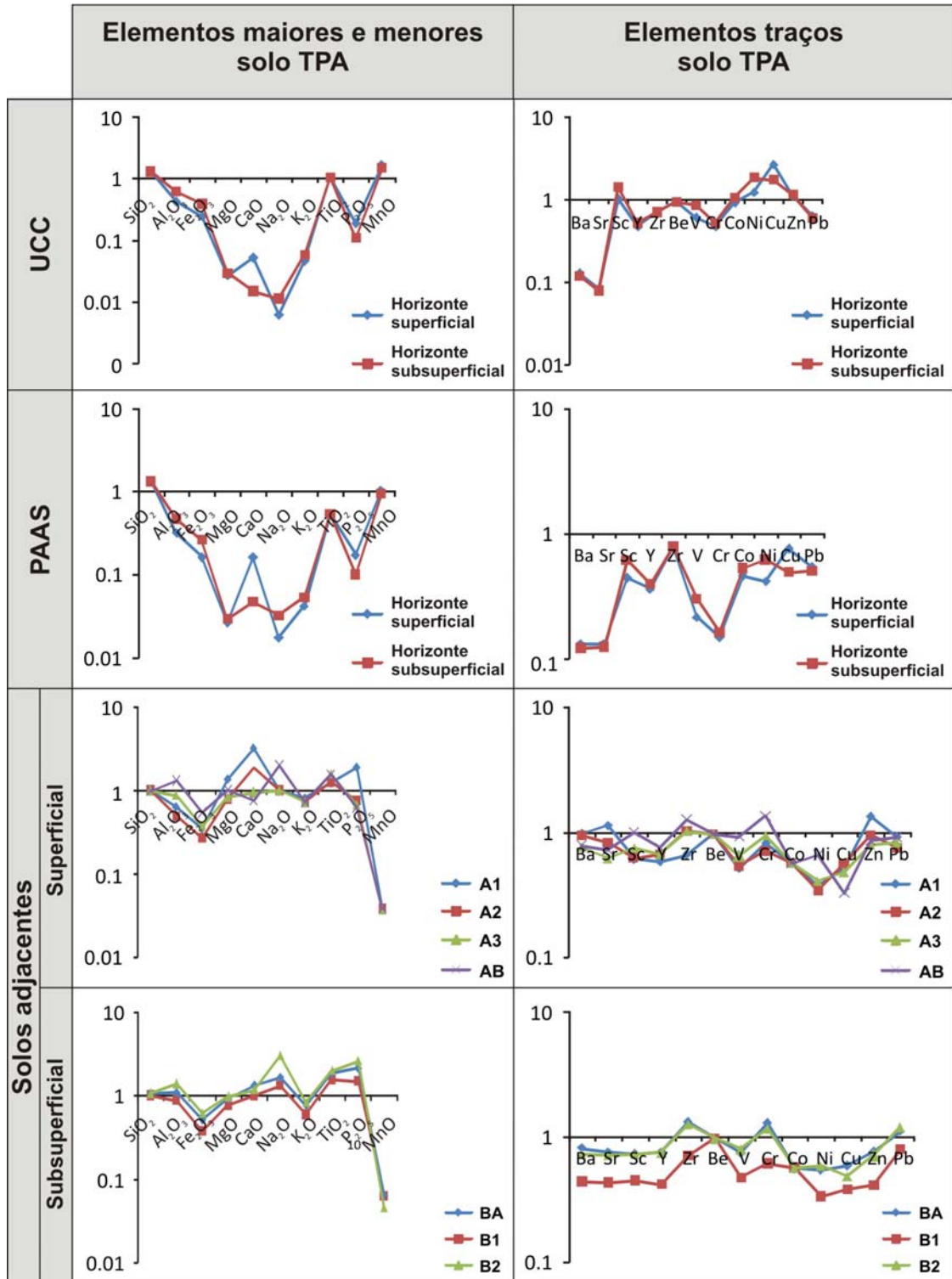


Figura 12: Concentrações dos elementos maiores, menores e traços do solo TPA normalizadas com a Crosta Continental Superior – UCC (Wedepohl, 1995), Folhelhos Pós-Arqueanos Australianos – PAAS (Taylor e MacLennan, 1985) e solos adjacentes do sítio BJ8.

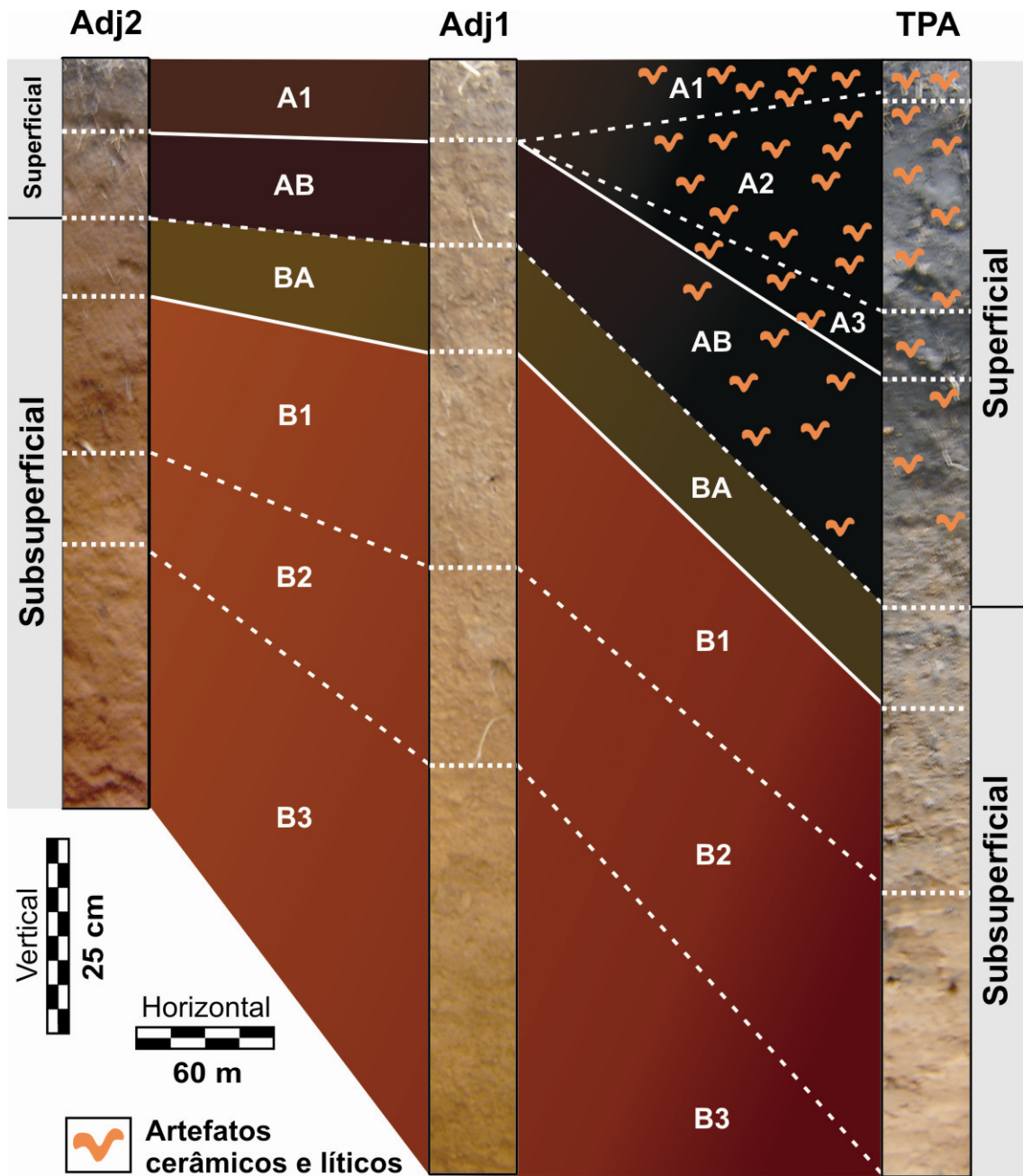


Figura 13: Correlação entre os perfis de solo adjacentes (Argissolos) e TPA.

## 5. CONCLUSÕES

Os solos do sítio BJ8 apresentam composição mineralógica similar, exceto a presença de albita que foi somente identificada no horizonte superficial do solo TPA. Provavelmente, este mineral foi introduzido a partir dos artefatos cerâmicos. Além disso, a TPA apresenta diversos fragmentos cerâmicos ao longo do horizonte A, coloração escura, concentrações maiores de CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Zn, P e Zn disponível, além de Ca<sub>trocável</sub> e Mg<sub>trocável</sub>, em relação aos solos adjacentes.

Os dados das análises estatísticas multivariadas dos elementos maiores e traços revelam as associações químicas relacionadas à formação dos solos TPA e adjacentes. MgO-CaO-MnO-Cu-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Ba-Sr-Zn-CO possui as concentrações mais altas no horizonte superficial do solo TPA e indica os possíveis materiais introduzidos por uma população pré-histórica. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-V-Ni-Na<sub>2</sub>O-Cr-TiO<sub>2</sub>-Zr-K<sub>2</sub>O apresenta uma relação baixa com a formação de TPA, mas estão bem correlacionados com argilominerais e oxi-hidróxidos de ferro. Be-Sc-Y-Co-Pb não demonstram oscilações significativas ao longo dos perfis de solo.

A semelhança entre as características morfológicas, mineralógicas e químicas dos horizontes subsuperficiais do solo TPA e solos adjacentes sugerem que a TPA foi desenvolvida a partir dos Argissolos com posterior transformação pedogenética através da introdução de materiais orgânicos e inorgânicos por antigas colonizações humanas. Assim, o Soil Taxonomy e SiBCS são adequados para a identificação da TPA, uma vez que priorizam na ordem do solo os processos pedogenéticos atuantes na formação e desenvolvimento do solo, relacionados aos horizontes subsuperficiais, além das transformações pedogenéticas posteriores no horizonte superficial. Além disso, este trabalho recomenda a adição de alguns atributos diagnósticos como quantidade de artefatos cerâmicos e líticos, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, P e Zn disponível, carbono orgânico, Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>, CTC e V no horizonte superficial do *Soil Taxonomy* e SiBCS, para o agrupamento e distinção dos diversos tipos de solos antrópicos antigos da Amazônia.

## REFERÊNCIAS

- Carmo M.S. 2008. Transferência química na cadeia solo-mandioca-cabelo humano na região de Caxiuanã (Estado do Pará) e sua importância ambiental. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 238 p.
- Costa M.L. & Kern D.C. 1999. Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, Amsterdam **66(1)**: 369-385.
- Costa M.L., Kern D.C., Pinto A.H.E., Souza J.R. da T. 2004a. The ceramic artifacts in Archaeological black earth (Terra Preta) from Lower Amazon Region, Brazil: mineralogy. *Acta Amazônica* **34(2)**: 165-178.
- Costa M.L., Kern D.C., Pinto A.H.E., Souza J.R. da T. 2004b. The ceramic artifacts in Archaeological black earth (Terra Preta) from Lower Amazon Region, Brazil: chemistry and geochemical evolution. *Acta Amazônica* **34(3)**: 375-386.
- Eden M.J., Bray W., Herrera L., McEwan C. 1984. Terra Preta soils and their archaeological context in the Caqueta basin of southeast Colombia. *American Antiquity* **49**: 125-140.
- EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212 p.
- EMBRAPA. 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. Centro Nacional de Pesquisa de solos, 306 p.
- FAO. 1998. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports 84. Rome.
- FAO. 2007. World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. World Soil Resources Reports n. 103. FAO, Rome.
- Fisch G., Marengo J.A., Nobre C.A. 1998. Uma Revisão Geral Sobre o Clima da Amazônia. *Acta Amazônica* **28(2)**: 101-126.
- German L.A. 2003. Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: contributions to the debate on Amazonian Black Earth. *Geoderma* **111(3-4)**: 307-331.



- Glaser B. 1999. Eigenschaften und Stabilität des Humuskörpers der Indianerschwarzerden Amazoniens. *Bayreuther Bodenkundliche Berichte*, 68 p.
- Glaser B., Balashov E., Haumaier L., Guggenberger, G., Zech W. 2000. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Org Geochem* **31**: 669-678.
- Gong Z., Zhang X., Luo G., Shen H., Spaargaren O.C. 1997. Extractable phosphorus in soils with a fimic epipedon. *Geoderma* **75**: 289-296.
- IBGE. 2008. Soil Map of Pará State. Brazilian Institute of Geography and Statistics – Coordination of Natural Resources and Environmental Studies. On line dataset, 10MB, [ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/tematico\\_estadual/PA\\_solos.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/tematico_estadual/PA_solos.pdf).
- Kämpf N., Woods W.I., Sombroek W., Kern D.C., Cunha T.J.F. 2003. Classification of Amazonian Dark Earths and other ancient anthropic soils. *In*: Lehmann J., Kern D.C., Glaser B. and Woods W.I., Amazonian Dark Earths. Origin, properties and management. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p.77-102.
- Kern D.C. 1988. Caracterização Pedológica de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná-PA. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 231 p.
- Kern D.C. 1996. Geoquímica e pedogeoquímica de Sítios Arqueológicos com Terra Preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel-Pará). Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, 119 p.
- Kern D.C. & Costa M.L. 1997. Os solos antrópicos. *In*: Lisboa, P. (org.). Caxiuanã. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém-PA, Capítulo III, p. 105-119.
- Kern D.C., D'Aquino G., Rodrigues T.E., Frazão F.J., Sombroek W., Myers T.P., Neves E.G. 2003. Distribution of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon. *In*: Lehmann J., Kern D.C., Glaser B. and Woods, W.I. Amazonian Dark Earths. Origin, properties and management. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 51-75.
- Kern D.C. & Kämpf N. 1989. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná - Pará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **13**: 219-225.

- Kern D.C. & Kämpf N. 2005. Ação antrópica e pedogênese em solos com Terra Preta em Cachoeira-Porteira, Pará. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Sér. Ciências Naturais*. Belém **1**(2): 187-201.
- Kretz R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *Am. Mineral* **68**: 277-279.
- Lehmann J., da Silva Jr J.P., Steiner C., Nehls T., Zech W., Glaser B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil* **249**: 343-357.
- Lemos R.C. & Santos R.D. 2002. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 4ª ed. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 83 p.
- Lemos, V.P., Costa, M.L., Gurjao, R.S., Kern, D.C., Mescouto, C.S., Lima dos Santos, W.T., Valentim, T.L. 2009. Comportamento do Arsênio em perfis de solos do Sítio Ilha de Terra de Caxiuanã, Pará. *Revista da Escola de Minas*. Ouro Preto. **62**:139-146.
- Lima H.N. 2001. Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 176 p.
- Lima H.N., Schaefer C.E.R., Mello J.W.V., Gilkes R.J., Ker J.C. 2002. Pedogenesis and pre-Columbian land use of Terra Preta Anthrosols (Indian black earth) of Western Amazonia. *Geoderma* **110**: 1-17.
- McCann J.M., Woods W.I., Meyer D.W. 2001. Organic matter and anthrosols in Amazonia: Interpreting the amerindian legacy. In: Rees R.M., Ball B.C., Campbell C.D. and Watson C.A. (Eds.), Sustainable management of soil organic matter. Wallingford, CABI Publishing, p. 180-189.
- Meireles A.R.O. 2004. Determinação de P, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn em Terra Preta Arqueológica no sítio Ilha de Terra, região de Caxiuanã, Município de Melgaço-Pa. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, 90 p.
- Munsell Color. 2009. *Munsell Soil Color Charts. New Revised Edition*. New Windsor, NY: Macbeth Division of Kollmorgen Instruments.
- Nascimento M.S. & Góes A.M. 2007. Petrografia de arenitos e minerais pesados de depósitos cretáceos (Grupo Itapecuru), Bacia de São Luís-Grajaú, norte do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* **37**: 50-63

- Pabst E. 1991. Critérios de distinção entre Terra Preta e Latossolo na região de Belterra e seus significados para a discussão pedogenética. *Bol. Museu Paraense Emílio Goeldi* **7**: 5-19.
- Projeto RADAM. 1974. Folha SB.22 Araguaia e parte da folha SC.22 Tocantins, DNPM. Rio de Janeiro. Levantamento de Recursos Naturais, 4, 143 p.
- Rodrigues T.E. 1996. Solos da Amazônia. *In*: Alvarez V.H., Fontes L.E.F. & Fontes M.P.F. (eds). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, p. 19-60.
- Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças – SEPOF. 2008. Estatística Municipal de Bom Jesus do Tocantins, 46 p.
- Smith, N.J. 1980. Anthrosols and human carrying capacity in Amazon. *Annals of the Association of American Geographers* **70**, 553-566.
- Soares-Filho B.S., Nepstad D., Curran L., Cerqueira G., Garcia R.A., Ramos C.A., Lefebvre P., Schlesinger P., Voll E., McGrath D. 2005. Cenários de desmatamento para Amazônia. *Estudos Avançados*, São Paulo, **19(54)**: 138-152.
- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. USDA-Natural Resources Conservation Service. 11th ed. Washington-DC. 338 p.
- Soltner D. 1983. Les bases de la production végétale. 12 ed. Collection: Sciences et techniques agricoles. 456 p.
- Sombroek W. 1966. Amazon soil: A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Wageningen. Centre for Agricultural Publications and Documentation, 292 p.
- Sombroek W., Kern D., Rodrigues T., Cravo M.S., Cunha T.J., Woods W., Glaser B. 2002. Terra Preta and Terra Mulata: pre-Columbian Amazon kitchen middens and agricultural fields, their sustainability and their replication. Bangkok, Symposium 18-Anthropogenic factors of soil formation, 17th World Congress of Soil Science.
- Spear F.S. 1993. *Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths*. Mineralogical Society of America Monograph. Chelsea, Michigan. 799p.

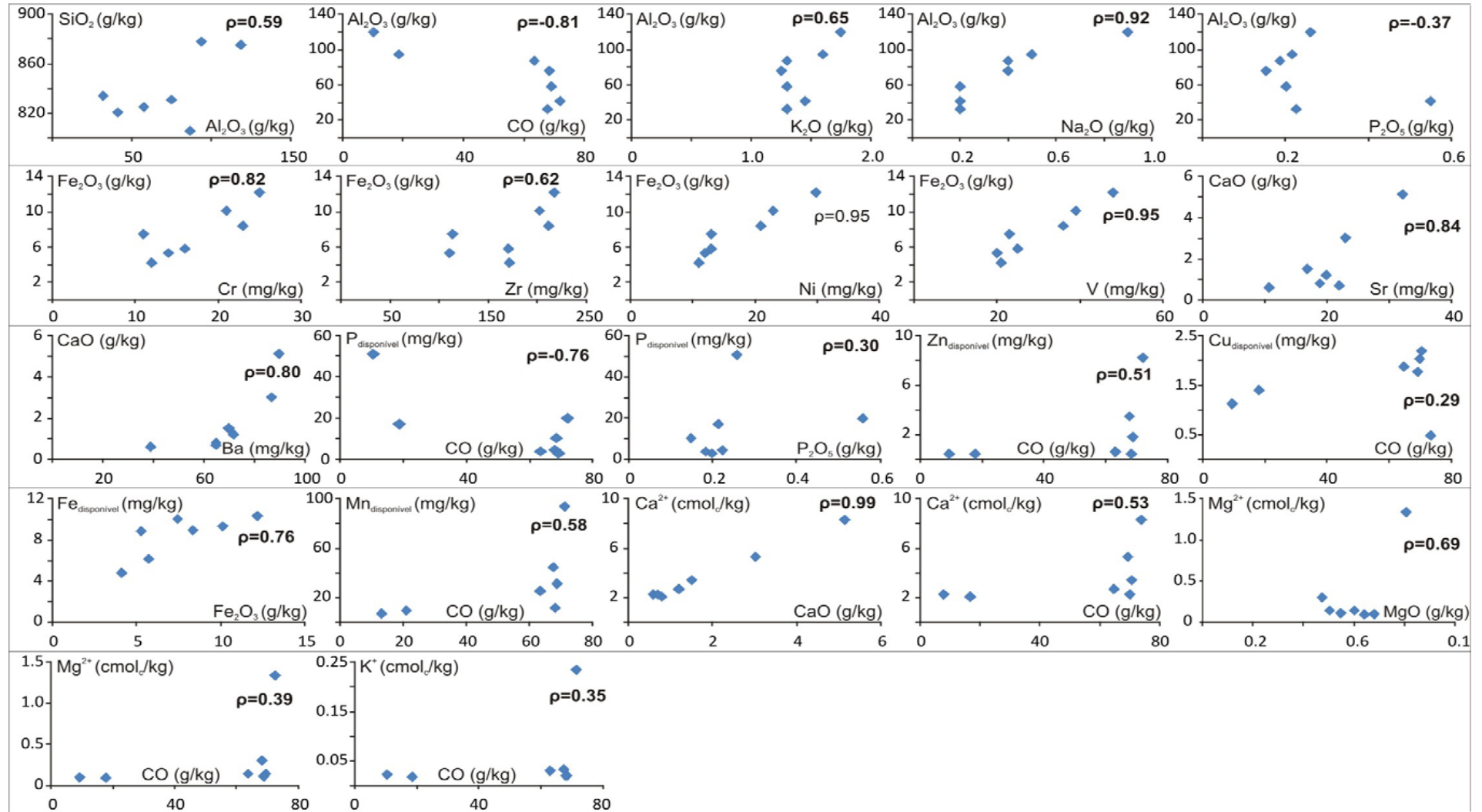
- Taylor S.R., Maclennan S.M. 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Oxford: Blackwell, 312 p.
- Thorez J. 1976. *Practical identification of clay minerals*. Belgique, G. Lelotte, 90 p.
- Wedepohl, K.H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica Cosmochimica ACTA*, **59(7)**: 1277- 1232.
- Woods W.I., McCann J.M. 1999. The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths. *The Year book of the Conference of Latin Americanist Geographers*, **25**: 7-14.
- Zech W., Haumaier L., Hempfling R. 1990. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. *In*: McCarthy P, Clapp CE, Malcolm RL, Blomm PR (Eds). *Humic substances in soil and crop sciences: selected Readings.*: ASA: SSSA, Madison, USA. p.187-201.

# **ANEXOS**

**ANEXO A: COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO QUÍMICA ENTRE OS ELEMENTOS MAIORES, TRAÇOS E PARÂMETROS DE FERTILIDADE DO SOLO TPA.**

a)

**Solo com TPA**



**ANEXO B: COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO QUÍMICA ENTRE OS ELEMENTOS MAIORES, TRAÇOS E PARÂMETROS DE FERTILIDADE DOS SOLOS ADJACENTES.**

**b)**

**Solos adjacentes**

