



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

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**CONTRASTES QUÍMICOS, MINERALÓGICOS E DE FERTILIDADE  
ENTRE SOLOS TIPO TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA: SÍTIO DA  
MATA, NO LIMITE ORIENTAL DA AMAZÔNIA, E SÍTIO PORTO DE  
SANTARÉM, NO BAIXO AMAZONAS**

**Dissertação apresentada por:**

**UIBIRÁ SENA SILVA**

**Orientador: Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa (UFPA)**

**Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Dirse Clara Kern (MPEG)**

---

**BELÉM  
2012**

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

---

S586c Silva, Uibirá Sena

Contrastes químicos, mineralógicos e de fertilidade entre solos tipo terra preta arqueológica: sítio da Mata, no limite Oriental da Amazônia, e sítio Porto de Santarém, no Baixo Amazonas / Uibirá Sena Silva; Orientador: Marcondes Lima da Costa; Coorientadora: Dirse Clara Kern– 2012

xv, 60 f.: il.

Dissertação (mestrado em geoquímica e petrologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2012.

1.Cerâmica. 2.Terra Preta Arqueológica. 3. Fragmentos Cerâmicos. 4. Mineralogia. 5. Fertilidade. 6. Fracionamento de Fósforo. I. Costa, Marcondes Lima da, *orient.* II.Kern, Dirse Clara, *coorient.* III. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 22º ed.:738.098115

---



**Universidade Federal Do Pará**  
**Instituto De Geociências**  
**Programa De Pós Graduação Em Geologia E Geoquímica**

**CONTRASTES QUÍMICOS, MINERALÓGICOS E DE  
FERTILIDADE ENTRE SOLOS TIPO TERRA PRETA  
ARQUEOLÓGICA: SÍTIO DA MATA, NO LIMITE  
ORIENTAL DA AMAZÔNIA, E SÍTIO PORTO DE  
SANTARÉM, NO BAIXO AMAZONAS**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR**  
**UIBIRÁ SENA SILVA**

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

**Data de aprovação: 18 / 06 / 2012**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Marcondes Lima da Costa**  
**(Orientador – UFPA)**

**Prof. Renato Kipnis**  
**(Membro – Scientia Consultoria)**

**Prof.ª Vanda Porpino Lemos**  
**(Membro – UFPA)**

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Dr. Marcondes Lima da Costa, pela oportunidade concedida e pela orientação no decorrer desta pesquisa;

À minha co-orientadora, Dra. Dirse Clara Kern, por todo apoio e ajuda, tanto material quanto intelectual, na realização deste trabalho;

À minha família, por todo o incentivo, paciência e compreensão durante o desenvolvimento deste trabalho;

Ao CNPq, pela bolsa de estudo concedida;

Ao Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada da UFPA, sob coordenação do Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa, que proporcionou todas as condições para a realização deste trabalho;

Ao M. Sc. Henrique Diniz, pela companhia e pelas conversas em diversos momentos, que muito ajudaram nesta pesquisa;

Aos colegas da UFPA por todo o auxílio na execução desta pesquisa, seja na parte teórica, seja nos trabalhos laboratoriais, ou mesmo nos momentos de descontração;

Aos pesquisadores do Museu Paraense Emílio Goeldi, Dr. José Francisco Berrêdo, Dra. Jucilene Amorim Costa, M. Sc. Francisco Juvenal Lima Frazão (*in memoriam*), sempre solícitos, e que muito contribuíram no desenvolvimento desta pesquisa;

Por fim, aos colegas de Laboratório do Museu Paraense Emílio Goeldi, Michelle, José Renato, Antônio, Daniel e tantos outros que contribuíram de qualquer forma para o desenvolvimento deste trabalho;

## RESUMO

Sítios TPA são comuns na região amazônica. Destacam-se pelo grande conteúdo de fragmentos de vasilhas cerâmicas, urnas funerárias e artefatos líticos. Como solos, se apresentam com elevada fertilidade em relação aos solos circunvizinhos. A origem dos solos tipo TPA é relacionada às atividades cotidianas de populações pré-históricas que viveram em assentamentos antigos por longos períodos nos últimos milhares de anos na Amazônia. Pesquisas recentes mostram que os fragmentos cerâmicos destes sítios apresentam fertilidade tão alta ou superior à do próprio solo que os envolve, podendo se constituir em uma potencial fonte de nutrientes para estes solos. O presente trabalho investigou os solos e os fragmentos cerâmicos de dois sítios TPA localizados em regiões distintas da Amazônia: o Sítio da Mata, localizado na região metropolitana de São Luís do Maranhão, área de transição floresta-savana; e o Sítio Porto de Santarém, localizado na foz do rio Tapajós, área originalmente de floresta, mas atualmente urbanizada. A pesquisa objetivou caracterizar e diferenciar o material dos dois sítios, buscando relacioná-los aos diferentes contextos geomorfológicos nos quais estão inseridos. No Sítio da Mata foram coletadas amostras no perfil de TPA e de solo adjacente, e no Sítio Porto de Santarém apenas no perfil de TPA. As amostras compreendem tanto a matriz solo como fragmentos cerâmicos. Esse material foi submetido a análises granulométricas (apenas amostras de solo), análises mineralógicas por Difração de Raios-X (DRX), química total por ICP-MS/OES, e análise dos parâmetros de fertilidade. Foram também quantificadas as espécies de fósforo (apatítico, Fe-Al e orgânico) presentes nos solos e nos fragmentos cerâmicos. Os solos TPA do Maranhão e de Santarém apresentam elevados conteúdos de fração areia, com textura variando de franco-siltosa a areia franca no Sítio da Mata e textura franco-arenosa em todo o perfil do Sítio Porto de Santarém. A composição mineralógica dos solos não apresentou diferenças significativas entre os sítios estudados: constituem-se basicamente de quartzo e caulinita como minerais principais, e anatásio e muscovita como minerais acessórios nos dois sítios. As análises químicas revelam solos dominados por  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , corroborando a mineralogia, tendo  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  em menores proporções.  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{MgO}$  estão em concentrações inferiores a 0,5%, porém, mais elevados na TPA do Porto de Santarém. Entre os elementos traço analisados, apenas V, Cu, Zn, Sr e Ba se destacam, da mesma forma mais elevados no Sítio Porto de Santarém. As concentrações e os padrões de distribuição dos elementos terras raras, quando normalizados aos condritos, são semelhantes nos dois sítios, com enriquecimento dos ETRL e forte anomalia positiva de Ce, e negativa de Eu. As diferenças apenas nos conteúdos de P

disponível,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , mesmo que em valores relativamente baixos, sugerem influência antrópica diferenciada sobre os solos pré-TPA. Os solos TPA do Sítio Porto de Santarém apresentam fertilidade mais elevada, dada pelos maiores teores de P disponível, variando de 72,9 a 305,7  $\text{mg Kg}^{-1}$ , e  $\text{Ca}^{2+}$ , variando de 3,52 a 5,16  $\text{mg Kg}^{-1}$ , contra 5,4 a 12,7  $\text{mg Kg}^{-1}$  de P e 0,96 a 2,31  $\text{mg Kg}^{-1}$  de  $\text{Ca}^{2+}$  no Sítio da Mata. CTC, soma e saturação por bases e teor de matéria orgânica também são superiores na TPA do Sítio Porto de Santarém. Os fragmentos cerâmicos dos dois sítios são constituídos por quartzo e metacaulinita, além de illita e anatásio. Albita e microclínio foram identificados somente nos FC do Sítio Porto de Santarém. São, desta forma, formados principalmente por  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  em menores proporções. Em Santarém, entretanto, os fragmentos contêm ainda teores elevados de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , de 3,49 a 5,37%, e os valores de CaO,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , Cu, Zn, Sr e Ba suplantam aqueles do Sítio da Mata. As concentrações e os padrões de distribuição dos ETR são semelhantes nos FC dos dois sítios, com enriquecimento de ETRL, anomalia positiva de Ce e anomalias negativas de Eu e Ho. Portanto os fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém são mineralogicamente distintos daqueles do Sítio da Mata, embora estejam em uma matriz de solo idêntica nos dois sítios. A presença de fósforo é compatível com os demais fragmentos encontrados em outros sítios TPA na Amazônia. A fertilidade dos FC do Sítio Porto de Santarém apresentou melhores parâmetros, com pH levemente superior aos dos FC do Sítio da Mata, maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e principalmente de P disponível, além de maiores CTC e soma e saturação por bases, corroborando a fertilidade mais elevada no Sítio Porto de Santarém. O fracionamento de fósforo revelou que na matriz dos solos das TPAs estudadas o fósforo está ligado principalmente a compostos orgânicos, enquanto nos fragmentos cerâmicos aparece principalmente como inorgânico não apatítico. Fosfato apatítico aparece em pequenas concentrações na matriz dos solos e nos fragmentos cerâmicos dos dois sítios. É provável, portanto, que o fósforo que estava presente em materiais orgânicos descartados pelos povos antigos, como ossos diversos, entre outros materiais, ao serem submetidos à pedogênese tropical, foram gradualmente dissolvidos, liberando o fósforo, que foi parcialmente fixado como fosfatos de Fe e/ou Al, fases minerais comuns em solos tropicais, bem como na matéria orgânica, abundante nas TPAs, representando as frações de fósforo inorgânico não apatítico e de fósforo orgânico respectivamente.

**Palavras-chave:** Cerâmica. Terra Preta Arqueológica. Fragmentos Cerâmicos. Mineralogia. Fertilidade. Fracionamento de Fósforo.

## ABSTRACT

Dark Earth sites are usually found in Amazonian Region. They stand out for their great content of ceramic fragments, urns, and lithic artifacts. Their soils present higher fertility if compared with the neighboring soils. Amazonian Dark Earths origins are related to pre-historic human activity of people who lived in ancient settlements in Amazonian Region for long periods of time. Recent researches reveal that the ceramic fragments from those sites present fertility as high as the soils, and even higher; and for that reason, when the ceramics fragments are exposed to weathering conditions, they could constitute in a potential source of nutrients for the soils that surround them. This study investigated the properties of soils and ceramic fragments from two ABE sites in distinct regions within the Amazon: Sítio da Mata, in São Luís City, Estate of Maranhão, region of forest-savanna transition; and Sítio Porto de Santarém, at the Tapajós River's outfall, a former rain forest area that is currently intensively urbanized. This research aimed to characterize and compare the material from both sites, and correlate them to de different geomorphologic contexts in which they're inserted. In the Sítio da Mata was sampled material from the ABE soil profile and from adjacent soil profile, and in Sítio Porto de Santarém, was sampled material only in the ABE soil profile. The samples comprised both soil and ceramic fragments matrices. The material was subjected to particle size analysis (soil samples only), X-Ray Diffraction (XRD) analysis, total chemical analysis by ICP-MS/OES, and fertility parameters analysis. Phosphorus fractionation was also performed in aim to determine the phosphorus species (P-Ca, P-Fe-Al, and organic P) present in soils and ceramic fragments samples. This study investigated the properties of soils and ceramic fragments from two ABE sites in distinct regions within the Amazon: Sítio da Mata, in São Luís City, Estate of Maranhão, region of forest-savanna transition; and Sítio Porto de Santarém, at the Tapajós River's outfall, a former rain forest area that is currently intensively urbanized. This research aimed to characterize and compare the material from both sites, and correlate them to de different geomorphologic contexts in which they're inserted. In the Sítio da Mata was sampled material from the ABE soil profile and from adjacent soil profile, and in Sítio Porto de Santarém, was sampled material only in the ABE soil profile. The samples comprised both soil and ceramic fragments matrices. The material was submitted to particle size analysis (soil samples only), X-Ray Diffraction (XRD) analysis, total chemical analysis by ICP-MS/OES, and fertility parameters analysis. Phosphorus fractionation was also performed in aim to determine the phosphorus species (P-Ca, P-Fe-Al, and organic P) present

in soils and ceramic fragments samples. ABE from both sites showed high contents of the sand fraction, and soil texture varied from silty-loam to loam sand in Sítio da Mata and sandy-loam in the entire ABE profile in Sítio Porto de Santarém. Mineralogical composition in both soils showed no significant differences: they consist most of quartz and kaolinite as primary mineral phases, and anatase and muscovite as accessory mineral phases. Chemical analysis reveal that the soils are composed most for  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , confirming the mineralogical results, and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{TiO}_2$  in minor quantities.  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  and  $\text{MgO}$  are present in amounts below 0,5%, however, they show higher values in the soils from Sítio Porto de Santarém if compared to Sítio da Mata. Among the trace elements analyzed, only V, Cu, Zn, Sr and Ba stand out, and also show higher values in Sítio Porto de Santarém's soils. Amounts and distribution patterns for Rare Earth Elements (REE), when normalized by condrits, are similar in both sites, showing enrichment of Light REE, strong positive anomaly for Ce, and negative anomaly for Eu. Differences only in the available P,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  contents, although in relatively low values, suggest different anthropic influence over the pre-ABE soils. ABE soils from Sítio Porto de Santarém show higher fertility given for the higher contents of available P, ranging from 72,9 to 305,7  $\text{mg Kg}^{-1}$ , and  $\text{Ca}^{2+}$ , ranging from 3,52 to 5,16  $\text{mg Kg}^{-1}$ , compared to 5,4 to 12,7  $\text{mg Kg}^{-1}$  of P content and 0,96 to 2,31  $\text{mg Kg}^{-1}$  of  $\text{Ca}^{2+}$  content in Sítio da Mata's soils. Cation Exchange Capacity (CEC), sum of bases, base saturation and soil organic matter (SOM) were also higher in ABE from Sítio Porto de Santarém. Ceramic fragments from both sites are composed by quartz and metakaolinite, and also illite and anatase. Albite and microcline were detected only in ceramic fragments from Sítio Porto de Santarém. Therefore, they are composed mainly by  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , and in smaller amounts, by  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{TiO}_2$ . At Santarém, however, ceramic fragments contain also high amounts of  $\text{P}_2\text{O}_5$ , ranging from 3,49% to 5,37%, and the values for  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , Cu, Zn, Sr and Ba exceed those from Sítio da Mata. The contents and distribution pattern for REE are similar in ceramic fragments from both sites, with enrichment of LREE, positive anomaly for Ce and negative anomalies for Eu and Ho. Therefore, the ceramic fragments from both sites are mineralogically distinct, although they're immersed in a similar soil matrix. The presence of phosphorus is compatible with others ceramic fragments found in different ABE sites. The fertility of ceramic fragments from Sítio Porto de Santarém showed better rates, with slightly higher pH if compared to ceramic fragments from Sítio da Mata, higher amounts of available  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  and mainly available P, besides higher CEC, sum of bases and base saturation, corroborating the higher fertility of the soils from Sítio Porto de Santarém. Phosphorus fractionation shows that in soil matrix from the studied sites, phosphorus is



mainly related to organic compounds, while in ceramic fragments matrix, it is mainly related to nonapatite inorganic compounds. Apatite phosphorus is present in small amounts in both soil and ceramic fragments matrices. Therefore, it is likely that phosphorus present in organic material discarded by ancient people, as various kind of bones, among others, when submitted to tropical pedogenesis, were gradually dissolved, releasing phosphorus, which was partially fixed as Fe-Al phosphates, common mineral phases in tropical soils, as well as organic matter, abundant in ABE, respectively representing the nonapatite inorganic phosphorus and the organic phosphorus fractions.

**Keywords:** Ceramics. Amazonian Black Earth. Ceramic Fragments. Mineralogy. Fertility. Phosphorus Fractionation.