

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**VALÉRIA RAMOS LOURENÇO**

**PEDOGEOARQUEOLOGIA DE ANTROPOSSOLOS DA AMAZÔNIA  
ORIENTAL: SAMBAQUIS E TERRAS PRETAS DE ÍNDIO**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS**

**2020**

**VALÉRIA RAMOS LOURENÇO**

**PEDOGEOARQUEOLOGIA DE ANTROPOSSOLOS DA AMAZÔNIA  
ORIENTAL: SAMBAQUIS E TERRAS PRETAS DE ÍNDIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Márcio Rocha Francelino

Coorientador: Carlos E.G.R. Schaefer

**VIÇOSA – MINAS GERAIS**

**2020**

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de  
Viçosa - Campus Viçosa

T

L892p Lourenço, Valéria Ramos, 1994-  
2020 Pedoarqueologia de antropossolos da Amazônia Oriental :  
sambaquis e terras pretas de índio / Valéria Ramos Lourenço. - Viçosa,  
MG, 2020.

105 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Márcio Rocha Francelino.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Ciência do solo em arqueologia - Amazônia. 2. Terra preta.  
3. Sambaquis. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Solos. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas.  
II. Título.

CDD 22. ed. 631.478115

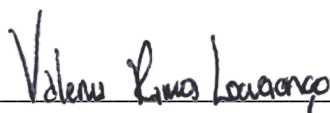
**VALÉRIA RAMOS LOURENÇO**

**PEDOGEOARQUEOLOGIA DE ANTROPOSOLOS DA AMAZÔNIA  
ORIENTAL: SAMBAQUIS E TERRAS PRETAS DE ÍNDIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 31 de janeiro de 2020.

Assentimento:



---

Valéria Ramos Lourenço  
Autora



---

Márcio Rocha Francelino  
Orientador

*À minha mãe (Sônia) que sempre, dentro de suas possibilidades, me destinou o mais puro e generoso apoio, confiança e amor, e que apesar de suas humildes limitações sempre buscou compreender, aceitar e incentivar minha complexa personalidade.*

*Aos meus irmãos, Vitor e Eduarda por tornarem as coisas mais complicadas, porém mais divertidas.*

*E aos meus amigos e professores que estiveram e estão ao meu lado.*

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe, por todas as batalhas que ela lutou para que pudesse escolher quais eu gostarias de lutar;

À minha família, por todo o apoio, compreensão e amor durante toda a minha vida;

Ao professor Dr. Márcio Rocha Francelino, pela orientação, confiança, liberdade, apoio e ensinamentos ao longo deste trabalho;

Ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas (PPGSNP) pela oportunidade de formação, crescimento profissional e pessoal;

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela bolsa de estudos que possibilitou a dedicação exclusiva ao programa de pós-graduação e a operacionalização do estudo;

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Solos (DPS) pela infraestrutura fornecida ao longo do mestrado;

Ao museu Emilio Goeldi, em especial ao Dr. Paulo Roberto do Canto Lopes por sua inestimável contribuição na implementação do projeto;

Ao ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade);

Aos professores João Ker, Liovando Marciano, Elpídio Filho, Raphael Bragança, Carlos Schaefer, pelos exemplos e ensinamentos ao longo da graduação;

Ao Professor Dr. Fábio Oliveira e Dr. Eduardo Senra por compartilhar a jornada do campo e suas contribuições para melhoria do trabalho;

Aos meus amigos de toda a vida, Thiago Batista, Thiago Alper, Rebeca, Goldemberg, Carol, Ageu e Timóteo por todos os anos de companheirismo, amizade e apoio, eu devo a vocês as forças para ter terminado este trabalho;

Aos meus amigos do caminho, Amanda, Ricardo, G ssica, Chris, Expedito,  sio, Gaston, Daniel, David, Maria, Francis, Carol, Patrícia, Iorrana e Rafael por todos os conhecimentos partilhados, os conselhos, companheirismo, aprendizado e apoio que trocamos ao longo desses anos;

Aos técnicos Marcos, Janilson, Júlio, Jorge Orlando, Z  Mauricio, Carol, Nayan e Carina;

Ao estagiário Alexsandro;

E aos artistas e suas trilhas sonoras que serviram de inspira o para o desenvolver deste trabalho: Muse, ACDC, Led Zeppelin, Coldplay, Adele, Imagine Dragons, Kings of Leon, Rihanna, One Republic, U2, Arctic Monkeys, entre tantos outros;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordena o de Aperfei amento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“É constrangedor não sabermos como definir o solo. Nisso os pedólogos não estão sozinhos. Os biólogos não chegam a um consenso sobre como definir a vida, assim como os filósofos, a filosofia”. (*Hans Jenny, The soil resource: origin and behavior.*)

## RESUMO

LOURENÇO, Valéria Ramos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2020. **Pedogeoarqueologia de antropossolos da Amazônia oriental: Sambaquis e Terras Pretas de Índio.** Orientador: Márcio Rocha Francelino. Coorientador: Carlos Ernesto G.R Schaefer.

Assim como em outros espaços, o advento do homem pré-colombiano infligiu modificações ao ambiente amazônico, que foram expressas principalmente na forma de transformações na sua vegetação, nos seus assentamentos e cercanias. Dentre as intervenções, pode-se citar as descritas na ilha de Marajó denominadas de Tesos (Mounds), que correspondem a elevações no terreno, originados do retrabalhamento de paleocanais e com evidências de modificações antrópicas. Como também os marcos na paisagem denominados de sambaquis, estruturas arqueológicas cuja matriz estratigráfica é constituída predominantemente por conchas. Como resultado das tradições praticadas pelos grupos sociais, produziu-se alterações também nas características dos solos, modificando suas propriedades físicas e químicas, e alterando sua aptidão, dando origem aos Arqueo-antropossolos, que tem na sua gênese discussões sobre a intencionalidade ou casualidade dos resultado destas alterações no ambiente. A partir da percepção de que o estudo da distribuição das características físicas e químicas destes Arqueo-antropossolos poderia contribuir com a interpretação das antigas civilizações e do histórico de uso destes, além de contribuir para o desenvolvimento agrícola, sua exploração do ponto de vista científico foi então intensificada. Entretanto, o estado da arte da pedoarqueologia referente a estes solos no Brasil se construiu com base em sítios do Baixo e Médio Amazonas, e de poucos sambaquis do Sudeste do país, sendo raros os trabalhos com esta abordagem nos sítios arqueológicos da ilha de Marajó, mesmo com os estudos arqueológicos que apontam para esta área como o local de desenvolvimento de uma das principais culturas ceramistas da história. Neste trabalho, apresenta-se e discute-se os resultados da caracterização química, física, mineralógica, geoquímica e cronologia de Arqueo-antropossolos da ilha de Marajó (Terras Pretas e Terras Mulatas) e do município de Quatipuru (Sambaqui), ambos localizados no estado do Pará, Amazônia Oriental, bem como a influência das propriedades químicas, físicas e geoquímicas na separação entre estes solos utilizando análise de componentes principais (PCA). As amostras foram submetidas as análises físico-químicas de rotina, fracionamento de P, difração de raio-X, datação por radiocarbono ( $C^{14}$ ), digestão sulfurica, dissolução seletiva de ditionito citrato bicarbonato e oxalato de amônio, além de caracterização microquímica com MEV

acoplado em EDS das frações silte e argila. O Arqueo-antropossolo do Teso da Ilha de Marajó revelou média mais elevada para P, K e Mn, enquanto as Terras Pretas apresentaram maiores médias de Ca, Mg e SB e CTC, indicando diferenças nas características químicas das Terras Pretas Arqueológicas em decorrência das diferentes fases de ocupação da ilha, além dos diferentes tipos de solos em que procederam-se as ocupações, retratados também na espessura dos horizontes e quantidade de artefatos ou fragmentos encontrados. As Terras Pretas Arqueológicas de Marajó com características geoquímicas e físicas de maior semelhança, segundo a análise de componentes principais (PCA), foram P02 (Teso) e P03 (TPA), por apresentarem maior enriquecimento químico, em contraste com as demais Terras Pretas Arqueológicas da ilha. A fração de P inorgânico predominante nos solos de Marajó é a ligada ao Fe, enquanto o solo desenvolvido no sambaqui de Quatipuru é a ligada ao Ca, em que se observa os maiores valores nos horizontes com maiores teores de matéria orgânica, provavelmente devido a mecanismos de estabilização. A mineralogia das frações areia e silte são constituídas por feldspato, quartzo e por calcita. O solo do sambaqui ainda possui grande reserva de apatita biogênica primária, materiais malacológicos, sendo observado a predominância de hidroxiapatita, halita, e calcita na fração argila. Foram observados ainda presença de argilominerais 2:1 no solo. As datações realizadas em Quatipuru variaram entre  $4920 \pm 30$  AP a  $500 \pm 30$  AP, e indicam intervalos consideráveis de aproximadamente 200 anos do período caracterizado como de abandono do sítio. Os resultados das datações indicaram também inconsistências com as anteriormente realizadas, e provável inversão de camadas.

Palavras-chave: Terra Preta Arqueológica. Arqueo-antropossolos. Pedoarqueologia.

## ABSTRACT

LOURENÇO, Valéria Ramos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2020. **Pedogeoaerchology of anthropossols in the eastern Amazon: Shellmounds and Black Earths.** Adviser: Márcio Rocha Francelino. Co-adviser: Carlos Ernesto G.R Schaefer.

As in other spaces, the advent of pre-Columbian man inflicted changes to the Amazonian environment, which were expressed mainly in the form of changes in its vegetation, in its settlements and surroundings. Among the interventions, we can mention those described on the island of Marajó called Tesos (Mound building), which correspond to elevations in the terrain, originated from the reworking of paleochannels and with evidence of anthropic changes. As well as the landmarks in the landscape named sambaquis (Shellmounds), archaeological structures whose stratigraphic matrix is predominantly made up of shells. As a result of the traditions practiced by social groups, changes were also made in the characteristics of the soils, modifying their physical and chemical properties, and altering their aptitude, giving rise to the Archeo-anthropossols, which in their genesis have discussions about the intentionality or casualness of the result of these changes in the environment. Based on the perception that the study of the distribution of the physical and chemical characteristics of these Archeo-anthropossols could contribute to the interpretation of ancient civilizations and their history of use, in addition to contributing to agricultural development, their exploration from the scientific perspective was then intensified. However, the state-of-the-art of pedoaerchology related to these soils in Brazil was built based on sites in the Lower and Middle Amazon, and a few Shellmounds in the southeastern part of the country, and there are few works with this approach in the archaeological sites on the island of Marajó, even with the archaeological studies that point to this area as the place of development of one of the main ceramist cultures in history. In this work, it is presented and discussed the chemical, physical, mineralogical, geochemical and chronological characterization of Archeo-anthropossols from the island of Marajó (Black Earths and Mulatto Earths) and the municipality of Quatipuru (Shellmound) both in the state of Pará, Eastern Amazon. As well as the influence of chemical, physical and geochemical properties on the separation between these soils using Principal Component Analysis (PCA). The samples were subjected to routine physical-chemical analysis, fractionation of P, X-ray diffraction, radiocarbon dating ( $C^{14}$ ), sulfuric digestion, selective dissolution of dithionite citrate bicarbonate, and ammonium oxalate, in addition to micro-chemical characterization of the silt and clay fractions using MEV coupled in EDS. The Archeo-anthropossol of Teso on Marajó Island

revealed a higher average for P, K and Mn, while the Black Earths showed higher averages of Ca, Mg and SB and CTC, indicating differences in the chemical characteristics of the Black Archaeological Earths due to the different phases of occupation of the island, in addition to the different types of soil on which the occupations proceeded, also depicted in the thickness of the horizons and quantity of artifacts or fragments found. The Black Archaeological Earth of Marajó with the most similar geochemical and physical characteristics, according to the principal component analysis (PCA), were P02 (Teso) and P03 (Black Earth), as they present greater chemical enrichment, in contrast to the other Black Archaeological Black Earths of the island. The predominant fraction of inorganic P in the soils of Marajó is that linked to Fe, while the soil developed in the Quatipuru's Shellmound is that linked to Ca, in which the highest values are observed in the horizons with higher levels of organic matter, probably due to mechanisms stabilization process. The mineralogy of the sand and silt fractions consists of feldspar, quartz and calcite. The Shellmound soil still has a large reserve of primary biogenic apatite, malacological materials, with a predominance of hydroxyapatite, halite, and calcite in the clay fraction. The presence of 2: 1 clay minerals was also observed in the soil. The dates in Quatipuru ranged from  $4920 \pm 30$  BP to  $500 \pm 30$  BP, and indicate considerable intervals of approximately 200 years from the period characterized as abandonment of the site. The dating results also indicated inconsistencies with those previously performed, and probable inversion of layers.

**Keywords:** Archaeological Black Earth. Archeoanthroposols. Pedoarcheology.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	12
<b>CAPÍTULO 1: GÊNESE, QUÍMICA E MINERALOGIA DE ARQUEO-ANTROPOSOLOS DA ILHA DE MARAJÓ-PA: TERRAS PRETAS E TERRAS MULATAS</b> .....	16
<b>RESUMO</b> .....	17
<b>ABSTRACT</b> .....	18
1. INTRODUÇÃO .....	19
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
2.1. Caracterização da área de estudo e amostragem .....	21
2.2. Procedimentos analíticos de caracterização química, física e mineralógica .....	23
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
3.1. Características gerais dos perfis e classificação .....	25
3.2. Caracterização morfológica e física dos perfis .....	28
3.3. Características químicas .....	30
3.4. Mineralogia das frações.....	40
3.5. Análise de Componentes Principais .....	49
4. CONCLUSÕES: .....	52
5. REFERÊNCIAS.....	53
<b>CAPÍTULO 2: PEDOGEOARQUEOLOGIA DE SOLO DESENVOLVIDO DE SAMBAQUI FLUVIO-MARINHO NA AMAZÔNIA ORIENTAL</b> .....	61
<b>RESUMO</b> .....	62
<b>ABSTRACT</b> .....	63
1. INTRODUÇÃO: .....	64
2. MATERIAL E MÉTODOS:.....	66
2.1. Caracterização da área de estudo e amostragem .....	66
2.2. Procedimentos analíticos de caracterização química, física, mineralógica e datação .....	69
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO: .....	72
3.1. Características gerais e classificação .....	72
3.2. Caracterização física e morfológicas.....	73
3.3. Características químicas e geoquímicas .....	74
3.4. Caracterização mineralógica e microscópica das frações.....	81
3.5. Caracterização cronológica.....	91
3.6. Distribuição geoquímica dos elementos na área do sambaqui .....	93
4. CONCLUSÕES: .....	96
5. REFERÊNCIAS:.....	97

## INTRODUÇÃO GERAL

Os registros arqueológicos permitem inferir que desde a transição do Pleistoceno tardio com o Holoceno antigo, há cerca de 11.000 anos antes do presente (AP), o homem já estava presente na Amazônia (NEVES, 1999, 2006; BUENO, 2010). Sua ocupação se estendia desde áreas de terras firmes (não inundáveis), florestas, cerrados e áreas baixas alagáveis (ROOSEVELT, 1994, 2002; LEVIS et al., 2017). Especificamente na ilha de Marajó, localizada no estado do Pará, os registros arqueológicos indicam ocupações humanas há pelo menos 3.500 anos, havendo incrementos no número e tamanho dos assentamentos por volta de 500 a 1.500 d.C. Os estudos de datação mostram que os sítios marajoaras foram ocupados por intervalos entre 500 a 1.000 anos, sendo desconhecida as motivações que levaram a descontinuação das ocupações (ROOSEVELT, 1991, 1994; SCHAAN; MARTINS; PORTAL, 2010).

Assim como em outros espaços, o advento do homem infligiu modificações ao ambiente amazônico, que foram expressas principalmente na forma de transformações na sua vegetação (LEVIS et al., 2017), nos seus assentamentos e cercanias. Geralmente essas modificações se expressam na forma de deposição de resíduos que até hoje geram discussões sobre sua real intencionalidade. O que de fato se observa é que este hábito produziu alterações nas propriedades do solo (LEHMANN et al., 2003), modificando suas propriedades físicas e químicas, e com isso alterando sua aptidão (LEMOS et al., 2009).

Das estruturas antrópicas na Amazônia, se discute a casualidade ou a intencionalidade de suas construções. Alterações da paisagem em áreas de inundação, como as que são descritas em Marajó denominadas de Tesos (*Mound-building*), correspondem a elevações no terreno que não se assemelham em comparação com as áreas ao redor, mas que sempre permaneciam acima do nível das enchentes no período chuvoso. Vários autores relatam a multifinalidade destes sítios, que teriam sido construídos com objetivos habitacionais, políticos, cerimoniais e para uso agrícola (MEGGERS; EVANS, 1954; ROOSEVELT, 2000; SCHAAN, 2001; ROOSEVELT, 2002; HECKENBERGER et al., 2003).

Outro marco na paisagem proveniente das ocupações humanas pré-colombianas são os sambaquis ou minas de sernambi (moluscos), estruturas arqueológicas cuja matriz estratigráfica é constituída predominantemente por conchas e demais materiais

malacológicos. Caracterizam-se por diversas formas, como ovais, achatadas, semiesféricas e alongadas possuindo dimensões variadas entre 2 e 30 metros de altura. Se formam pela deposição antrópica de exoesqueletos de moluscos, restos de vegetação, e de fogueiras, além das demais marcas da ocupação humana, como fragmentos cerâmicos e líticos e estruturas de habitação que se acumularam. Os sambaquis são encontrados na zona costeira desde o Rio Grande do Sul até o Amapá, e em sistemas fluvio-marinhas do interior, localizados próximos a rios, baías, manguezais e apicuns (SILVEIRA; SCHAAN, 2005). Os sambaquis da bacia Amazônica mais antigos datam de 8000 anos AP (PUGLIESE; ZIMPEL NETO; NEVES, 2018).

As civilizações sambaqueiras que habitaram a Amazônia eram caracterizadas como caçadores-coletores. Após uma mudança de tradição, decorrente do aumento das populações ou da escassez de recursos (ROSEVELT, 1991, 1994; COSTA et al., 2009), estes povos passam a utilizar com maior intensidade a agricultura de subsistência (NEVES, 2006). Provenientes das atividades destas e de outras formas de ocupação, tem-se como produto, solos com horizontes de cor escura, ricos em matéria orgânica (M.O) e de fertilidade elevada que caracterizam as Terra Preta de Índio (TPI) ou Terra Preta Arqueológica (TPA) (KAMPF; KERN, 2005). Formadas a partir do descarte de resíduos associados a atividades antrópicas sobre os solos pré-existentes, estes solos receberam incrementos nos teores de P, Ca, Mg, Zn, Mn e M.O, além da presença dos artefatos cerâmicos e líticos que caracterizam as TPI (LEHMANN et al., 2003; SCHAEFER et al., 2004; KERN et al., 2009; SOUZA, 2011).

Os sítios de terra preta, em decorrência do processo de pirólise em condições anóxicas, sofrido pelos materiais orgânicos depositados no solo, adquiriram características físicas e químicas mais recalcitrantes, que permitem a estas resistirem mais fortemente as insistentes investidas do intemperismo no ambiente tropical. Graças a esta condição foi possível preservar características como o elevado teor de nutrientes e de matéria orgânica (SMITH 1980; WOODS; McCANN, 1999; STEINER et al. 2004; ARAÚJO et al., 2015; SÖDERSTRÖM et al., 2013, 2016).

Outro solo variante da terra preta é a terra mulata, que se distingue por apresentar uma coloração menos escura, menor fertilidade e uma menor concentração de fragmentos cerâmicos em relação as TPI, e tem sua formação associada a áreas de ocupação menos intensa (SOMBROEK, 1966; KERN; KAMPF, 1989; WOODS; MCCANN 1999). Associa-se ainda a pouca presença de materiais culturais a um uso não relacionado a

habitação destes sítios, todavia ainda apresentam valores elevados de matéria orgânica (WOODS, 2009).

A distribuição dos sítios de terra preta na bacia Amazônica é registrada com maior frequência nas áreas de terra firme, mas também são observadas em áreas de várzea. As TPAs ocupam de 0,1 a 0,3% da área da bacia, cerca de 6.000 a 18.000 km<sup>2</sup> (SOMBROEK et al., 2003). Na ilha de Marajó, os principais registros de ocupação estão concentrados na parte leste da ilha, onde eram encontradas condições mais secas, e mais propícias as ocupações (COSTA et al., 2009).

Em termos de classificação, segundo Kämpf et al. (2003), as terras pretas possuem um horizonte A antrópico, sendo classificado no sistema brasileiro de classificação de solos (SIBCS) normalmente como Latossolos ou Argissolos (SANTOS et al, 2018), como Fimic Anthrosol (FAO Classification System), ou como Plagic ou Hortic Anthrosol (IUSS Working Group WRB, 2015).

A partir da percepção de que o estudo da distribuição das características físicas e químicas destes Arqueo-antropossolos poderia contribuir com a interpretação das antigas civilizações e do histórico de uso destes, além de contribuir para o desenvolvimento agrícola (LEHMANN et al., 2003), sua exploração do ponto de vista científico foi intensificada (WOODS, 2009). Entretanto, o estado da arte da pedoarqueologia referente a estes solos no Brasil se construiu com base em sítios do Baixo e Médio Amazonas, e de poucos sambaquis do Sudeste do país, sendo raros os trabalhos com esta abordagem nos sítios arqueológicos da ilha de Marajó, mesmo com os estudos arqueológicos que apontam para esta área como o berço de desenvolvimento de uma das principais culturas ceramistas da história, com assentamentos que ocupavam áreas de 10 a 20 km<sup>2</sup> (MEGGERS; EVANS, 1954, 1957; ROOSEVELT, 1991; SCHAAN; FERNANDO, 2004).

Tem-se argumentos arqueológicos a partir do estudo das ocupações da ilha, que possibilitaram a construção de um histórico de transição de fases (MEGGERS; EVANS, 1954, 1957), e o estudo pedoarqueológico destes sítios possibilitaria verificar as modificações antrópicas dos solos nos diferentes estágios de ocupação.

Neste trabalho, apresenta-se e discute-se os resultados da caracterização química, física, mineralógica, geoquímica e cronologia de arqueantropossolos da ilha de

Marajó e do município de Quatipuru, ambos localizados no estado do Pará, Amazônia Oriental. Os capítulos se dividem nos seguintes objetivos:

Capítulo 1: Realizar uma avaliação pedogeoquímica e mineralógica de perfis de arqueo-antropossolos (Terras pretas, Terras mulatas e Tesos) da ilha de Marajó-PA, na Amazônia Oriental, visando a compreensão dos seus processos de gênese, classificação, atributos pedológicos e a influência das suas diferentes características na separação destes solos.

Capítulo 2: Estudar por meio de uma caracterização pedogeoquímica, mineralógica e cronológica, o Sambaqui Porto da Mina, localizado no município de Quatipuru-PA, na Amazônia Oriental, visando a compreensão dos seus processos de gênese, seus diferentes atributos, classificação e a distribuição geoquímica dos elementos marcadores da ação antrópica na área do sambaqui.

## **CAPÍTULO 1**

### **GÊNESE, QUÍMICA E MINERALOGIA DE ARQUEO-ANTROPOSSOLOS DA ILHA DE MARAJÓ-PA: TERRAS PRETAS E TERRAS MULATAS**

## RESUMO

A ilha de Marajó, considerado o maior arquipélago estuarino fluvio-marinho do mundo, tem suas condições marcadas por forçantes climáticas da região, como a pluviometria, associado ao sistema de drenagem, e ação da marés. Quando se avalia estas características, tem-se a compreensão das condições que levavam as populações pré-colombianas a buscar elevações naturais do terreno para instalar seus assentamentos. O produto dessas e de outras alterações antrópicas impostas às paisagens naturais originou os Arqueo-antropossolos ou Antropossolos, como as Terras Pretas. Objetivou-se realizar uma avaliação pedogeoquímica e mineralógica de perfis de arqueo-antropossolos (Terras pretas e Terras mulatas) da ilha de Marajó-PA, na Amazônia Oriental, visando a compreensão dos seus processos de gênese, classificação, atributos pedológicos e a influência das suas diferentes características na separação destes solos. A área de estudo se localiza na ilha de Marajó, no estado do Pará. Foram coletados 4 perfis, sendo duas Terras Pretas (P03 e P04), uma Terra Mulata (P01), e um Teso (P02). As amostras foram submetidas as análises físico-químicas de rotina, fracionamento de P, difração de raio-X, digestão sulfúrica e dissolução seletiva de ditionito citrato bicarbonato e oxalato de amônio. Submeteu-se também os dados a Análise de componentes principais (PCA) visando sua separação em grupos a partir destes. Os Arqueo-antropossolos de Teso da Ilha de Marajó revelaram médias mais elevadas para P, K e Mn, enquanto as Terras Pretas apresentaram maiores médias de Ca, Mg e SB e CTC, indicando diferenças nas características químicas das Terras Pretas Arqueológicas em decorrência das diferentes fases de ocupação da ilha, retratados também na espessura dos horizontes e quantidade de artefatos ou fragmentos encontrados. As Terras Pretas Arqueológicas com características geoquímicas e físicas de maior semelhança, segundo a análise de componentes principais (PCA), foram P02 e P03, por apresentarem maior enriquecimento químico, em contraste com as demais Terras Pretas Arqueológicas da ilha de Marajó. Os componentes principais revelaram que entre as 55 testadas 27 variáveis influenciaram mais na explicação da variabilidade das TPIs, entre elas  $Al_2O_3$  ( $g\ kg^{-1}$ ) P total, P disponível,  $TiO_2$ , P ligado ao Fe,  $SiO_2$ , a fração silte, P ligado ao Al,  $Fe_2O_3$  e saturação por Al como as mais importantes para explicar a diferenciação entre os Arqueo-antropossolos de Marajó.

Palavras-chave: Modificações a paisagem. Pedoarqueologia. Solos antrópicos.

## ABSTRACT

The island of Marajó, considered the largest estuarine fluvial-marine archipelago in the world, has its conditions marked by climatic forces in the region, such as rainfall, associated with the drainage system, and the action of the tides. When these characteristics are evaluated, there is an understanding of the conditions that led pre-Columbian populations to seek natural elevations of the land to install their settlements. The product of these and other anthropogenic changes imposed on natural landscapes originated the Archeoanthrosols or Anthrosols, such as the Black Earths. The objective of this study was to carry out a pedogeochemical and mineralogical evaluation of profiles of archeo-anthrosols (Black Earths and Mulatto Earths) on the island of Marajó-PA, in the eastern Amazon, aiming at understanding their processes of genesis, classification, pedological attributes and the influence of their different characteristics in the separation of these soils. The study area is located on the island of Marajó, in the state of Pará. Four profiles were collected, two Black Earths (P03 and P04), one Mulatto Earth (P01), and one Mound-building (P02). The samples were subjected to routine physical-chemical analyzes, P fractionation, X-ray diffraction, sulfuric digestion and selective dissolution of dithionite citrate bicarbonate and ammonium oxalate. The data were also submitted to Principal Component Analysis (PCA) aiming at their separation into groups from these. The Archeo-anthrosols of Teso on the island of Marajó revealed higher averages for P, K and Mn, while the Black Earths showed higher averages of Ca, Mg and SB and CTC, indicating differences in the chemical characteristics of the Black Archaeological Earths due to the different phases of occupation of the island, also depicted in the thickness of the horizons and quantity of artifacts or fragments found. The Black Archaeological Earths with the most similar geochemical and physical characteristics, according to the principal component analysis (PCA), were P02 and P03, as they presented greater chemical enrichment, in contrast to the other Black Archaeological Earths on the island of Marajó. The main components revealed that among the 55 variables tested, 27 variables influenced more in explaining the variability of TPIs, among them  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{g kg}^{-1}$ ) P total, P available,  $\text{TiO}_2$ , P bound to Fe,  $\text{SiO}_2$ , the silt fraction, P linked to Al,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and saturation by Al as the most important to explain the differentiation between the Archeoanthrosols of Marajó.

Keywords: Changes to the landscape. Pedoarcheology. Anthropic soils.

## 1. INTRODUÇÃO

A região Amazônica possui um relevo, de forma geral, caracterizado pela predominância de terras baixas, resultado da sedimentação e do retrabalho da erosão nos ecossistemas intensificado pelas elevadas temperaturas e precipitação (SCHAEFER et al., 2017). Dentro deste contexto, tem-se a ilha de Marajó, considerado o maior arquipélago estuarino fluvio-marinho do mundo que tem suas condições marcadas por fortes climáticas da região, como a pluviometria, associado ao sistema de drenagem, e ação da maré (ROSSETTI et al., 2008a), resultando na maior área de gleissolos do Brasil.

Quando se avalia estas características, tem-se a compreensão das condições que levavam as populações pré-colombianas a buscar elevações naturais do terreno para instalar seus assentamentos. No que se refere ao posicionamento destes sítios na paisagem, a literatura mostra que cerca de 80% se encontra em áreas entre 5 e 25 metros de elevação em relação ao afluente mais próximo (KERN et al., 2003, 2009), fato este que não se deu de forma diferenciada nos assentamentos da ilha de Marajó. Produtos do processo de abertura da baía de Marajó e consequente separação da ilha do continente, e da tectônica quaternária tardia, os paleocanais criaram diques de deposição sedimentar (ROSSETTI et al., 2008a), que estão associados as áreas com maior densidade de assentamentos na ilha, como a região do Lago Arari (ROOSEVELT et al., 1991).

A vegetação herbácea de campos naturais ou savanas amazônicas que predominam na parte leste da ilha (ROSSETTI, 2010; ROSSETTI et al., 2008b), tem sua hegemonia quebrada por marcos no cenário natural. Alterações da paisagem denominadas de Tesos (*Mound-building*), encontram-se em elevações que não se assemelham com as áreas ao redor, mas que sempre permanecem acima do nível das enchentes no período chuvoso. Os primeiros relatos científicos destas estruturas foram realizados por Ferreira Penna em 1870, as margens do lago Arari, rendendo uma coleção de peças arqueológicas depositadas no Museu Nacional do Rio de Janeiro, as quais podem ter sido perdidas no incêndio deste museu em 2019. O levantamento mais detalhado da distribuição destes tesos foi realizado por Meggers e Evans (1957) que identificaram e descreveram os sítios e separaram estes em diferentes fases de ocupação da ilha.

Os Tesos marajoaras constituem longas elevações, salientando-se sobre a planície, e segundo Meggers e Evans (1954) foram construídos a partir do transporte de solo carregado e depositado formando os Tesos. Estes teriam sido construídos com

finalidades habitacionais, políticas, cerimoniais e para uso agrícola (MEGGERS; EVANS, 1954; ROOSEVELT, 2000; SCHAAN, 2001; ROOSEVELT, 2002; HECKENBERGER et al., 2003; SCHAAN, 2009, 2010). Se contrapondo a teoria de origem antrópicas destas estruturas, um estudo partindo de dados de geomorfologia, sedimentologia e sensoriamento remoto, propôs que os tesos seriam produto da deposição de sedimentos através de paleocanais, e que o acúmulo destes materiais gerariam os depósitos conhecidos como Tesos, posteriormente ocupados pelos assentamentos (ROSSETTI; GÓES; TOLEDO, 2009). Um destaque deve ser dado ao fato de que nenhum trabalho com abordagem pedológica foi realizado nestes sítios, e que um estudo que possibilitasse avaliar a existência ou não de relação pedogenética entre esse material contribuiria para a compreensão do seu processo de origem, fosse ela natural ou antrópica.

O que se tem como fato é que o produto destas ocupações e das alterações antrópicas impostas às paisagens naturais originou os Arqueo-antropossolos ou Antropossolos, como as Terras Pretas, fruto de intervenções humanas por meio de processo de deposição e acúmulo de materiais.

Os mapas de localização disponíveis de solos antrópicos e de sítios arqueológicos, indicam manchas próximas a grandes rios, centros populacionais e áreas de forte exploração agrícola como a fronteira da soja em Santarém-Belterra (NIMUENDAJÚ, 2004; STENBORG et al., 2012; SÖDERSTRÖM et al., 2013; McMICHAEL et al., 2014). Em Marajó especificamente, desde os levantamentos feitos por Hilbert (1952), já se alertava para a destruição dos sítios pela erosão, e pelo pisoteio de animais que utilizam estes como refúgio no período chuvoso, o que ressalta a importância da pesquisa nestes solos, principalmente antes que suas características sejam perdidas pela exploração atual.

Diante disto, objetivou-se realizar uma avaliação pedogeoquímica e mineralógica de perfis de arqueo-antropossolos (Terras pretas e Terras mulatas) da ilha de Marajó-PA, na Amazônia Oriental, visando a compreensão dos seus processos de gênese, classificação, atributos pedológicos e a influência das suas diferentes características na separação destes solos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da área de estudo e amostragem

A área de estudo se localiza na ilha de Marajó, no estado do Pará, na Amazônia Oriental. A ilha é caracterizada como a maior do arquipélago de Marajó. Seu território é de 40.100 km<sup>2</sup>. A ilha é do tipo fúlvio-marinha, e considerada a maior com estas características do mundo. É cercada ao sul pelo rio Pará, ao leste pelo rio Tocantins, ao norte pelo oceano Atlântico e a oeste pela foz do rio Amazonas (BRASIL, 2007). Seus distintos geoambientes, assim como as paisagens da Amazônia moderna, tem suas diferentes características atreladas as mudanças climáticas do Pleistoceno e Holoceno tardios, eventos tectônicos e a elevações do nível do mar (FRANCISQUINI et al., 2014).

De forma geral, o clima da região é do tipo Af, quente, tropical e úmido. Observa-se uma estação chuvosa que compreende os meses de dezembro a maio, caracterizada pelo alagamento dos campos no leste da ilha, enquanto a não chuvosa compreende os meses de junho a novembro. Historicamente a ilha possui alturas pluviométricas entre 2000 e 3000 mm ano<sup>-1</sup> (SOUZA; AMBRIZZI, 2003; AMANAJÁS; BRAGA, 2013).

A estrutura geológica é formada pelo arco de Gurupá, que separa a bacia do Marajó do Amazonas (bacia Amazônica inferior) (BRASIL, 1974; SCHOBENHAUS et al., 2004). De forma geral, a estratigrafia da região é datada do Quaternário, e é composta por coberturas sedimentares recentes, constituída por depósitos aluviais de diferentes granulometrias e origens, estes depósitos formam as planícies aluviais da Amazônia.

Em sua porção oriental a ilha é coberta por depósitos miocênicos da Formação Barreiras, e por depósitos plio-pleistocenicicos, denominados de sedimento pós-Barreiras. Sendo os sedimentos do Barreiras formados por arenitos, argilitos e pelitos originados de ambiente transicional estuarino (ROSSETTI; TRUCKENBRODT, 1989; ROSSETTI et al., 2001). Os sedimentos Pós-Barreiras tem sua origem atrelada a dois processos, eólicos e gravitacionais sendo descritos como arenitos finos e de coloração amarelada transportados para estas áreas (ROSSETTI; TRUCKENBRODT, 1989; ROSSETTI et al., 2001), mas também são associados a degradação de crostas ferruginosas lateríticas (COSTA, 1991; HORBE; COSTA, 1997). A espessura dos sedimentos Pós-Barreiras são

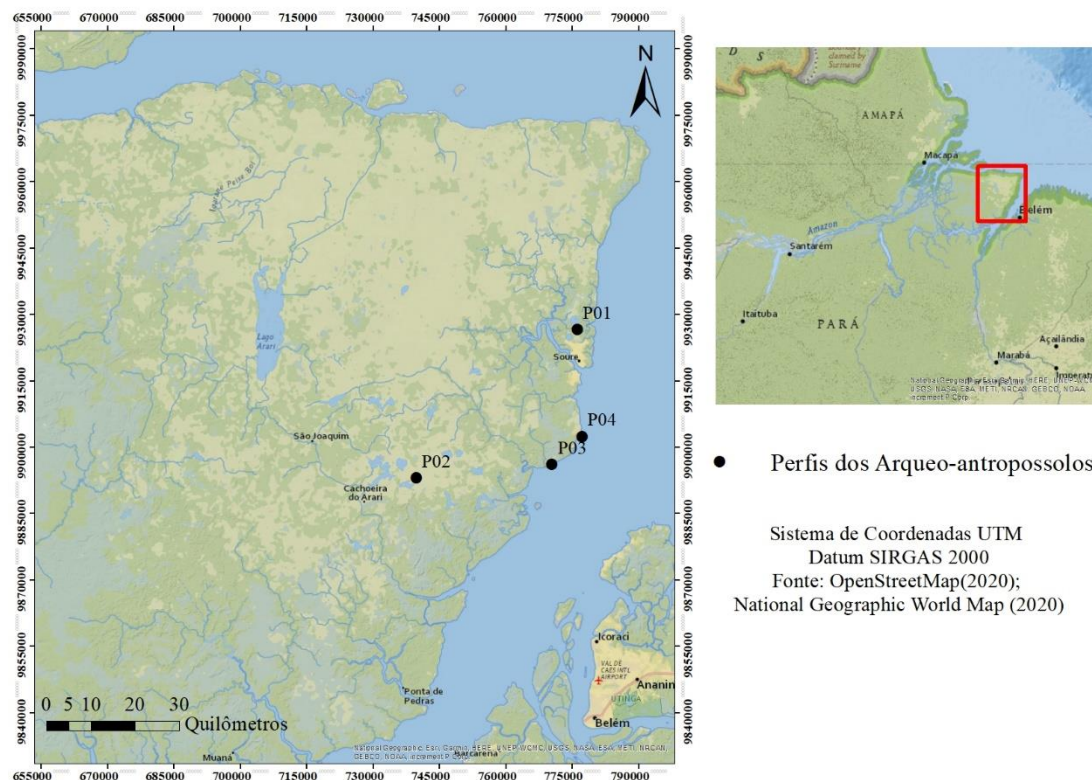
variáveis, sendo observados ocorrências de 120 m (ROSSETTI; VALERIANO; THALES, 2007).

Os solos que predominam no território da ilha são definidos pela dinâmica dos geoambientes. Nos limites dos paleocanais, e planícies de inundação planas estão presentes os solos hidromórficos, Gleissolos (BRASIL, 2007), enquanto nas áreas não inundadas com vegetação de cerrado arbóreo, observasse solos constituídos de material caulinitico, com mosqueados e concreções, os Plintossolos (FRANCISQUINI et al., 2014), mas também são encontrados os Latossolos sobre material laterítico em decomposição, Argissolos e os solos antrópicos.

Foram coletados 4 perfis na ilha de Marajó, sendo duas Terras Pretas (P03 e P04), nos municípios de Salvaterra e Joanes, respectivamente; uma Terra Mulata (P01) em Soure; e um Teso (P02) em Cachoeira do Arari. O P02 foi coletado no sítio Cuieiras (PA-JO-59) descrito inicialmente por Hilbert (1952) como um Teso cemitério com uma altura máxima de 3 metros. Foram coletadas 20 urnas antropomórficas na escavação inicial de Hilbert, e a partir de suas características definiu-se como pertencente a fase marajoara da ocupação. De acordo com o levantamento realizado por Meggers e Evans (1957) sua posição seriada, o caracterizaria como mais antigo Teso cemitério de Camutins.

Foram coletadas amostras em cada horizonte dos perfis selecionados nos sítios para a realização de análises químicas, físicas e mineralógicas. Especificamente no P02 as amostras foram coletadas a cada 10 cm, com o auxílio do trado, visando verificar heterogeneidade de material na composição do solo.

A localização dos perfis, bem como a área de estudo de modo geral podem ser observadas na Figura 1.



**Figura 1:** Localização das áreas de estudo, região leste da ilha de Marajó, perfis coletados de Terra Preta e Mulata e o Teso Cuieiras. Fonte: OpenStreetMap (2020); National Geographic World Map (2020).

## 2.2. Procedimentos analíticos de caracterização química, física e mineralógica

As amostras compostas dos perfis foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm para a obtenção da fração terra fina seca ao ar (TFSA). As amostras foram submetidas a análises de acordo com as metodologias descritas em Teixeira et al. (2017). Foram determinados pH em água e KCl na suspensão solo:solução 1:2,5 com o pHmetro. P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu, Cd, Pb, Ni e Cr trocáveis a partir do extrator Mehlich-1. O P foi determinado por espectrofotometria, e os demais elementos por fotômetro de chama.  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  foram extraídos com KCl ( $1 \text{ mol L}^{-1}$ ) e determinados por espectrofotômetro de absorção atômica. H + Al a partir do extrator Acetato de Cálcio ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ) em pH 7,0. Para a determinação do carbono orgânico (CO) foi utilizado o método de Walkley-Black modificado. A partir destes resultados se obteve os seguintes índices: somas de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica efetiva – CTC (t), capacidade de troca catiônica total – CTC (T) a pH 7,0, saturação por alumínio (m%), saturação por bases (V%) e ISNa - Índice de Saturação por Sódio.

Realizou-se uma extração sulfúrica dos seguintes elementos: Al ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Fe ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Ti ( $\text{TiO}_2$ ), K, Ca, P, Na e Mn da fração TFSA. As amostras foram submetidas a digestão conforme Teixeira et al. (2017). O Si ( $\text{SiO}_2$ ) foi determinado a partir da sílica residual, após a digestão sulfúrica da TFSA o material retido em filtro foi solubilizado a partir de uma digestão alcalina com NaOH a 30%. Os teores dos elementos Al, Fe, Ti, K, Ca, P, Na e Mn foram obtidos a partir de espectrofotometria de emissão ótica em plasma induzido (ICP-OES) e o Si por espectrofotometria de absorção atômica. A partir dos resultados calculou-se os índices Ki e Kr.

A fração TFSA foi submetida a dispersão com NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  conforme Teixeira et al. (2017) quando os solos não apresentavam elevado pH e nem a presença de carbonatos. Quando os solos apresentavam as características citadas, utilizou-se uma mistura de Hexametáfosfato de Sódio e NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  conforme Camargo et al. (2009). Após a dispersão mecânica e química realizou-se a separação da fração areia por peneiramento na malha de 0,053 mm e as frações argila e silte foram separadas pelo método do sifão. Posteriormente procedeu-se a determinação das frações granulométrica areia grossa, areia fina, silte e argila das amostras.

O mesmo procedimento para a separação das frações anteriormente descrito foi realizado para obtenção do material para análise mineralógica. Procedeu-se ainda a eliminação da matéria orgânica com NaClO 10%. As frações areia e silte foram preparadas em lâminas escavadas para a análise mineralógica, e a argila foi montada em lâminas orientadas.

A fração argila dos solos também foi submetida a três extrações sucessivas por Ditionito Citrato Bicarbonato (MEHRA; JACKSON, 2013) e extração única com oxalato de amônio (MCKEAGUE; DAY, 1966) para a obtenção dos teores de Fe, Al, Si e Mn. A quantificação dos valores foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica.

Quando se fez necessário, para a identificação de minerais 2:1, as amostras da fração argila foram submetidas a quatro tratamentos conforme descrito em Teixeira et al. (2017): saturação com  $\text{MgCl}_2$  ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ), solvatação com etilenoglicol e  $\text{MgCl}_2$  ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ), saturação com KCl ( $1 \text{ mol L}^{-1}$ ) e posterior aquecimento destas lâminas a 350 e 550 °C.

As amostras foram submetidas a análise por difratometria de raios X (DRX) no aparelho Panalytical X'Pert PRO (radiação  $\text{CoK}\alpha$ ). Os padrões de difração de raios X

foram coletados entre 4 e  $70^\circ 2\theta$ , a uma velocidade de varredura de  $1^\circ 2\theta \text{ min}^{-1}$ , com um potencial gerador de 40 kV e um gerador de corrente de 40 mA.

Realizou-se o fracionamento sequencial do Fósforo inorgânico (Pi) conforme procedimentos propostos por Chang e Jackson (1957). Para a obtenção dos valores de Pi facilmente solúvel, ou ligado à água (Pi-H<sub>2</sub>O), Pi ligado ao Alumínio (Pi-Al), Pi-ligado ao Ferro (Pi-Fe) e Pi ligado ao Cálcio (Pi-Ca) procedeu-se a quantificação por espectrofotometria de emissão ótica em plasma induzido (ICP-OES).

Por fim, para a realização de análises de estatística multivariada por meio de uma Análise de Componentes Principais (PCA) dos dados utilizou-se 55 variáveis entre características físicas, químicas e geoquímicas dos perfis visando sua separação em grupos a partir destas. Para a realização da análise e produção de gráficos utilizou-se o software R (R CORE TEAM, 2019).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Características gerais dos perfis e classificação

A presença de modificações antrópicas nos solos, mesmo que em diferentes intensidades, foi verificada em todos os perfis estudados (Tabela 1). Apesar destes se encontrarem em distintos geoambientes da ilha, como por exemplo sob influência de florestas secundárias, cordões arenosos, e as margens de rios, a generalidade das intervenções antrópicas nos solos de Marajó é perceptível, e sua distribuição nas classes de Argissolos a Neossolos reflete isto.

**Tabela 1:** Localização e classificação dos perfis de Antropossolos.

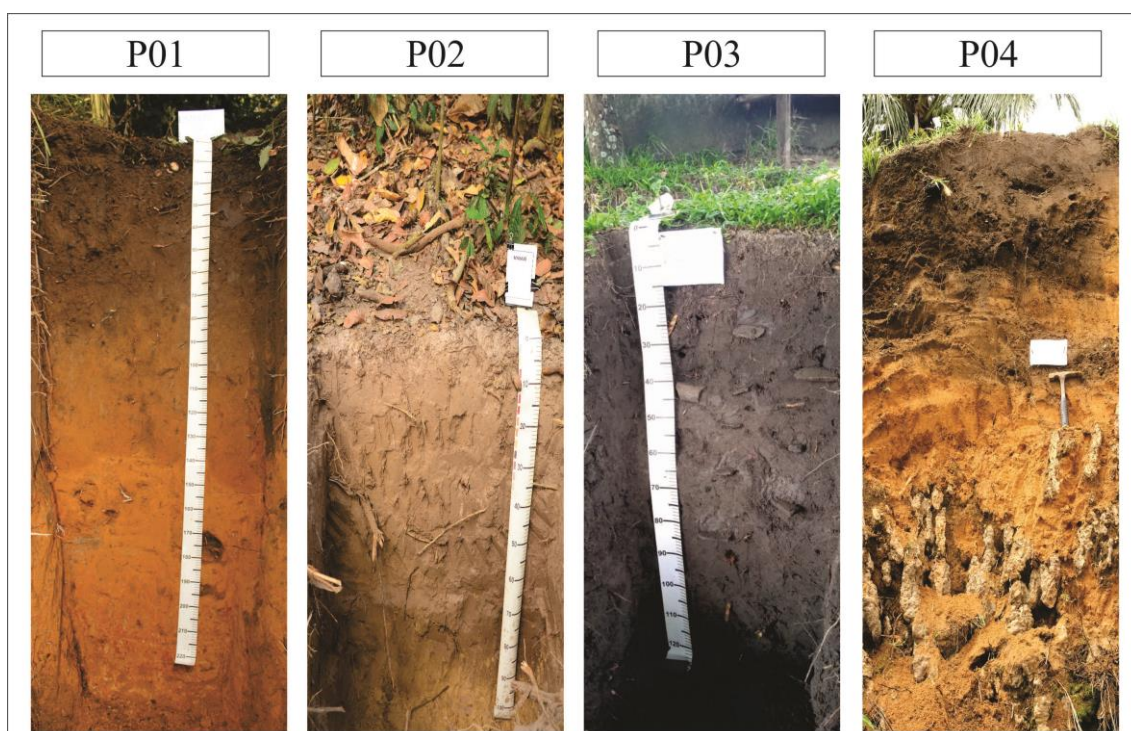
Perfil – Cod. projeto	Localização geográfica	Classificação		Descrição geral
		SIBCs <sup>1</sup>	LCA <sup>2</sup>	
P01 - MJ7	776233 leste 9926616 norte	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico	Arqueoantopossolo Ágrico ebânico, franca, dístrico, lépico, ferrálico	Perfil descrito em floresta aberta secundária de palmeiras, com predominância de tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> ) e Inajá ( <i>Attalea maripa</i> ). Área sob Barreiras Terciário/Quaternário. Sítio arqueológico com carvão extremamente abundante em Ap, comuns em AB, e raras até Bt1. Abundantes galerias de fauna até Bt3 com preenchimento destas galerias com material escuro. Presença de fragmentos cerâmicos na área.
P02 - MJ15	739816 leste 9893105 norte	NEOSSOLO Quartzarenico Órtico típico	Arqueoantopossolo Mesotrófico cinzento, arenosa, cumúlico	Perfil descrito em sítio de Teso. Área de vegetação primária de capão de tucumã ( <i>Astrocaryum aculeatum</i> ), sobre cordão arenoso. Relevo regional plano e boa drenagem. Foram encontrados fragmentos cerâmicos em 30, 50 e 60 cm.
P03 - MJ16	770488 leste 9896155 norte	NEOSSOLO Quartzarenico Órtico típico	Arqueoantopossolo Mesotrófico cinzento, arenosa, mésico	Perfil descrito nas margens do Rio Camará. Área sob material do Barreiras. Relevo regional plano, bem drenado. Presença abundante de cerâmicas e carvão ao longo de todo o perfil.
P04 - MJ17	777224 leste 9902445 norte	ARGISSOLO AMARELO Eutrófico abruptico	Arqueoantopossolo Mesotrófico Crômico, mésico, arenosa, ferrálico	Perfil descrito em escarpa costeira na região de missões jesuítas de Joanes. Próximo a sítio arqueológico. Relevo plano delimitado por escarpa costeira. Material do Barreiras superior com canga. Presença de cerâmica e carvão comuns e de couraça degradada com material média, granular no entremeio.

<sup>1</sup> Sistema Brasileiro de Classificação de Solos; <sup>2</sup> Legenda de Classificação Arqueopedológica.

As terras pretas tem tido sua ocorrência registrada em diversas classes de solos, entretanto a adequação dos sistemas tradicionais de classificação pedológica, tem se demonstrado pouco eficientes na classificação e distinção dos diferentes antropossolos (KÄMPF et al., 2009). Dentro desta perspectiva a Legenda de Classificação Arqueopedológica (LCA) tem se proposto como alternativa a classificação dos solos antrópicos. Os perfis estudados foram classificados como Ágricos a Mésicos refletindo as diferenças de fertilidade entre estes. A coloração, também critério de distinção entre

os níveis categóricos da LCA, variou entre ebânico, cinza e crômico nos perfis estudados, provavelmente produto dos diferentes processos de deposição dos sítios e da influência dos materiais de origem.

Os perfis estudados tem sua morfologia marcada pela presença de fragmentos cerâmicos, principalmente P02 e P03 (Figura 2). O perfil P04 apresenta as principais modificações morfológicas, como cor preta e presença de fragmentos cerâmicos, restritas ao horizonte antrópico (0-35 cm) e o de transição (35-65 cm).



**Figura 2:** Perfis de Arqueo-antropossolos coletados na ilha de Marajó. Fonte: Jordans, 2018.

Não foram encontrados fragmentos cerâmicos na matriz do P01, apenas alguns vestígios nas proximidades, caracterizando-se como Terra Mulata, que apresenta pouco ou nenhum artefato, e que segundo alguns autores pode ter sua origem ligada a agricultura intensiva, ou semi-intensiva (SOMBROEK, 1966; DENEVAN, 1996, 2002; GLASER et al., 2001). Esse mesmo horizonte teve presença abundante de carvão no Ap (0-20 cm), comum em AB e raras em Bt1, que pode ser originado do processo de “queima fria”, comum as Terras Mulatas, em que o material vegetal é queimado ainda úmido, resultando em combustão incompleta. Essa prática, associada ao processo de pirólise seria o responsável pela maior estabilidade da matéria orgânica nos solos (GLASER et al., 2001; DENEVAN, 2002), e a presença abundante de galerias de fauna até Bt3 (140-190 cm)

preenchidas com material escuro, que pode ser o veículo de distribuição da coloração mais escura observada nas camadas superiores do solo.

### 3.2. Caracterização morfológica e física dos perfis

A cor dos horizontes antrópicos variou entre 2.5Y 3/1 a 10YR4/3 (Tabela 2) se enquadrando na coloração descritas por Kämpf e Kern (2005). Este é um dos atributos de maior importância na identificação dos antropossolos e na separação dos horizontes, tanto no SIBCs (SANTOS et al., 2017), como na LCA (KÄMPF et al., 2009). Sua recalcitrância está ligada a maior presença de componentes da fração húmica e ácidos húmicos da matéria orgânica associados a carvão pirogênico (biochar) (GLASER et al., 2001; LEHMANN et al., 2003). Já os horizontes subsuperficiais variaram a coloração entre 5YR4/3 a 7YR5/6, condizentes com as matrizes vermelho amareladas dos materiais de origem provenientes de sedimentos Pós-Barreiras.

Observou-se também nos perfis P01 e P04 a presença de horizontes transicionais em que se nota processos de eluviação da matéria orgânica intensificada por ação de bioturbação, por exemplo raízes e pedofauna carreando partículas de M.O em profundidade, assim como encontrado por Miranda (2018).

**Tabela 2:** Propriedades morfológicas e físicas dos Arqueo-antropossolos da ilha de Marajó.

Hor.	Camada	Cor úmida	Estrutura	Transição	A. grossa	A. fina	Silte	Argila	Classe textural
Símb.	(m)	Munsell			g kg <sup>-1</sup>				
<b>P01 Marajó - ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico</b>									
Ap	0,0 - 0,15/20	10YR 2/2	2, m, gr	ond e gra	320	370	170	150	Franco-Arenosa
AB	0,15/20 - 0,6	10YR 3/3	1, m, sb	ond e gra	280	350	150	220	Franco-Argilo-Arenosa
BA	0,6 - 0,7	10YR 3/3	2, m, sb	ond e gra	260	330	170	240	Franco-Argilo-Arenosa
Bt1	0,7 - 1,10	7.5YR 4/6	2, m/g, sb	ond e cl	270	360	140	230	Franco-Argilo-Arenosa
Bt2	1,10 - 1,40	5YR 4/3	2, m/g, sb	ond e gra	260	350	150	240	Franco-Argilo-Arenosa
Bt3	1,4 - 1,9	5YR 5/8	2, m/g, sb	ond e abr	240	320	140	300	Franco-Argilo-Arenosa
Cpl	1,9 - 2,30 +	5YR 5/9	2/3, m/g, sb	-	210	300	130	360	Argilo-Arenosa
<b>P02 Marajó - NEOSSOLO Quartzarenico Órtico típico</b>									
A	0,0 - 0,21	2.5Y5/2	1, p/m, sb	ond e gra	10	810	50	150	Franco-Arenosa
CA	0,21 - 0,65	2.5Y5/4	sg	pl e gra	10	830	30	140	Franco-Arenosa
C	0,65 - 1,00+	2.5Y7/6	sg	pl e gra	00	850	20	130	Areia Franca
Au	0,21 - 0,90	2.5Y4/3	sg	ir e gra	10	830	20	140	Franco-Arenosa
<b>P03 Marajó - NEOSSOLO Quartzarenico Órtico típico</b>									
Ap1	0,0 - 0,15/18	10YR 3/2	sg	ond e cl	620	270	50	70	Areia Franca
Ap2	0,15/18 - 0,40	10YR 2/2	1, p, sb	pl e dif	620	220	70	90	Areia Franca
Ap3	0,40 - 0,70	10YR 3/2	1, p, sb	pl e dif	520	240	90	150	Franco-Arenosa

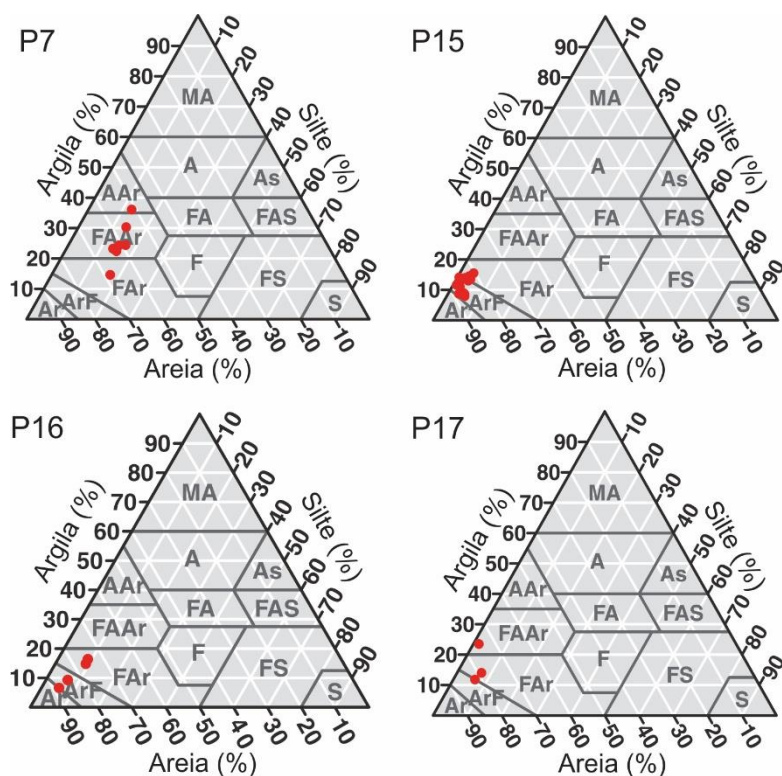
AC	0,70 - 1,2 +	10YR 3/3	1, p, sb	-	490	260	90	160	Franco-Arenosa
P04 Marajó - ARGISSOLO AMARELO Eutrófico abrupção									
Ap	0,0 - 0,35	10YR 4/3	3, p/m, gr	ond e cl	340	480	60	120	Areia Franca
BA	0,35 - 0,65	10YR 4/4	1/2, m, gr/sb	ond e cl	360	430	70	140	Franco-Arenosa
Bt	0,65 - 120 +	7.5YR 5/6	1/2, m, gr/sb	-	420	330	20	240	Franco-Argilo-Arenosa

Estrutura: 1 – fraca, 2 – moderada, 3 – forte; ond – ondulada; gra – gradual; cl – clara, abr – abrupta, pl – plana, dif – difusa, ir – irregular, p – pequena, m – média; g – grande; gr – granular, sb – blocos subangulares, gs – grãos simples.

Nos horizontes antrópicos a predominância de texturas foi de franco-arenosa a areia franca, enquanto nos horizontes subsuperficiais ocorre um pequeno incremento nas frações mais finas. Os resultados diferem dos encontrados por Lima et al. (2002), Miranda (2018) e Santos et al. (2018), que encontraram solos antrópicos de textura variando de Franco-argilo-arenosos a muito argilosos. Tais resultados se assemelham mais com os encontrados por Macedo et al. (2019) que identificaram predominância das frações areia fina e silte, estes últimos atribuíram seus resultados a característica deposicional do material. Na ilha de Marajó os demais relatos de perfis antrópicos também retratam teores de areia de até 860 g kg<sup>-1</sup> em um Neossolo Quartzarênico órtico antropogênico (IDESP, 1974).

Outra questão a ser considerada é a perda de argila dos horizontes superficiais antrópicos pela exploração atual, causando sua translocação para horizontes subsuperficiais (MIRANDA, 2018). Macedo et al. (2019) apontam ainda a criação de partículas organometálicas de alta estabilidade e tamanho na faixa da fração areia a partir da exposição da matéria orgânica ao uso do fogo. Esta ligação dificultaria a dispersão das partículas individuais e contribuiria para as frações granulométricas mais grossas.

A menor variação das frações granulométricas entre horizontes nos perfis foi observada no P02 (Figura 3), sendo a fração areia homogeneamente predominante. De acordo com Rossetti et al. (2009) avaliando a sedimentologia de Tesos do Marajó em sondagens de até 14 metros, o material é formado predominantemente por depósitos heterolíticos mais arenosos e faixas finas ou lentes de areias bem classificadas, siltosas a finas e lama cinza. Os Tesos de forma geral são formados por areia, podendo ser observado mistura de outros sedimentos em profundidades entre 2 e 3 m, mas podendo chegar a 20 m (ROOSEVELT, 1991; ROSSETTI; GÓES; TOLEDO, 2009), o que explica a mínima variação granulométrica encontrada na profundidade de 1,8 m avaliada neste estudo.



**Figura 3:** Distribuição das classes texturais nos horizontes dos perfis no triangulo textural conforme a classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018).

### 3.3.Características químicas

No que diz respeito às características químicas dos perfis analisados, os teores disponíveis podem ser observados na Tabela 3, as quais foram avaliadas conforme Ribeiro et al. (1999), e pode-se verificar a influência dos assentamentos humanos nos horizontes antrópicos e sua influência nos demais horizontes. Os valores de pH em água variaram de 4,59 (acidez elevada) a 5,62 (acidez média) nos horizontes antropicos, havendo tendência de redução da acidez nos horizontes subsuperficiais, principalmente nos perfis P01 e P04, ainda assim tais valores são consideradas baixa do ponto de vista agronômico.

**Tabela 3:** Caracterização químicas dos Aqueo-antropossolos da ilha de Marajó/PA, Amazônia oriental.

Hor.	pH			P mg kg <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	CO g kg <sup>-1</sup>	P-rem mg L <sup>-1</sup>	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cd	Pb
	H <sub>2</sub> O	KCl	ΔpH																							
<b>P01 Marajó</b>																										
Ap	5,1	3,87	-1,2	5,40	0,14	0,01	2,85	0,67	0,66	9,40	3,67	4,33	13,07	28,10	15,20	0,07	25,41	28,8	0,6	6,5	131,8	1,5	0,3	0,7	0,0	0,9
AB	4,91	3,81	-1,1	1,50	0,02	0,00	0,43	0,14	1,61	6,90	0,59	2,20	7,49	7,90	73,20	0,00	9,26	17,1	0,5	1,5	159,2	5,2	0,4	0,7	0,0	1,3
BA	4,85	3,82	-1,0	0,80	0,02	0,00	0,3	0,09	1,61	6,20	0,41	2,02	6,61	6,20	79,70	0,00	8,45	16,4	0,5	1,3	122,4	3,1	0,4	0,6	0,0	1,3
Bt1	4,87	3,87	-1,0	0,60	0,01	0,00	0,24	0,05	1,61	4,40	0,30	1,91	4,70	6,40	84,30	0,00	4,63	15,7	0,5	1,9	142,9	0,9	0,7	0,8	0,0	1,4
Bt2	4,88	3,84	-1,0	0,40	0,01	0,00	0,28	0,06	1,89	3,10	0,35	2,24	3,45	10,10	84,40	0,00	2,31	24,9	0,5	0,4	39,4	0,9	0,4	0,5	0,0	1,6
Bt3	4,88	3,75	-1,1	0,40	0,01	0,00	0,21	0,05	1,89	3,40	0,27	2,16	3,67	7,40	87,50	0,00	1,56	22,4	0,2	0,1	19,9	0,8	1,1	0,6	0,0	0,0
Cpl	4,85	3,72	-1,1	0,50	0,01	0,00	0,2	0,05	2,46	3,90	0,26	2,72	4,16	6,20	90,40	0,00	1,56	15,7	0,2	0,1	29,7	0,3	1,0	0,6	0,0	0,1
<b>P02 Marajó</b>																										
0,0 - 0,1	4,59	3,45	-1,1	313,9	0,35	0,00	0,91	0,19	0,95	6,9	1,45	2,4	8,35	17,4	39,6	0	10,76	37,3	1,53	27,7	121,8	3,2	1,0	0,65	0,1	0
0,1 - 0,2	4,67	3,48	-1,2	344,1	0,37	0,00	0,91	0,18	0,85	6,9	1,46	2,31	8,36	17,5	36,8	0	9,26	41,4	1,44	42,5	98,2	6,5	1,0	0,73	0	0
0,2 - 0,3	4,99	3,6	-1,4	681,3	0,41	0,02	1,52	0,22	0,76	7,3	2,17	2,93	9,47	22,9	25,9	0,19	8,45	37,3	1,73	50,3	100,4	19,2	1,2	0,93	0	0
0,3 - 0,4	5,21	3,77	-1,4	1230,4	0,36	0,05	2,3	0,39	0,47	7,2	3,1	3,57	10,3	30,1	13,2	0,51	6,94	39,1	2,41	36,3	113,2	32,4	1,2	1,15	0	0
0,4 - 0,5	5,17	3,83	-1,3	1017,8	0,27	0,04	2,35	0,52	0,38	6,4	3,19	3,57	9,59	33,3	10,6	0,46	8,45	41	2,5	20,2	102,1	26,7	1,2	1,07	0	0
0,5 - 0,6	5,14	3,87	-1,3	852,9	0,19	0,07	2,4	0,51	0,28	5,9	3,17	3,45	9,07	35	8,1	0,78	6,13	39,7	2,29	23,7	97,7	19,6	1,3	0,85	0	0
0,6 - 0,7	5,29	3,98	-1,3	703,7	0,17	0,01	2,19	0,48	0,19	5,1	2,85	3,04	7,95	35,8	6,2	0,12	6,13	43,6	1,79	32,7	87,3	15,5	1,2	0,77	0	0
0,7 - 0,8	4,97	4,00	-1,0	702,3	0,12	0,07	1,53	0,6	0,19	5,1	2,31	2,5	7,41	31,2	7,6	0,94	4,69	42,5	1,98	22,3	145,4	9,8	0	0,45	0,3	0
0,8 - 0,9	5,13	4,07	-1,1	541,6	0,10	0,05	1,69	0,55	0,19	4,8	2,4	2,59	7,2	33,3	7,3	0,72	3,88	39,4	1,64	16,8	114,7	7,9	0	1,09	0,4	0
0,9 - 1,0	5,33	4,09	-1,2	452,6	0,11	0,00	1,49	0,49	0,19	4,8	2,09	2,28	6,89	30,3	8,3	0	3,88	45,1	1,3	11,0	84,9	7,0	0	0,80	0,4	0,2
1,0 - 1,1	5,34	4,10	-1,2	518,2	0,14	0,00	1,48	0,44	0,19	4,4	2,06	2,25	6,46	31,9	8,4	0	3,88	42,8	1,43	10,8	108,1	5,5	0	0,69	0,4	0,09
1,1 - 1,2	5,47	4,14	-1,3	483,2	0,14	0,00	1,47	0,4	0,19	4,1	2,01	2,2	6,11	32,9	8,6	0	1,56	46,4	1,54	7,0	139,0	4,1	0	0,59	0,4	0,17
1,2 - 1,3	5,51	4,16	-1,4	488,7	0,15	0,00	1,48	0,4	0,19	3,9	2,03	2,22	5,93	34,2	8,6	0	3,13	47,3	1,39	7,2	117,3	3,6	0	0,72	0,4	0,34
1,3 - 1,4	5,57	4,17	-1,4	405,1	0,15	0,00	1,43	0,33	0,19	3,6	1,91	2,1	5,51	34,7	9	0	2,31	47,2	1,24	5,6	110,0	2,6	0,1	0,79	0,4	0,62
1,4 - 1,5	5,53	4,17	-1,4	352,1	0,16	0,00	1,42	0,28	0,19	3,4	1,86	2,05	5,26	35,4	9,3	0	1,56	49	1,16	5,6	114,7	1,6	0,2	1,08	0,4	0,38
1,5 - 1,6	5,46	4,17	-1,3	410	0,16	0,00	1,45	0,3	0,19	3,6	1,91	2,1	5,51	34,7	9	0	1,56	46,9	1,19	9,4	144,0	1,7	0,1	1,17	0,3	0,5
1,6 - 1,7	5,37	4,24	-1,1	505,4	0,17	0,02	1,52	0,27	0,19	3,3	1,98	2,17	5,28	37,5	8,8	0,33	1,56	47,3	1,29	12,3	225,1	1,8	0,4	1,37	0,4	0,68
1,7 - 1,8	5,29	4,21	-1,1	399,2	0,18	0,07	1,54	0,32	0,19	3,1	2,11	2,3	5,21	40,5	8,3	1,34	0,75	48	1,16	8,6	179,9	1,4	0,0	0,83	0,4	0,63

Legenda: P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Cd - Pb - Ni - Cr - Extrator Mehlich-1; Ca<sup>2+</sup> - Mg<sup>2+</sup> - Al<sup>3+</sup> - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; SB = Soma de Bases Trocáveis; t - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva T - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V= Índice de Saturação por Bases; m= Índice de Saturação por Alumínio; ISNa - Índice de Saturação por Sódio; CO (Carbono Orgânico) -Walkley-Black;

**Tabela 3:** Continuação.

Hor (m)	pH			P mg kg <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m %	ISNa	CO g kg <sup>-1</sup>	P-rem mg L <sup>-1</sup>	Cu	Mn	Fe	Zn Cr Ni Cd Pb mg kg <sup>-1</sup>				
	H <sub>2</sub> O	KCl	ΔpH																			cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				
<b>P03 Marajó</b>																										
Ap1	5,48	4,74	-0,7	63,60	0,14	0,00	3,29	0,36	0,00	3,30	3,79	3,79	7,09	53,5	0,0	0,0	10,88	49,1	1,9	33,9	82,5	8,0	0,0	1,0	0,5	29,8
Ap2	5,46	4,33	-1,1	306,20	0,05	0,01	3,14	0,43	0,00	4,80	3,63	3,63	8,43	43,1	0,0	0,1	7,75	43,3	3,3	14,4	71,3	16,1	0,0	0,8	0,4	3,6
Ap3	5,62	4,42	-1,2	405,10	0,07	0,03	4,18	0,84	0,00	4,20	5,13	5,13	9,33	55,0	0,0	0,4	7,00	44,9	2,1	10,0	120,0	4,0	0,0	1,0	0,4	1,2
AC	5,35	4,17	-1,2	164,50	0,05	0,02	3,53	0,36	0,00	4,10	3,96	3,96	8,06	49,1	0,0	0,2	5,44	48,4	1,6	6,2	127,0	2,3	0,0	0,9	0,5	1,1
<b>P04 Marajó</b>																										
Ap	4,81	3,82	-1,0	143,50	0,02	0,01	0,88	0,06	0,57	5,90	0,97	1,54	6,87	14,10	37,00	0,13	11,69	40,9	2,2	15,5	101,3	8,3	0,0	1,0	0,4	8,8
BA	5,02	3,87	-1,2	8,10	0,12	0,04	0,6	0,31	0,66	5,00	1,07	1,73	6,07	17,60	38,20	0,72	10,13	37,1	0,7	3,0	155,2	1,1	0,0	0,7	0,4	2,5
Bt	5,33	4,39	-0,9	34,10	0,01	0,00	0,77	0,1	0,00	0,90	0,88	0,88	1,78	49,40	0,00	0,00	1,56	52,2	0,6	0,4	7,3	0,8	0,0	0,7	0,3	0,9

Legenda: P - Na - K - Fe - Zn -Mn - Cu -Cd - Pb - Ni - Cr - Extrator Mehlich-1; Ca<sup>2+</sup> - Mg<sup>2+</sup> - Al<sup>3+</sup> - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; SB = Soma de Bases Trocáveis; t - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva T - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V= Índice de Saturação por Bases; m= Índice de Saturação por Alumínio; ISNa - Índice de Saturação por Sódio; CO (Carbono Orgânico) -Walkley-Black;

Outro fator que influencia no pH, são os teores de Ca, estes nos horizontes antrópicos variaram de 0,88 (baixo) a 4,18  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  (muito bom), enquanto os de Mg de 0,06 (muito baixo) a 0,84  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  (médio), sendo os resíduos orgânicos como ossos de mamíferos e quelônios, espinhas de peixe as fontes primárias de Ca e Mg nas TPIs (LIMA et al., 2002; SCHAEFER et al., 2004). De acordo com Costa et al. (2009), os teores mais elevados de Ca nas amostras de TPIs se dão pela maior teor dos elementos nos materiais introduzidos nas áreas, além de sua maior afinidade com a superfície de troca do solo. Pesquisas tem mostrado que teores mais baixos de Ca e Mg, nos antroposolos, também tem sido encontrados nas terras mulatas (FRASER; JUNQUEIRA; CLEMENT, 2011). Se contrapondo a este fato, menores valores de Ca e Mg não foram encontrados na Terra Mulata no presente estudo, o que pode ser atribuído a distribuição geoquímica desses elementos nos sítios que é determinada pelas distintas atividades desenvolvidas nas áreas (KERN, 1996).

Já os teores de K variaram entre 0,01 a 0,41  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , sendo os maiores resultados observados no P02 ao longo de todo o perfil. As concentrações deste elemento nos solos antrópicos são atribuídas a acumulação de cinzas vegetais (BUEHRER, 1950), e apesar das cinzas serem a fonte primária de K, tem-se obtido resultados que mostram que possa haver incrementos a partir de urina e tecidos animais (BOWEN, 1966; WOOD, 2009). Os teores de K são condizentes com os valores observados por Silva et al. (2011) e Miranda (2018) que também observaram teores de K variando de muito baixo a bom em TPIs da Amazônia. As quantificações deste elemento em específico, tem apresentado baixos teores disponíveis nas TPIs, o que se atribui as características alimentares das populações que não utilizavam sais nos seus alimentos (FALCÃO et al., 2009).

Os valores de  $\text{Al}^{+3}$  nos horizontes antrópicos variou de zero a 0,95  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , assim como a saturação por alumínio (m%) que foi de zero a 39,6%. Os teores são reduzidos por influência da matéria orgânica mais concentrada nos horizontes superficiais que complexa o Al (CUNHA et al., 2009), enquanto em profundidade são influenciados pelo pH mais elevado. Foram identificados teores de  $\text{Al}^{+3}$  em pH superiores a 5,5, assim como por Miranda (2018) que os caracterizou como não sendo de alumínio trocável, devido as condições não favoráveis.

Os teores de sódio variaram de 0 a 0,07  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , sendo maiores em subsuperfície no P02 e são contínuos ao longo do perfil, se concentrando entre 20 a 90 cm de profundidade. Lima et al. (2006) observaram teores de Na das TPIs de terras firme baixos ou nulos se

comparados a teores mais altos nas TPIs de várzea, que segundo os autores são provenientes de deposição de sedimentos andinos.

Cobre e Zinco, por apresentarem baixos valores naturais nos solos, de maneira geral, tem sido utilizados como marcadores de eventos de ocupação (WOODS, 2009). Nos perfis estudados, os teores de Fe variaram entre 225,1 a 71,3 mg kg<sup>-1</sup>, Mn entre 5,6 e 50,3 mg kg<sup>-1</sup>, Cu entre 0,6 a 3,3 mg kg<sup>-1</sup> e Zn 1,4 a 32,4 mg kg<sup>-1</sup>, não apresentando perceptíveis padrões de incremento ou redução em profundidade. Os teores são bem inferiores aos encontrados por Lima (2001), que observou altas concentrações características nos horizontes antrópicos e uma redução acentuada dos teores nos demais. Apesar disso, esses teores são considerados altos do ponto de vista agrônômico, assim como os encontrados por Kern e Kampf (1989) em sítios no Pará.

Tem-se que as principais fontes para estes elementos, especificamente Cobre e Zinco, são provenientes de vegetais e animais (urina (Cu) e fezes (Zn)) (BOWEN, 1966). A dinâmica geoquímica destes nutrientes também é utilizada para realizar inferências sobre a idade dos sítios, como observado Sokoloff e Carter (1952), que concluíram que reduções nos teores de Cu se correlacionam com a idade dos sítios, que em ocupações com idade superior a 2.000 anos os teores se equiparavam a de solos sem intervenção antrópica. Já para o Zn observou-se comportamento de maior estabilidade.

Para estes e os demais metais analisados, buscou-se avaliar os teores do ponto de vista da qualidade do solo, verificando-se os níveis destes elementos e se estes se classificariam como contaminantes. Alleoni et al. (2013) realizaram o levantamento dos valores de referência dos elementos potencialmente tóxicos para o estado do Pará se baseando nas determinações da resolução 420/2009 do Conama. Segundo os autores, os valores de referência da qualidade (VRQ) que refletem a concentração natural dos elementos indicando situação de não contaminação, foram considerados baixos quando comparados a outros estados do país. Atribuiu-se os valores mais baixos ao avançado grau de intemperismo dos solos, e a predominância de argilas de baixa atividade que resultam em solos com baixa capacidade de retenção dos elementos. No caso dos solos analisados os teores de Cr, Ni, Cd e Cu se encontram abaixo dos VRQs dos solos do Pará. Mn (16,82% acima no P02), Zn (34,16 no P03 e 270% no P02 acima) e Pb (mais de 200% no P03 e P04) estando acima dos VRQ para o estado.

No que se refere aos teores de fósforo disponível, estes variaram entre 5,4 a 1.230,4 mg kg<sup>-1</sup> nos horizontes antrópicos. Este nutriente tem sido considerado como o principal marcador da ocupação humana por estar presente na maior parte dos resíduos produzidos pelas populações, como por exemplo urina, tecidos orgânicos, vegetais e nos ossos (WOODS, 2003). O P01 foi o perfil que apresentou menores teores de P, o teor do horizonte Ap é considerado o limite da classe de baixos teores de P no solo, e os teores considerados muito baixos nos horizontes de subsuperfície refletem as características químicas do material de origem (SCHAEFER et al., 2000; LIMA et al., 2006). Os teores reduzidos de P e de outros elementos neste perfil podem ser associados a sua origem mais intencional, ou seja, selecionado como área para cultivo, e o esgotamento dos teores podem ser resultado do próprio processo de uso pelos indígenas (SOUZA et al., 2009; MIRANDA, 2018). Outra hipótese é a própria localização do perfil em relação ao sítio como um todo, como observado em estudos de distribuição geoquímica dos elementos em sítios, foi possível realizar delimitações de espaços de atividades distintas como refugio, roça, moradia etc., marcados pelos diferentes teores dos elementos associados a atividade humana, entre eles o P (KERN, 1996; da COSTA; KERN, 1999; COSTA; LIMA DA COSTA; KERN, 2013).

Nos perfis P02 e P04 observou-se os maiores teores de fósforo nos horizontes superficiais (313,9 e 143,5 mg kg<sup>-1</sup>), teores estes mais de 100 vezes a acima dos encontrados em solo não antropicos de mesma classe na ilha de Marajó (SILVA, 1994; CAMARÃO; SOUZA FILHO, 1999). Neste caso pode-se apontar o enriquecimento por deposição de materiais, que é consenso entre os trabalhos desenvolvidos com TPI, nos quais os incrementos nos teores de P, Ca, Mg, K, Mn e Zn está associada a deposição de resíduos orgânicos submetidos a processos de queima parcial (SCHAEFER et al., 2000; GLASER et al., 2001; LIMA et al., 2002; LEHMANN et al., 2003; KAMPF; KERN, 2005; CAMPOS et al., 2011; MIRANDA, 2018).

O P03 apresentou o teor baixo de P em superfície com incremento em subsuperfície, dado que pode ser explicado pela iluviação desse elemento associado a matéria orgânica decomposta (KERN; KAMPF, 1989; MIRANDA, 2018). A presença de canais revestidos por material escurecido nos horizontes subsuperficiais reforça essa hipótese e ressalta a contribuição da pedobioturbação na translocação de matéria orgânica (SCHAEFER et al., 2004; MIRANDA, 2018), que pode estar associada ao P.

As variações de fósforo em profundidade também podem estar associadas a abandono não permanente dos sítios, modificações no tamanho da população, ou ainda ser resultado de perda por lixiviação devido aos teores muito elevados de P (SJOBERG, 1976). O perfil do Teso Cuieiras (P02), sítio de cemitério, apresentou altos teores de P (313,9 - 1230,4), segundo Megers e Evans (1957) a localização das urnas funerária e dos demais artefatos retirados do sítio se estendiam até a profundidade de 1,7 m, o sítio recebeu uma contribuição significativa de P proveniente de apatita biogênica de ossos dos sepultamentos, e devido a sua textura arenosa as perdas de P são muito mais consideráveis (SOUZA et al., 2009).

Os valores menores de P nos horizontes superficiais do Teso Cuieiras podem ser decorrentes da retirada pela vegetação densa localizada sobre o tesó, associado a isso tem-se ainda a textura arenosa do solo que, segundo (SOUZA et al., 2009), contribui para a degradação acelerada e em pouco tempo por cultivo, ou ainda pela menor deposição de material pela ocupação nas camadas mais superiores (MIRANDA, 2018). Enquanto a permanência dos teores mais elevados em subsuperfície pode se dar por ligações de maior estabilidade com compostos de Fe e Al, observado no fracionamento do P do perfil (Tabela 4).

Os perfis estudados apresentaram os menores teores de fósforo na fração facilmente solúvel, não identificada na maioria das amostras. Os maiores teores de P ligado ao Ca foram do P02 com  $0,67 \text{ g kg}^{-1}$  de P. Os maiores teores desta fração estão associados aos horizontes que possuem mais Ca, além de maiores valores de pH, como é o caso do Ap do P01 e o Ap3 do P03. Para Lima et al. (2002) os baixos teores de P ligado ao Ca se dão por uma progressiva transformação desta fração em novos compostos com ligações do P ao Fe e ao Al, mais estáveis, em decorrência de condições mais ácidas do meio (MIRANDA, 2018). Estas substituições indicariam ainda um maior grau de evolução destes solos.

**Tabela 4:** Teores dos óxidos de K, Ca, Mn, Ti, Fe, Al e P total obtidos por digestão sulfúrica, Si obtido por digestão alcalina, relações moleculares Ki, Kr e fracionamento sequencial do fósforo inorgânico dos Arqueo-antropossolos da ilha de Marajó.

Hor/Cam (m)	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	TiO <sub>2</sub>	P total	g kg <sup>-1</sup>				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ki	Kr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
						Pi_H <sub>2</sub> O	Pi_Al	Pi_Ca	Pi_Fe						
P01 Marajó															
<b>Ap</b>	0,53	0,67	0,04	2,00	0,14	0,00	0,04	0,01	0,05	12,82	26,61	6,35	0,82	0,26	6,58
<b>AB</b>	0,66	0,53	0,04	2,63	0,09	0,00	0,01	0,00	0,02	22,03	44,73	10,12	0,84	0,26	6,94
<b>BA</b>	0,71	0,71	0,04	2,59	0,11	0,00	0,02	0,00	0,02	20,71	47,42	10,52	0,74	0,23	7,08
<b>Bt1</b>	0,71	0,02	0,04	2,74	0,07	0,01	0,00	0,01	0,00	19,32	45,34	9,59	0,72	0,23	7,42
<b>Bt2</b>	0,85	0,04	0,04	2,89	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	19,53	47,27	11,68	0,70	0,22	6,36
<b>Bt3</b>	1,22	0,10	0,04	2,87	0,08	0,00	0,01	0,00	0,00	24,08	55,02	13,24	0,74	0,23	6,53
<b>Cpl</b>	2,09	0,23	0,04	3,43	0,08	0,00	0,02	0,00	0,00	32,34	69,61	18,36	0,79	0,24	5,95
P02 Marajó															
<b>0,0 - 0,1</b>	1,19	0,73	0,23	0,87	1,56	0,00	0,45	0,20	0,70	12,53	16,57	7,51	1,29	0,36	3,47
<b>0,1 - 0,2</b>	1,30	1,07	0,35	1,08	1,62	0,00	0,36	0,21	0,92	13,75	17,67	6,50	1,32	0,39	4,27
<b>0,2 - 0,3</b>	1,23	1,77	0,41	0,88	1,87	0,00	0,56	0,53	0,63	11,69	18,13	6,87	1,10	0,32	4,15
<b>0,3 - 0,4</b>	1,11	2,47	0,30	0,85	2,01	0,01	0,55	0,67	0,68	13,12	18,71	6,70	1,19	0,35	4,38
<b>0,4 - 0,5</b>	0,91	1,81	0,23	0,76	1,80	0,00	0,58	0,44	0,47	8,88	18,08	6,57	0,83	0,24	4,32
<b>0,5 - 0,6</b>	0,86	1,57	0,24	0,87	1,72	0,00	0,52	0,37	0,59	11,68	18,23	6,63	1,09	0,32	4,32
<b>0,6 - 0,7</b>	0,83	1,32	0,20	0,93	1,62	0,01	0,70	0,24	0,66	8,74	18,45	6,63	0,81	0,24	4,37
<b>0,7 - 0,8</b>	0,69	1,02	0,16	0,90	1,58	0,00	0,72	0,18	0,51	9,18	18,64	6,72	0,84	0,25	4,36
<b>0,8 - 0,9</b>	0,65	0,87	0,12	0,85	1,60	0,01	0,78	0,12	0,43	9,65	19,11	6,90	0,86	0,25	4,35
<b>0,9 - 1,0</b>	0,72	0,75	0,11	0,92	1,68	0,01	0,85	0,15	0,46	11,95	19,50	7,05	1,04	0,30	4,34
<b>1,0 - 1,1</b>	0,62	0,79	0,09	0,99	1,45	0,00	0,66	0,08	0,53	8,97	19,36	6,72	0,79	0,23	4,52
<b>1,1 - 1,2</b>	0,63	0,51	0,07	0,90	1,47	0,00	0,74	0,08	0,49	8,04	19,67	6,84	0,69	0,20	4,51
<b>1,2 - 1,3</b>	0,60	0,69	0,07	0,88	1,42	0,02	0,73	0,05	0,48	7,75	19,20	6,52	0,69	0,20	4,63
<b>1,3 - 1,4</b>	0,58	0,45	0,05	0,89	1,29	0,00	0,58	0,06	0,48	9,89	19,09	6,37	0,88	0,26	4,71
<b>1,4 - 1,5</b>	0,59	1,39	0,06	0,92	1,24	0,02	0,62	0,05	0,49	8,85	19,28	6,26	0,78	0,23	4,84
<b>1,5 - 1,6</b>	0,59	0,68	0,05	0,96	1,19	0,00	0,60	0,04	0,44	7,42	19,22	6,31	0,66	0,20	4,78
<b>1,6 - 1,7</b>	0,60	0,39	0,05	1,02	1,09	0,00	0,51	0,03	0,52	7,79	19,48	6,41	0,68	0,20	4,78
<b>1,7 - 1,8</b>	0,61	0,43	0,05	0,97	1,13	0,00	0,48	0,04	0,66	7,32	19,78	6,66	0,63	0,19	4,66
P03 Marajó															
<b>Ap1</b>	0,30	0,69	0,10	2,15	0,27	0,00	0,09	0,04	0,07	6,22	12,70	7,61	0,83	0,22	2,62
<b>Ap2</b>	0,42	0,89	0,12	2,15	0,46	0,01	0,09	0,09	0,25	7,34	18,80	6,80	0,66	0,19	4,34
<b>Ap3</b>	0,66	1,67	0,09	2,66	0,83	0,01	0,14	0,31	0,00	15,07	32,13	8,58	0,80	0,25	5,88
<b>AC</b>	0,59	0,82	0,06	2,34	0,49	0,00	0,12	0,08	0,29	16,10	36,36	8,46	0,75	0,24	6,75
P04 Marajó															
<b>Ap</b>	0,10	0,22	0,09	3,32	0,50	0,00	0,04	0,00	0,15	11,97	29,31	9,11	0,69	0,21	5,05
<b>BA</b>	0,38	0,10	0,04	2,13	0,15	0,00	0,04	0,01	0,03	14,21	28,71	6,05	0,84	0,27	7,45
<b>Bt</b>	0,15	0,13	0,05	3,96	0,19	0,00	0,06	0,05	0,05	24,65	57,36	9,95	0,73	0,24	9,05

Pi\_H<sub>2</sub>O = fósforo inorgânico ligado a água, Pi\_Al = fósforo inorgânico ligado ao alumínio, Pi\_Ca = fósforo inorgânico ligado ao cálcio, Pi\_Fe = fósforo inorgânico ligado ao ferro conforme Chang e Jackson (1957); Ki =  $1,7 \times \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$  e Kr =  $(\text{SiO}_2 \times 1,7) / [\text{Al}_2\text{O}_3 + (0,64 \times \text{Fe}_2\text{O}_3)]$  (Teixeira, 2017). SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> e MnO foram determinados de acordo com Teixeira et al., 2017; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).1,57.

Os teores de P-Ca no P02 também sofrem um decréscimo acentuado em profundidade, o que pode estar ligado as diferentes idades das deposições e sepultamentos no Teso. De acordo com Sato et al. (2009), os teores de P-Ca não ultrapassariam 3% do P total em sítios com mais de 2.000 anos, sendo observados no P02 teores inferiores a 5% do P total a partir

de 1,0 m de profundidade. Miranda (2018) também encontrou redução nos teores de P-Ca associados a idade dos sítios, observando teores de 5% nos perfis datados entre 1.750 e 1.990 anos.

Observa-se um predomínio das frações de P ligado ao Al e ao Fe em todos os perfis, sendo os maiores teores identificados no P02 chegando a  $0,85 \text{ g kg}^{-1}$  e  $0,92 \text{ g kg}^{-1}$  respectivamente. Os menores foram observados no P01 e P04, também em decorrência dos teores totais de P mais baixos nestes perfis. Nos solos ácidos predominantes da Amazônia, as concentrações de Fe e Al são elevadas e o P disponível no solo reage com estes elementos formando compostos fosfatados insolúveis (FALCÃO et al., 2009), o que explica a predominância das frações de P ligados a Fe e Al. O conteúdo de P-Ca mais instável no ambiente dos perfis, foi transformado em formas de P-Al e P-Fe, mais estáveis nas condições atuais (MIRANDA, 2018).

Quanto aos teores totais de  $\text{K}_2\text{O}$  observou-se conteúdos entre 1,30 a  $0,10 \text{ g kg}^{-1}$  nos horizontes antrópicos, com tendência de decréscimo em profundidade no P02, e incrementos nos demais perfis, com destaque para o P01 que teve seu maior teor no Cpl. Corrêa (2007) e Macedo et al. (2019) também observaram teores elevados de K nos seus perfis de TPIs e atribuíram a liberação da estrutura cristalina de minerais ricos em K, como os feldspatos.

Os maiores teores totais identificados nos solos foram de Al e Fe, não sendo identificadas diferenças nos conteúdos no P02, mas sendo perceptível os incrementos em profundidade nos demais perfis. Os menores teores nos horizontes antrópicos estão associados a predominância de frações humificadas da matéria orgânica que inibem a cristalização dos óxidos, e influenciam a dissolução destes, tornando-os mais facilmente perdidos por lixiviação (LEMOS et al., 2009). Os altos teores de Fe e Al podem ser associados a presença de minerais primários que possuam estes elementos em sua estrutura, como por exemplo mica e plagioclásio, além de minerais secundário como caulinita e ilita, liberados com a digestão sulfúrica.

Os teores  $\text{TiO}_2$  chegaram a  $3,32 \text{ g kg}^{-1}$  nos horizontes antrópicos, mas os maiores teores foram observados em subsuperfície no P01. De acordo com Souza (2011), o Ti é um elemento residual do intemperismo com tendência a acumulação em função de fatores como material de origem e grau de evolução pedogenética.

Este avançado nível de intemperismo dos solos, onde foram instalados os assentamentos do presente estudo, são indicados pelos valores dos índices  $K_i$ , em que todos

os horizontes apresentaram valores inferiores ao índice padrão da caulinita (2), indicando solos intemperizados, além dos valores de Kr inferiores a 0,75 definindo o caráter oxidado dos solos (RESENDE; SANTANA, 1988). Os valores diferiram dos obtidos por Campos et al. (2011) que obtiveram valores de Ki de 2,76 e Kr superiores a 0,79 nos horizontes antrópicos de Argissolos. Os valores da relação molecular  $Al_2O_3/Fe_2O_3$  refletem a predominância de minerais com Al na composição, com por exemplo a caulinita.

Quanto a quantificação das formas de Mn, Al e Fe de cristalinidade pobre extraídas com oxalato ácido de amônio (OAA), observa-se valores inferiores em relação aos teores das formas bem cristalizadas extraídas com ditionito citrato bicarbonato (DCB), como pode ser observado na Tabela 5. Destaca-se os teores de Mn muito baixos, sendo necessário expressar os valores em  $mg\ kg^{-1}$ . A relação entre Ferro extraído por oxalato e por ditionito (Feo/Fed) indicou maiores valores nos horizontes antrópicos, influenciada pelos menores teores de Ferro bem formado (Fed) nesses horizontes. Esse comportamento pode estar associado ao ambiente mais úmido e rico em matéria orgânica, que inibem a cristalização dos óxidos de ferro (LIMA et al., 2002). E apesar de apresentarem maiores valores em relação aos horizontes não antrópicos, os resultados da relação Feo/Fed são inferiores aos encontrados por Campos et al. (2011) e Miranda (2018) em TPIs da Amazônia.

No caso dos dados obtidos neste trabalho, Kampf e Curi (2000) sugerem que relações Feo/Fed entre 0,01 e 0,06 retratam a predominância de óxidos de ferro bem cristalizados e de alta estabilidade em ambientes aeróbicos, como a goethita. Já a relação Fed/ $Fe_2O_3$  extraído com  $H_2SO_4$  variou entre 0,51 a 2,69, e segundo Kampf, Scheinost e Schilze (2000) valores maiores que 0,80 são encontrados em Latossolos e indicam alta cristalinidade dos óxidos, ou maiores valores de substituições isomórficas de Fe pelo Al. Corroborando com isto, obteve-se para a relação Alo/Ald valores bem superiores aos de Feo/Fed o que também indicam uma maior substituição isomórfica de Fe por Al nos perfis analisados (LIMA et al., 2002), além dos próprios valores da quantificação da substituição isomórfica pela relação  $Al/(Al+Fe)$  em que se obteve valor médio de  $0,53\ mol\ mol^{-1}$  superiores aos encontrados por (LIMA et al., 2002).

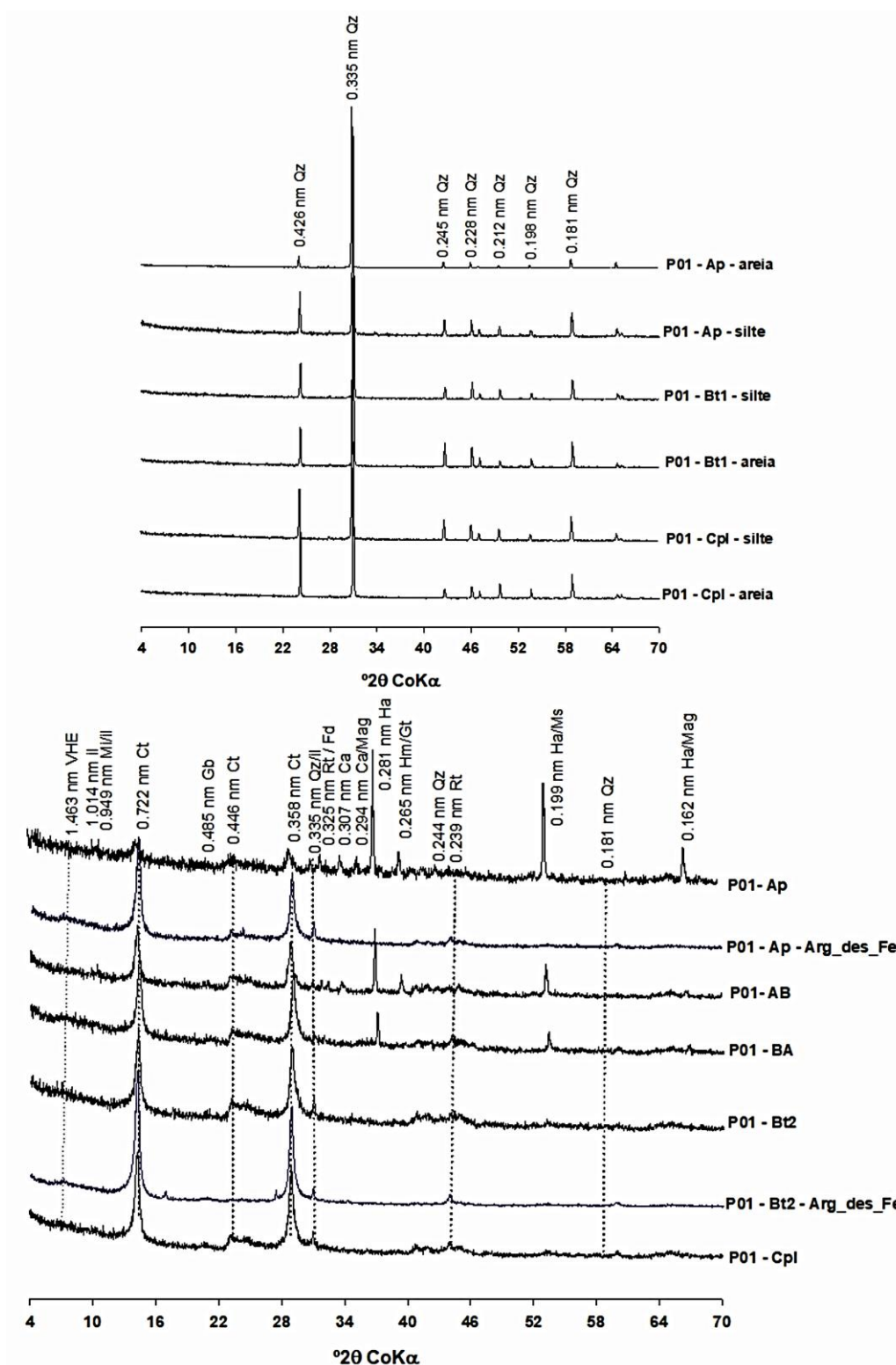
**Tabela 5:** Teores de Mn, Al e Fe extraídos por DCB (Fed) e oxalato de amônio (Feo) e suas respectivas relações dos Arqueo-antropossolos da Amazônia oriental.

Hor /Cam (m)	mg kg <sup>-1</sup>			g kg <sup>-1</sup>			Fed	Fed	Ald	Al <sup>(1)</sup>
	Mno	Mnd	Fed	Feo	Ald	Alo	Fed	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ald	Al + Fe
P01 Marajó										
Ap	0,60	0,10	3,24	0,14	2,02	3,40	0,04	0,51	1,68	0,56
AB	0,90	0,30	16,33	0,24	7,61	4,20	0,01	1,61	0,55	0,49
BA	0,00	0,20	17,34	0,17	11,81	5,00	0,01	1,65	0,42	0,59
Bt1	0,20	0,20	16,33	0,15	10,97	4,39	0,01	1,70	0,40	0,58
Bt2	0,40	0,10	18,36	0,25	13,93	3,60	0,01	1,57	0,26	0,61
Bt3	0,00	0,10	18,92	0,27	11,01	3,28	0,01	1,43	0,30	0,55
Cpl	0,00	0,10	18,96	0,22	9,10	2,69	0,01	1,03	0,30	0,50
P02 Marajó										
0,0 - 0,1	6,00	2,60	13,70	0,33	3,55	0,50	0,02	1,83	0,14	0,35
0,1 - 0,2	16,00	3,60	12,05	0,35	3,39	0,44	0,03	1,85	0,13	0,37
0,2 - 0,3	16,50	6,20	17,11	1,09	6,26	0,55	0,06	2,49	0,09	0,43
0,3 - 0,4	31,00	4,30	15,35	0,73	8,16	4,63	0,05	2,29	0,57	0,52
0,4 - 0,5	6,50	2,20	15,24	0,47	14,62	5,15	0,03	2,32	0,35	0,67
0,5 - 0,6	8,30	3,00	14,55	1,07	6,65	5,17	0,07	2,19	0,78	0,49
0,6 - 0,7	5,20	2,95	17,22	0,66	9,45	0,46	0,04	2,60	0,05	0,53
0,7 - 0,8	11,80	3,75	18,11	0,97	12,33	0,47	0,05	2,70	0,04	0,59
0,8 - 0,9	7,70	2,70	16,94	0,48	11,79	4,78	0,03	2,45	0,41	0,59
0,9 - 1,0	12,00	3,06	19,60	1,68	16,92	0,60	0,09	2,78	0,04	0,64
1,0 - 1,1	2,80	1,08	15,95	0,40	10,61	4,23	0,02	2,37	0,40	0,58
1,1 - 1,2	2,05	1,14	17,15	0,85	11,83	0,51	0,05	2,51	0,04	0,59
1,2 - 1,3	5,03	1,80	19,35	0,90	12,61	0,46	0,05	2,97	0,04	0,57
1,3 - 1,4	1,58	0,99	17,11	0,73	12,83	0,42	0,04	2,69	0,03	0,61
1,4 - 1,5	2,60	0,71	16,85	0,55	12,85	5,61	0,03	2,69	0,44	0,61
1,5 - 1,6	2,90	0,70	15,88	1,20	11,85	4,23	0,08	2,52	0,36	0,61
1,6 - 1,7	1,90	0,70	16,98	0,70	14,60	5,41	0,04	2,65	0,37	0,64
1,7 - 1,8	0,40	0,60	15,26	0,21	10,49	3,09	0,01	2,29	0,29	0,59
P03 Marajó										
Ap1	5,89	2,45	14,85	0,27	8,47	3,37	0,02	1,95	0,40	0,54
Ap2	4,68	3,77	17,22	0,50	13,75	4,30	0,03	2,53	0,31	0,62
Ap3	1,49	1,48	17,95	0,42	11,50	3,41	0,02	2,09	0,30	0,57
AC	1,12	0,72	17,56	0,38	11,11	3,50	0,02	2,08	0,31	0,57
P04 Marajó										
Ap	1,40	1,42	16,93	0,66	7,16	3,70	0,04	1,86	0,52	0,47
BA	0,94	0,18	14,33	0,24	8,91	4,00	0,02	2,37	0,45	0,56
Bt	0,37	0,12	16,75	0,32	7,12	2,50	0,02	1,68	0,35	0,47

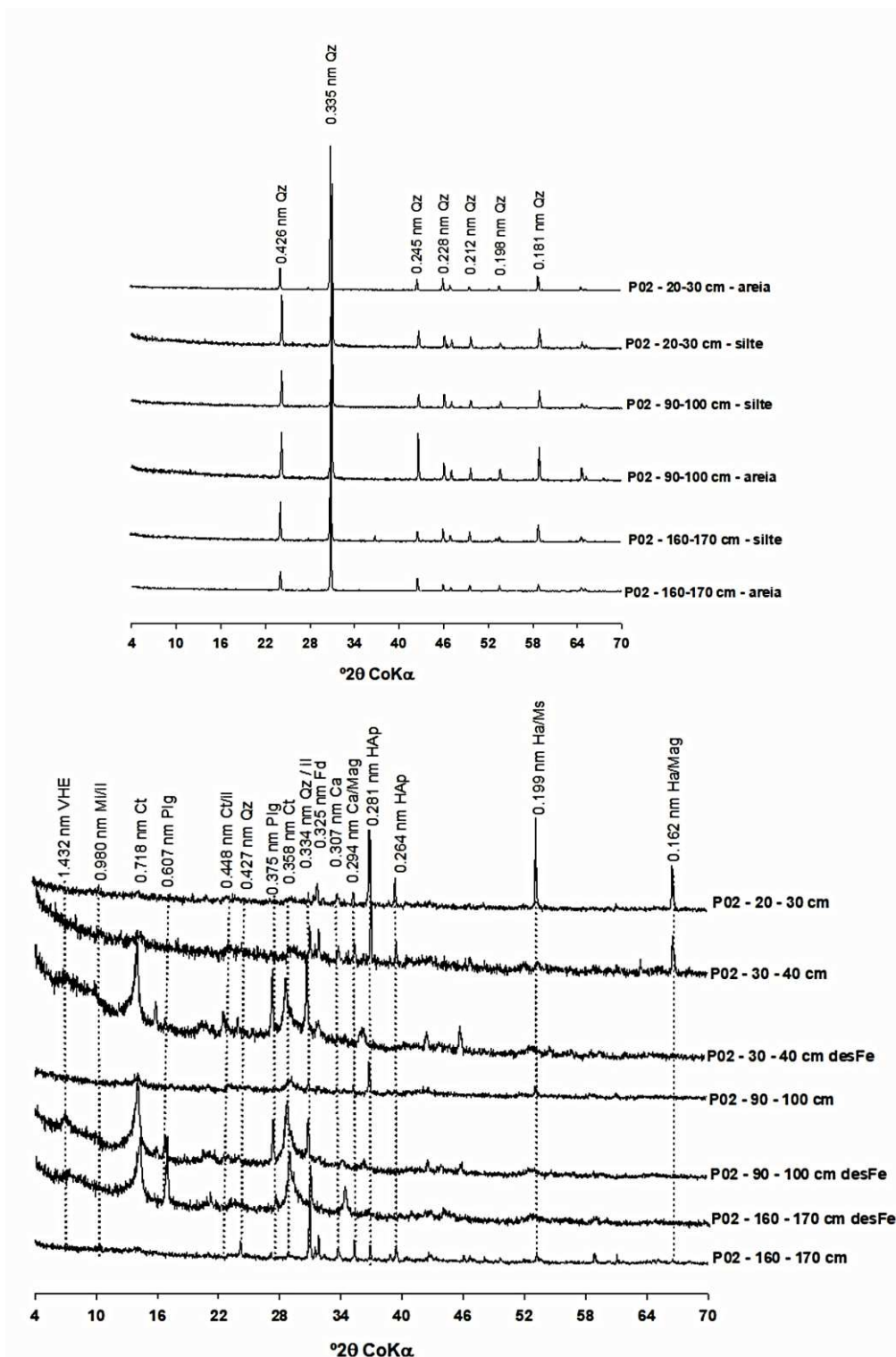
Fed, Mnd e Ald de acordo com Mehra e Jackson (1960) e Feo, Mno e Alo de acordo com McKeague e Day (1966); substituição isomórfica de Fe por Al calculado por  $Al/(Al+Fe) = [Ald/(Ald+0,483.Fed)]$  em mol mol<sup>-1</sup> (Cornell & Schwertmann, 1996).

### 3.4. Mineralogia das frações

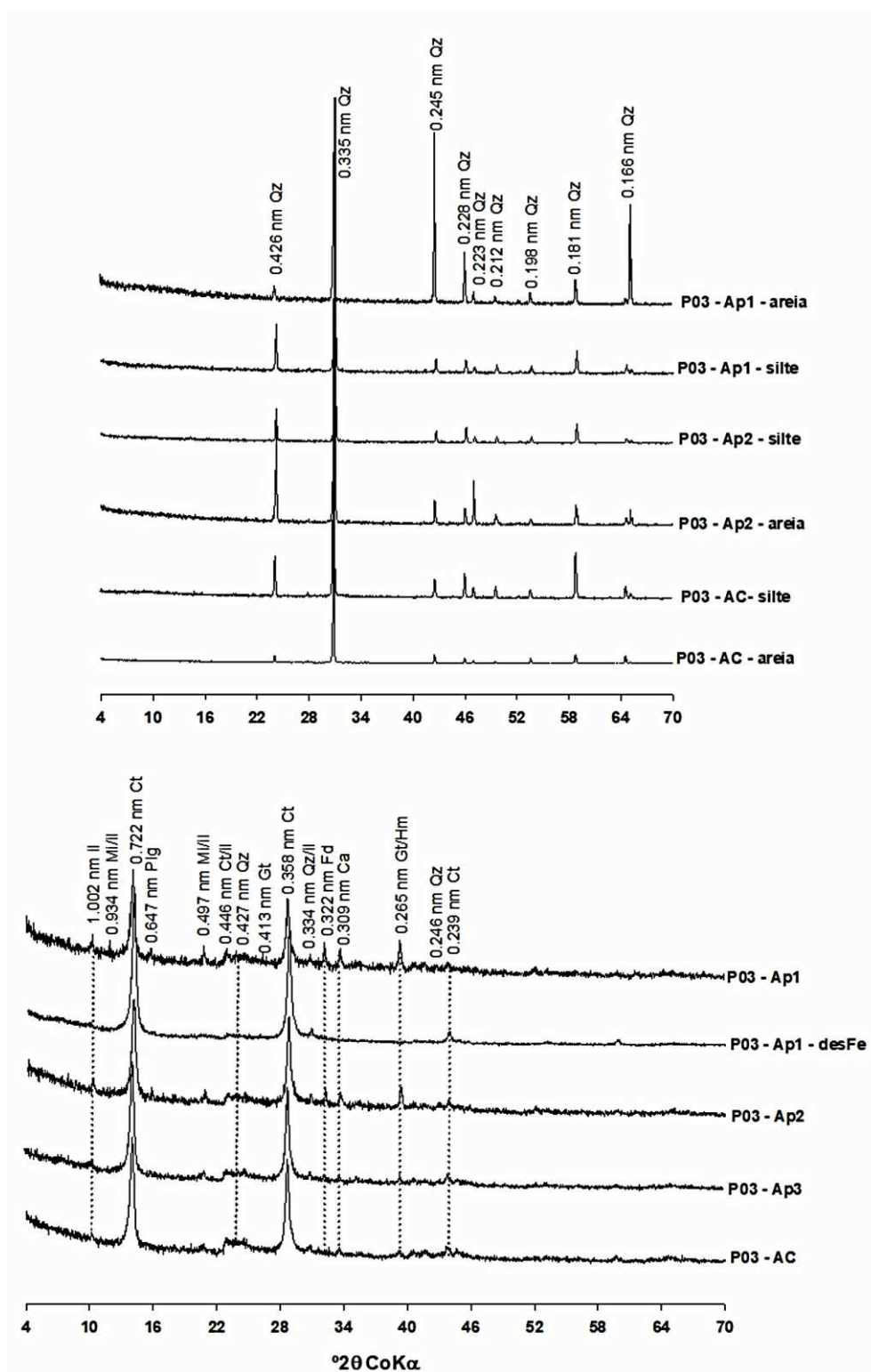
Quanto a caracterização mineralógica, as frações areia e silte de todos os perfis estudados é constituída basicamente de quartzo, como pode ser observado nas Figuras 4 a 7.



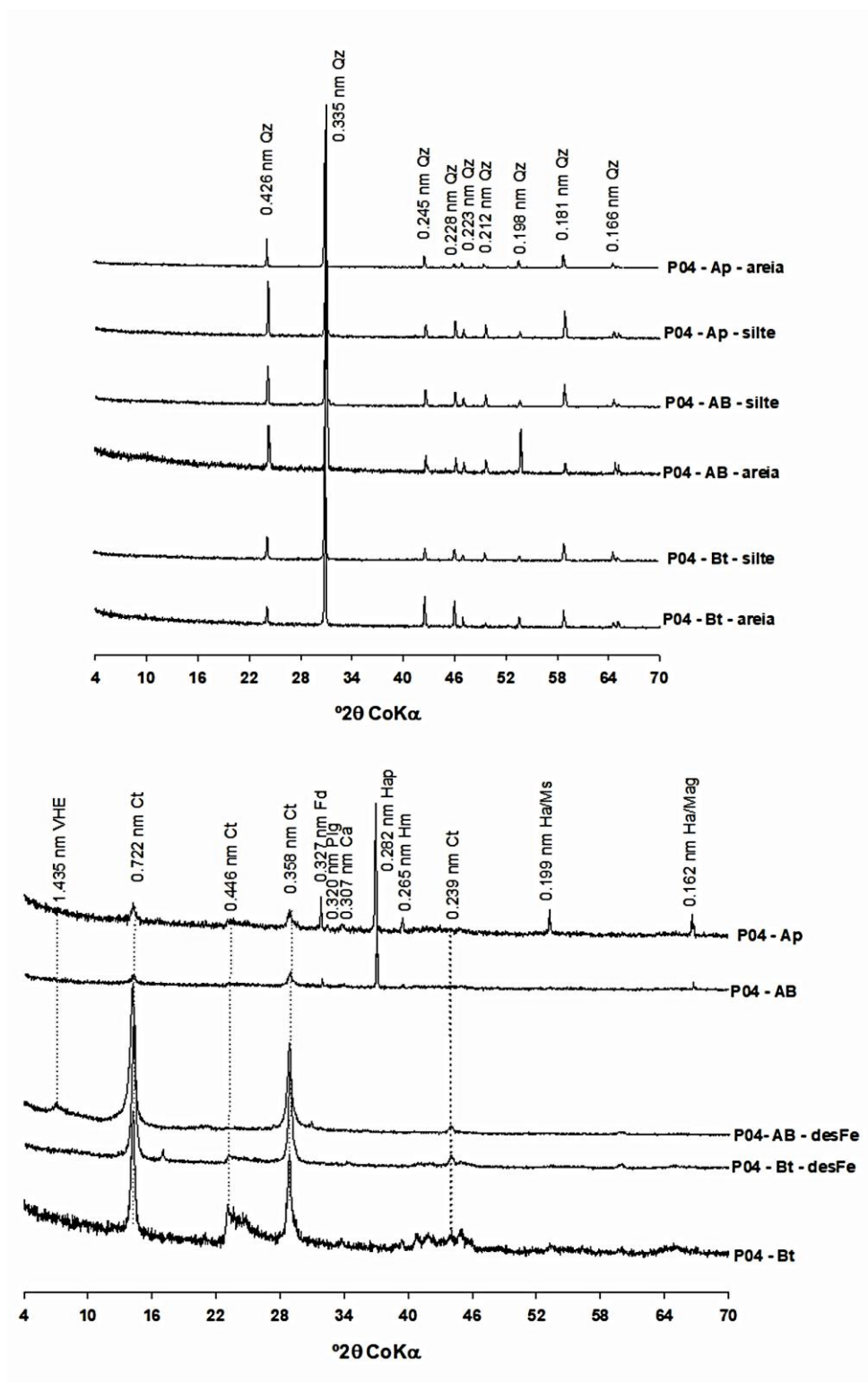
**Figura 4:** Padrões de DRX obtidos de minerais argilosos (pó orientado) e por lâmina escavada no perfil P01 de Terra Mulata. il = ilita; Ct = caulinita; Gb = gibbsita; Gt = goethita; Hm = hematita; Qz = quartzo; Rt = rutilo; Fd = feldspato; Ca = calcita; Ha = halita; Hap = hidroxiapatita; Ms = muscovita.



**Figura 5:** Padrões de DRX obtidos de minerais argilosos (pó orientado) e por lâmina escavada no perfil P02 do Teso Cuieiras. il = ilita; Ct = caulinita; Gb = gibbsita; Gt = goethita; Hm = hematita; Qz = quartzo; Rt = rutilo; Fd = feldspato; Ca = calcita; Ha = halita; Hap = hidroxiapatita; Ms = muscovita.



**Figura 6:** Padrões de DRX obtidos de minerais argilosos (pó orientado) e por lâmina escavada no perfil P03 de Terra Preta. il = ilita; Ct = caulinita; Gb = gibbsita; Gt = goethita; Hm = hematita; Qz = quartzo; Rt = rutilo; Fd = feldspato; Ca = calcita; Ha = halita; Hap = hidroxiapatita; Ms = muscovita.



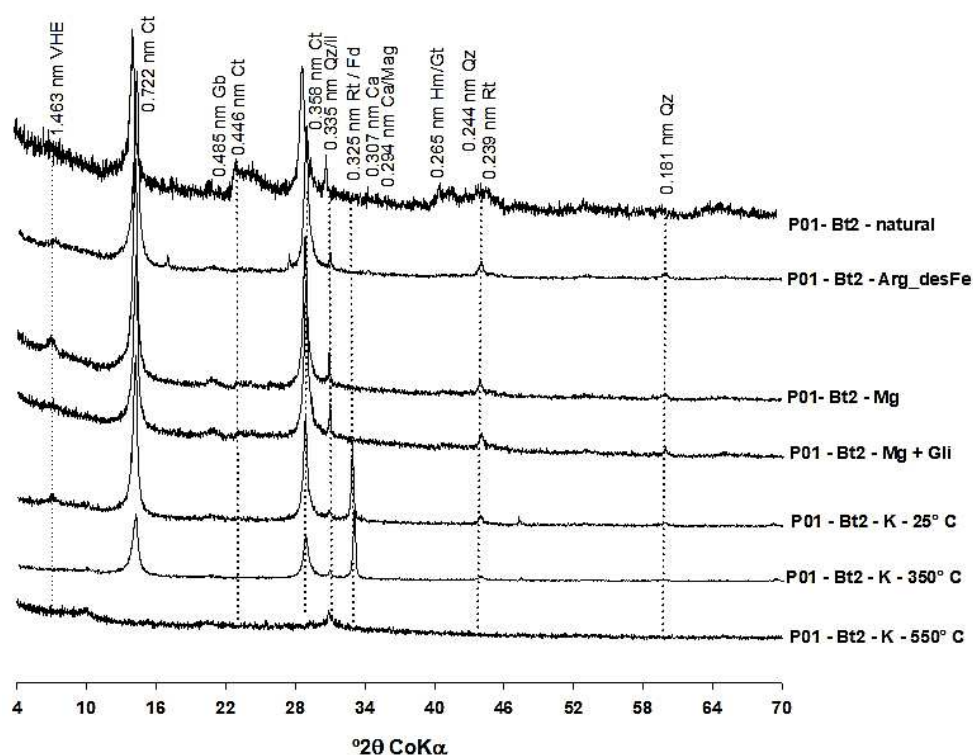
**Figura 7:** Padrões de DRX obtidos de minerais argilosos (pó orientado) e por lamina escavada no perfil P04 Terra Preta. il = ilita; Ct = caulinita; Gb = gibbsita; Gt = goethita; Hm = hematita; Qz = quartzo; Rt = rutilo; Fd = feldspato; Ca = calcita; Ha = halita; Hap = hidroxiapatita; Ms = muscovita.

Há uma semelhança da mineralogia entre os horizontes antrópicos e subsuperficiais em todos os perfis, indicando uma provável origem comum dos materiais. Na fração argila dos perfis pode se identificar a predominância de caulinita, mas também a presença de minerais como ilita, muscovita, halita, gibbsita, mica, e especificamente nos perfis P02 e P04 a presença de plagioclásio. A ocorrência de maghemita também foi identificada em alguns horizontes antrópicos, assim como nos trabalhos de outros autores (LIMA et al., 2002; SILVA et al., 2011; SANTOS et al., 2018), e sua formação é atribuída ao manejo que os Arqueo-antropossolos recebem, como o uso intensivo de fogo que transforma os óxidos de ferro como a hematita em maghemita na presença de matéria orgânica (SCHWERTMANN; CARLSON; FECHTER, 1984; SÖDERSTRÖM et al., 2013).

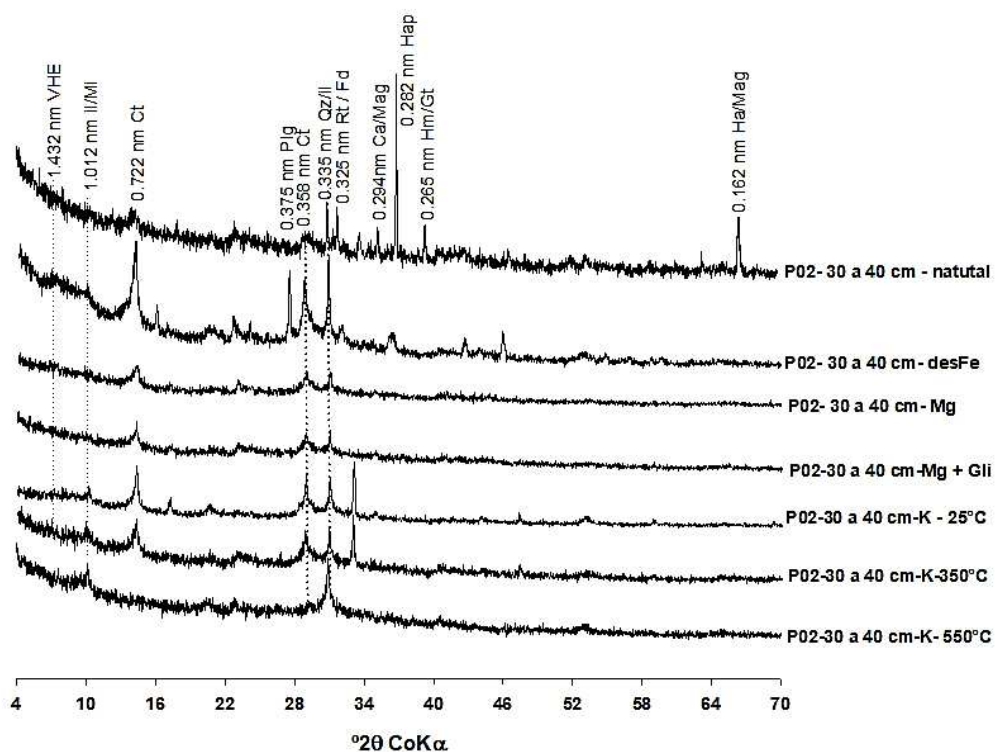
Os demais óxidos de ferro e titânio, identificados principalmente no P01, indicam a mineralogia característica de ambientes de boa drenagem e de elevada evolução pedogenética (LIMA et al., 2002; MIRANDA, 2018), condizente com o ambiente em que se encontra o perfil, mais central na ilha, além de bastante profundo e com coloração que reflete a predominância dos óxidos nos horizontes em profundidade. No P01 e P04 também se observou a presença de goethita e hematita, formada a partir da destruição de crostas ferruginosas lateríticas. Outros autores também atribuem a gênese dos Latossolos da Amazônia a esse fenômeno (IRION, 1984; COSTA, 1991; HORBE; COSTA, 1997).

No P02 e P04 há ocorrência de picos de hidroxiapatita e calcita relacionados aos elevados teores de fósforo no solo, que neste caso devem se encontrar na forma biogênica, liberada pelas fontes de fósforo depositadas nos solos, como ossos, dentes, espinhas de peixe e materiais malacológicos (SCHAEFER et al., 2000; TOLEDO; PEREIRA, 2001; LIMA, 2001; SCHAEFER et al., 2004). A hidroxiapatita em pH neutro está em equilíbrio com as concentrações de Ca e P do meio, mas este não é o caso do P02, que com com pH inferior a 6,5, favorece a deterioração do colágeno dos ossos e das demais fontes, que é agravado em condições de boa drenagem, causando a degradação da apatita e dando origem a calcita neocristalizada (AGUILERA et al., 2016).

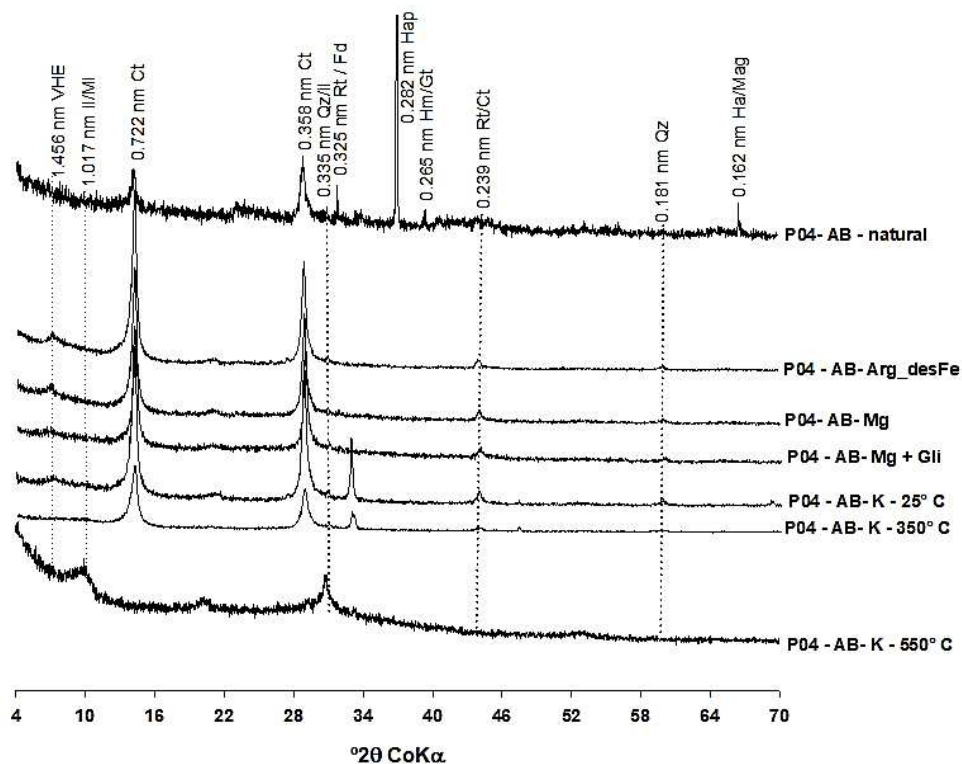
Já os teores de potássio mais elevados no P02 se correlacionam com os picos de feldspato, provavelmente potássicos, e de minerais 2:1. O resultado dos tratamentos para identificação desses minerais podem ser observados nas Figuras 8 a 10.



**Figura 8:** Padrões de DRX obtidos do horizonte Bt2 do perfil P01 (pó orientado). Natural = argila natural, arg\_desFe = argila desferrificada, Mg = saturada com magnésio, Mg + Gli = saturada por magnésio mais glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 oC e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 oC; il = ilita; Ct = caulinita; Gb = gibbsita; Gt = goethita; Hm = hematita; Qz = quartzo; Rt = rutilo; Fd = feldspato; Ca = calcita; Ha = halita; Hap = hidroxiapatita; Ms = muscovita.



**Figura 9:** Padrões de DRX obtidos da camada de 30-40 cm do perfil P02 (pó orientado). Natural = argila natural, arg\_desFe = argila desferrificada, Mg = saturada com magnésio, Mg + Gli = saturada por magnésio mais glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 oC e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 oC; il = ilita; Ct = caulinita; Gb = gibbsita; Gt = goethita; Hm = hematita; Qz = quartzo; Rt = rutilo; Fd = feldspato; Ca = calcita; Ha = halita; Hap = hidroxiapatita; Ms = muscovita.



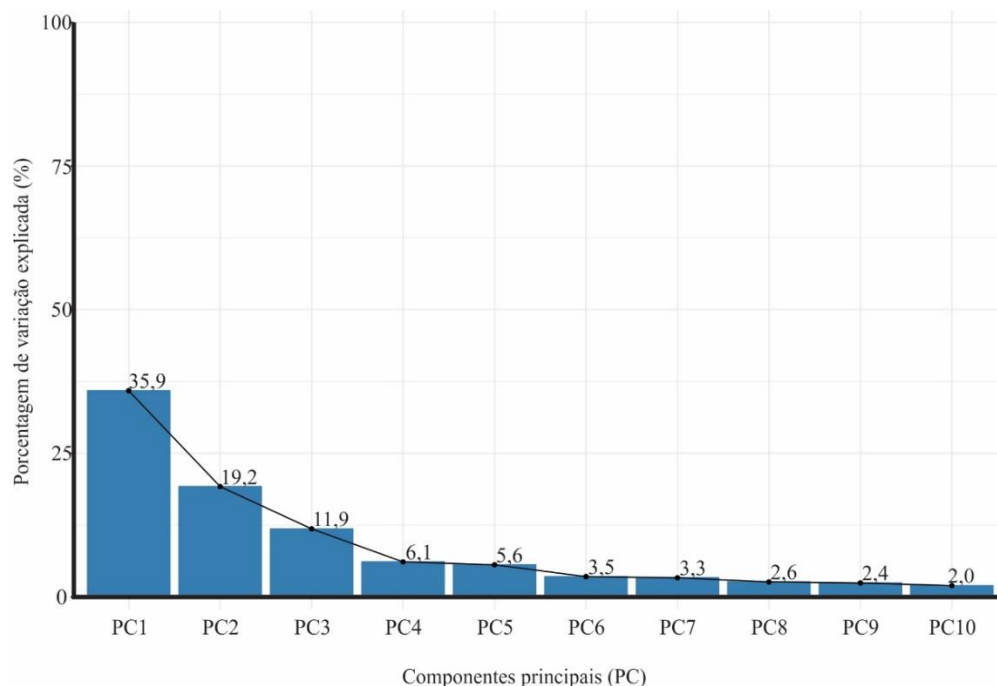
**Figura 10:** Padrões de DRX obtidos do horizonte AB do perfil P04 (pó orientado). Natural = argila natural, arg\_desFe = argila desferrificada, Mg = saturada com magnésio, Mg + Gli = saturada por magnésio mais glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 oC e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 oC; il = ilita; Ct = caulinita; Gb = gibbsita; Gt = goethita; Hm = hematita; Qz = quartzo; Rt = rutilo; Fd = feldspato; Ca = calcita; Ha = halita; Hap = hidroxiapatita; Ms = muscovita.

A presença dos minerais 2:1 com hidróxi-Al entre camadas foi confirmada a partir da submissão das amostras a tratamentos de caracterização. Quando submetidas a saturação com Mg, Mg + glicerol e K, o pico por volta de 1,4 nm manteve seu espaçamento basal, indicando sua expansibilidade prejudicada pela presença de hidróxi-Al entre camadas, a elevação das amostras a 550°C garante a destruição dos hidróxi-Al e um colapso do espaçamento basal para um pico por volta de 1,0 nm (WHITTIG; ALLARDICE, 1986), observado nas amostras em estudo.

As permanência desses minerais 2:1 em solos de avançado intemperismo, como são caracterizados estes pelos resultados de química e geoquímica, se dá pela presença dos hidróxi-Al entre camadas que agrega estabilidade aos minerais 2:1 tornando-os mais estáveis em condições de avançado intemperismo (HARRIS et al., 1988; MELO; MATTOS; LIMA, 2009).

### 3.5. Análise de Componentes Principais

Buscando verificar se as características químicas, físicas e geoquímicas destes Arqueo-antropossolos eram suficientes para distingui-los entre si, realizou-se uma análise estatística multivariada de componentes principais, visando agrupar os solos em grupos e verificar quais variáveis contribuem mais significativamente para a sua variabilidade. A contribuição de cada componente principal (PC) na explicação da variabilidade dos dados pode ser observada na Figura 11.



**Figura 11:** porcentagem da variação explicada por cada componente principal constituídos por variáveis químicas e geoquímicas dos Arqueo-antropossolos da ilha de Marajó-PA.

De acordo com Rencher e Christensen (2012) um conjunto de componentes principais deve explicar pelo menos 70% dos dados originais para serem considerados na descrição da variabilidade, o que se observa no conjunto dos 4 primeiros PCs. Um conjunto de 29 variáveis entre as 55 utilizadas inicialmente foram selecionadas para a construção dos componentes principais. Os valores de contribuição de cada variável na construção dos PCs pode ser observado na Tabela 5.

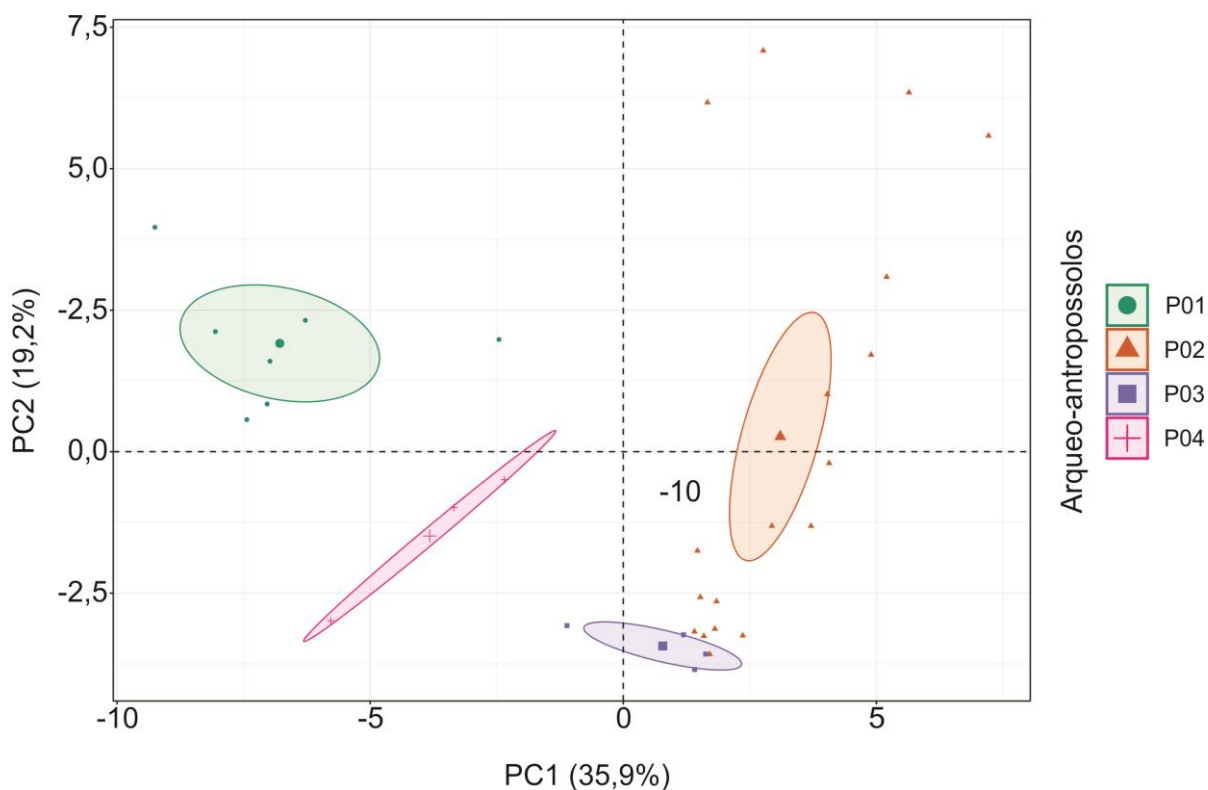
**Tabela 5:** Contribuição de cada variável na explicação da variabilidade dos Arqueo-antropossolos em cada componente principal (PC).

Rank	PC1		PC2		PC3	
	Variável	Contribuição (%)	Variável	Contribuição (%)	Variável	Contribuição (%)
1°	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	4,13	pH em KCl	7,60	COT (g kg <sup>-1</sup> )	9,32
2°	P total (g kg <sup>-1</sup> )	4,13	Cd (mg dm <sup>-3</sup> )	6,73	t (cmolc dm <sup>-3</sup> )	8,10
3°	P (mg dm <sup>-3</sup> )	3,81	Cr (mg dm <sup>-3</sup> )	6,45	Al <sub>o</sub> /Al <sub>d</sub>	7,93
4°	TiO <sub>2</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	3,65	Kr	5,78	T (cmolc dm <sup>-3</sup> )	6,59
5°	Pi_Fe (g kg <sup>-1</sup> )	3,36	pH em H <sub>2</sub> O	5,67	Ca <sup>+2</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	6,56
6°	SiO <sub>2</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	3,31	Ki	5,26	A. grossa (kg kg <sup>-1</sup> )	6,44
7°	Silte (kg kg <sup>-1</sup> )	3,26	K <sub>2</sub> O (g kg <sup>-1</sup> )	4,88	Fed	6,18
8°	Pi_Al (g kg <sup>-1</sup> )	3,20	H+Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	4,55	SB (cmolc dm <sup>-3</sup> )	5,80
9°	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	3,14	Al/Al+Fe	4,24	A. fina (kg kg <sup>-1</sup> )	4,48
10°	m (%)	3,07	MnO (g kg <sup>-1</sup> )	4,19	Pi_Al (g kg <sup>-1</sup> )	3,61

PC1, 2 e = componente principal, Pi\_Fe = fósforo ligado ao ferro, Pi\_Al = fósforo ligado ao alumínio, A. fina = areia fina, A. grossa = areia grossa, COT = carbono orgânico total, t = CTC efetiva, T = CTC total, SB = soma de bases.

Os elementos que compõe a variabilidade do primeiro PC estão mais relacionados com os marcadores da modificação antrópica, como os teores de P total e disponível, além de variáveis que caracterizam o estágio de intemperismos dos solos como os óxidos de titânio, alumínio, ferro e silício, dos teores de fósforo ligado a ferro e alumínio, que são as frações mais recalcitrantes do P total, e a saturação por alumínio. No segundo PC a variabilidade também foi constituída por elementos que marcam evolução pedogenética, como pH e os índices Ki e Kr, marcadores da ocupação como o óxido de manganês e os teores de metais disponíveis. O terceiro PC é constituído por variáveis relacionadas a fertilidade dos solos como a CTC total e efetiva (t), a soma de bases (SB) o carbono orgânico total (COT) e as frações granulométricas que influenciam na capacidade de retenção de cátions do solo e na reserva de nutrientes.

Utilizando-se os componentes principais para agrupar os solos a partir dos dados que mais explicam sua variabilidade (Figura 12), obtém-se a separação destes em quatro grupos diferentes.



**Figura 12:** Análise bidimensional dos Arqueo-antropossolos da Ilha de Marajó a partir de suas características químicas e geoquímicas.

De forma isolada se observa o P01. O perfil apresenta um material de origem diferente dos demais perfis (Tabela 1), além da menor alteração das suas propriedades químicas, como a fertilidade, característica das Terras Mulatas (SOMBROEK, 1966; KERN; KAMPF, 1989; WOODS; MCCANN 1999). Alguns *outliers* no perfil se devem provavelmente aos maiores teores de P total e disponível, e de óxidos de alumínio no horizonte antrópico, além dos óxidos de titânio que apresentaram os maiores valores nos horizontes subsuperficiais deste perfil (Tabelas 3 e 4).

Como intermediários, se observa parte dos dados de P03 e P04, primeiro compartilhando parte do quadrante com P02, provavelmente devido as características semelhantes de química e granulometria, enquanto P04 se aproxima mais do P01 em decorrência de seus horizontes subsuperficiais não antrópicos.

Miranda (2018) buscando separar Terras Pretas de diferentes áreas do Solimões e Amazonas apontou a riqueza de materiais nos locais dos assentamentos como influente na definição do tempo de ocupação e da densidade de deposição de materiais, se apoiando na teoria determinista de Meggers (1977), a qual definiriam características dos Arqueo-antropossolos, como mais ou menos férteis.

No caso de Marajó, em que são retratadas diferentes fases de ocupação na ilha, estas distintas formas de exploração pelos povos pré-colombianos também poderiam influenciar as características heterogêneas observadas nestes solos. Além de contribuíram para o processo de antropização generalizada observado nos solos da ilha, mesmo que em diferentes intensidade, o que pode refletir as particularidades das fases da ocupação, assim como disponibilidade de recursos que cada geoambiente da ilha fornecia a estes assentamentos.

#### 4. CONCLUSÕES:

O Arqueo-antropossolo de Teso da Ilha de Marajó apresentou médias mais elevadas para P, K e Mn, enquanto as Terras Pretas apresentaram maiores médias de Ca, Mg e SB e CTC, indicando diferenças nas características químicas das Terras Pretas Arqueológicas em decorrência das diferentes fases de ocupação da ilha, assim como dos diferentes tipos de solos em que ocorreram as ocupações, retratados também na espessura dos horizontes e quantidade de artefatos ou fragmentos encontrados.

A mineralogia das TPIs apresentou diferença entre perfis, mas não entre horizontes retratando relação parental entre os materiais de origem dos perfis analisados, sendo a influência antrópica na mineralogia dos solos resumida a formação de hidroxiapatita, calcita e maghemita.

As Terras Pretas Arqueológicas com características geoquímicas e físicas de maior semelhança, segundo a análise de componentes principais (PCA), foram P02 e P03, por apresentarem maior enriquecimento químico, e características morfo-físicas mais semelhantes, em contraste com as demais Terras Pretas Arqueológicas da ilha de Marajó.

Os componentes principais revelaram que 27 variáveis foram as que mais influenciaram na explicação da variabilidade das TPIs, entre as 55 testadas, entre elas  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{g kg}^{-1}$ ) P total, P disponível,  $\text{TiO}_2$ , P ligado ao Fe,  $\text{SiO}_2$ , a fração silte, P ligado ao Al,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e saturação por Al como as mais importantes para explicar a diferenciação entre os Arqueo-antropossolos de Marajó.

## 5. REFERÊNCIAS:

- AGUILERA, O. et al. Fish bone diagenesis in southeastern Brazilian shell mounds and its importance for paleoenvironmental studies. **Quaternary International**, v. 391, p. 18–25, 2016.
- ALLEONI, L.R.F.; FERNANDES, A.R.; SANTOS, S. N. **Valores referência de elementos potencialmente tóxicos nos estados do Pará, Rondônia e Mato Grosso**. Boletim Informativo. Viçosa: SBCS. v. 38, p. 18–21, 2013.
- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 423–434, 2013.
- ARAÚJO, S. R. et al. Determining soil properties in Amazonian Dark Earths by reflectance spectroscopy. **Geoderma**, v. 237–238, p. 308–317, 2015.
- BOWEN, H.J.M. **Trace elements in biochemistry**. New York: Academic Press, 241 p., 1966.
- BRASIL. **Plano de Desenvolvimento Territorial Sustentável do Arquipélago do Marajó**. Brasília: Ministerio do desenvolvimento Regional, 2007.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria Geral. 4974. Projeto RADAM BRASIL. **Folha SA. 22 Belém: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro - RJ, 1974.
- BUEHRER, T.F. Chemical study of the material from several horizons of the Ventana Cave Profile. In: HAURY, E.W. (Ed.). **The Stratigraphy and Archaeology of Ventana Cave**. Tucson: The University of Arizona Press, p. 549–563, 1950.
- BUENO, L. A Amazônia brasileira no holoceno inicial: tecnologia lítica, cronologia e processos de ocupação. In: PEREIRA, E.; GUAPINDAIA, V. (Org.). **Arqueologia amazônica**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 2, p. 545-560, 2010.
- CAMARÃO, A.P.; SOUZA FILHO, A.P. **Pastagens nativas da Amazônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 150p., 1999.
- CAMARGO, O. A. et al. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas-SP: IAC, 2009. Disponível em: <[http://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/docs/Boletim\\_Tecnico\\_106\\_rev\\_atual\\_2009.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/docs/Boletim_Tecnico_106_rev_atual_2009.pdf)>.
- CAMPOS, M. C. C. et al. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 598–609, 2011.
- CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, v. 84, p. 133–144, 1957.
- CORRÊA, G. R. et al. Physical and chemical attributes of archaeological soils developed from shell middens in the Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1100–1111, 2011.
- CORRÊA, G. R. **Caracterização pedológica de arqueo-antropossolos no Brasil: sambaquis da região dos lagos (RJ) e terras pretas de índio na região do Baixo Rio**

- Negro/Solimões (AM).** Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.
- COSTA, J. A.; LIMA DA COSTA, M.; KERN, D. C. Analysis of the spatial distribution of geochemical signatures for the identification of prehistoric settlement patterns in ADE and TMA sites in the lower Amazon Basin. **Journal of Archaeological Science**, v. 40, n. 6, p. 2771–2782, 2013.
- COSTA, M. L. et al. Paisagens Amazônicas sob s Ocupação do Homem Pré-histórico: Uma visão Geológica. In: TEIXEIRA, W. G. et al (Ed.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas.** Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, Cap. 1. p. 15-38, 2009.
- COSTA, M. L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 2, p. 146–160, 1 jun. 1991.
- CUNHA, T. J. F. et al. 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, n. 1, p. 85–93, 2009.
- DA COSTA, M. L.; KERN, D. C. Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 66, n. 1–2, p. 369–385, 1999.
- DENEVAN, W. M. A Bluff Model of Riverine Settlement in Prehistoric Amazonia. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 86, n. 4, p. 654–681, 1996.
- DENEVAN, W. M. Cultivated Landscapes of Native Amazonia and the Andes. **Journal of Latin American Studies**, v. 34, n. 3, p. 717–767, 2002.
- FALCÃO, N. et al. Pedology, Fertility, and Biology of Central Amazonian Dark Earths. In: WOODS W.I. et al. (Eds.) **Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek’s Vision.** Dordrecht: Springer Netherlands, p. 213–228, 2009.
- FRANCISQUINI, M. I. et al. Relation between carbon isotopes of plants and soils on Marajó Island , a large tropical island : Implications for interpretation of modern and past vegetation dynamics in the Amazon region. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415, p. 91–104, 2014.
- FRASER, J. A.; JUNQUEIRA, A. B.; CLEMENT, C. R. Homegardens on Amazonian Dark Earths, Non-anthropogenic Upland, and Floodplain Soils along the Brazilian Middle Madeira River Exhibit Diverging Agrobiodiversity1. **Economic Botany**, v. 65, n. 1, p. 1–12, 2011.
- GLASER, B. et al. The “Terra Preta” phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, v. 88, n. 1, p. 37–41, 2001.
- HARRIS, W. G. et al. Nonexchangeable Potassium Associated with Hydroxy-Interlayered Vermiculite from Coastal Plain Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, n. 5, p. 1486, 1988.
- HECKENBERGER, M. J. et al. Amazonia 1492: Pristine Forest or Cultural Parkland? **Science**, v. 301, n. 5640, p. 1710–1714, 2003.

- HILBERT, P. P. **Contribuição à arqueologia da ilha de Marajó os “tesos” marajoaras do alto Camutins e a atual situação da ilha do Pacoval, no Arari.** Belém: Instituto de Antropologia e Etnologia do Pará, Publicação, 5, 1952.
- HORBE, A. M. C.; COSTA, M. L. DA. Solos gerados a partir do intemperismo de crostas lateríticas sílico-ferruginosas. **Acta Amazonica**, v. 27, n. 4, p. 241–256, 1997.
- IDESP – Instituto para o Desenvolvimento Econômico e Social do Pará. **Estudos integrados da Ilha de Marajó.** Belém. 333p., 1974.
- IRION, G. Clay minerals of Amazonian soils. In: SIOLI, H. (Ed.). **The Amazon.** Dordrecht: Springer, p. 537–579, 1984.
- KÄMPF, N. et al. Classification of Amazonian Dark Earths and Other Ancient Anthropogenic Soils. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.). **Amazonian Dark Earths.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 77–102, 2003.
- KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. H.; SCHAEFER, C.E.G.R.. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 107-138, 2000.
- KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro de ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, P. et al. (Org.). **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 4, p. 277-320, 2005.
- KÄMPF, N.; SCHEINOST, A. C.; SCHULZE, D. G. Oxide minerals. In: SUMNER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science.** University of Georgia, Athens, GA, USA: CRC Press, p. 125-168, 2000.
- KERN, D. C. Análise e interpretação dos solos e/ou sedimentos nas pesquisas arqueológicas. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, v. 1, p. 3-17, 2009.
- KERN, D. C. et al. Evolução do conhecimento em Terra Preta de Índio. In: TEIXEIRA, W. G. et al. **As terras pretas de índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas.** Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, Cap. 6. p. 72-81, 2009.
- KERN, D. C.; RUIVO, M. L. P.; FRAZÃO, F. J. L. Terra Preta Nova: The Dream of Wim Sombroek. In: WOODS, W.I.; et al. (Org.). **Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision.** Berlin: Springer, v. 1, p. 339-350, 2009.
- KERN, D. C. et al. Distribution of antropogenic dark earths. In: LEHMANN, J. et al. (Org.). **Amazonian dark Earths: Origin, Properties, Management.** Norwell: Kluwer academic publishers, v. 1, p. 51-76, 2003.
- KERN, D. C.; KÄMPF, N. Efeitos de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com Terra preta Arqueológica na região de Oriximiná-PA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas - SP, v. 13, n.2, p. 219-225, 1989.
- KERN, D.C. **Geoquímica e pedoquímica de sítios arqueológicos com terra preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel-Pará).** 1996. Tese (Doutorado em Petrologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 1996.
- LEHMANN, J. et al. Soil fertility and production potential. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.). **Amazonian Dark Earths.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 105–124, 2003.

LEMOS, V. P. et al. Comportamento do arsênio em perfis de solos do Sítio Ilha de Terra de Caxiuanã-Pará. **Revista Escola de Minas**, v. 62, n. 2, p. 139–146, 2009.

LEVIS, C. et al. Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. **Science**, v. 355, n. 6328, p. 925–931, 2017.

LIMA, H. N. et al. Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 59–68, 2006.

LIMA, H. N. et al. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia. **Geoderma**, v. 110, n. 1–2, p. 1–17, 2002.

LIMA, H.N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. 2001. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

MACEDO, R. S. et al. Amazonian dark earths in the fertile floodplains of the Amazon River, Brazil: an example of non-intentional formation of anthropic soils in the Central Amazon region. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Hum**, n. 1, p. 207–227, 2019.

MCKEAGUE, J. A.; DAY, J. H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 46, n. 1, p. 13–22, 1966.

McCANN, J.M. “**Before 1492: The making of the pre-columbian landscape, part II: The vegetation, and implications for restoration for 2000 and Beyond.**” *Ecological Restoration, North America*, vol. 17, no. 3, pp. 107–119, 1999.

McMICHAEL, C. H. et al. Predicting pre-Columbian anthropogenic soils in Amazonia. **Proceedings of the royal society**, v. 281, p. 23–28, 2014.

MEGGERS, B. J. **Amazônia: a ilusão de um paraíso**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1977.

MEGGERS, B. J.; EVANS, C. The Islands of Mexiana and Caviana. In: MEGGERS, B. J.; EVANS, C. (Ed.). **Archaeology at the Mouth of Amazon**. Washington: Smithsonian Institution, p. 425-555, 1957.

MEGGERS, B. J.; EVANS, C. **Uma interpretação das culturas da Ilha de Marajó**. Revista do Instituto de Antropologia e Etnologia do Pará, 7. Pará, 1954.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite–citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: **Clays and Clay Minerals**. [s.l.] Elsevier, p. 317–327, 2013.

MELO, V. DE F.; MATTOS, J. M. S. M.; LIMA, V. C. Métodos de concentração de minerais 2:1 Secundários na fração argila visando sua Identificação por difratometria de raios x. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 3, p. 527–539, 2009.

MIRANDA, J. F. **Terras pretas arqueológicas no médio Amazonas e Alto Solimões: química, mineralogia, micromorfologia e idade**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2018.

NEVES, E. G. **Arqueologia da Amazônia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 88p, 2006.

NEVES, E. G. Duas interpretações para explicar a ocupação pré-histórica na Amazônia. In: TENÓRIO, M. C. (Org.). **Pré-história da terra brasilis**. Rio de Janeiro: UFRJ, p. 359-367, 1999.

NEVES, E.G.; J.B. PETERSEN. Political economy and pre-Columbian landscape transformations in Central Amazonia. In: BALLÉ, W.; ERICKSON, C. (Ed.). **Time and complexity in historical ecology: Studies in the neotropical lowlands**. New York: Columbia University Press, p. 279–310, 2006.

NIMUENDAJU, C. In Pursuit of a Past Amazon. In: STERNBERG, P. **Archaeological Researches in the Brazilian Guyana and in the Amazon Region**. Göteborg: Museum of World Culture, 2004.

PENNA, D. S. F. **Breve notícia sobre os sambaquis do Pará**. Arq. Mus. Nac., Rio de Janeiro, v. 1, p. 85-99, 1876.

PUGLIESE, F. A.; ZIMPEL NETO, C. A.; NEVES, E. G. What do Amazonian Shellmounds Tell Us About the Long-Term Indigenous History of South America? In: SMITH, C. (Ed.). **Encyclopedia of Global Archaeology**. Cham: Springer International Publishing, p. 1–25, 2018.

RANZANI, G. et al. Ocorrência de “Plagen Epipedon” no Brasil. **Bol. Tec. Cient. Esc. Sup. Agric. “Luiz de Queiroz”** [S.I.], v.5, p. 1-11, 1962.

R CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing** Austria R Foundation for Statistical Computing, , 2019. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>

RENCHEER, A. C.; CHRISTENSEN, W. F. **Methods of Multivariate Analysis**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2012.

RESENDE, M.; SANTANA, D. P. Uso das relações Ki e Kr na estimativa da mineralogia para classificação dos Latossolos. In: Reunião de classificação, correlação de solos e interpretação de aptidão agrícola, 3., Rio de Janeiro, 1988. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS, p.225- 232, 1988.

RIBEIRO, A. C.; GUMIMARÃES, P. T. G.; VENEGAZ, V. H. A. V. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.

ROOSEVELT, A. C. Arqueologia Amazônica. In: CUNHA, M. C. (Ed.). **História dos índios no Brasil**. São Paulo: Cia das Letras, p.53-86, 2002.

ROOSEVELT, A. C. 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, p.455-491, 2000.

ROOSEVELT, A. C. **Amazonian anthropology: Strategy for a new synthesis**. In: ROOSEVELT, A. C. (Ed.). Amazonian indians from prehistory to the presente: Antropological perspectives. Tucson: University of Arizona Press, p.1-29, 1994.

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, Cap. 159. p.103, 1991.

- ROOSEVELT, A. C. et al. Eighth Millennium Pottery from a Prehistoric Shell Midden in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 254, n. 5038, p. 1621–1624, 1991.
- ROSSETTI, D. F. Tectonic control on the stratigraphic framework of Late Pleistocene and Holocene deposits in Marajó Island, State of Pará, eastern Amazonia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, p. 439–449, 2010.
- ROSSETTI, D. D. F.; GÓES, A. M.; TOLEDO, P. M. DE. Archaeological Mounds in Marajó Island in Northern Brazil : A Geological Perspective Integrating Remote Sensing and Sedimentology. **Geoarchaeology**, v. 24, p. 22–41, 2009.
- ROSSETTI, D. F. et al. Palaeodrainage on Marajó Island, northern Brazil, in relation to Holocene relative sea-level dynamics. **The Holocene**, v. 18, n. 6, p. 923–934, 2008a.
- ROSSETTI, D. F. et al. Quaternary tectonics in a passive margin: Marajó Island, northern Brazil. **Journal of Quaternary Science**, v. 23, n. 2, p. 121–135, 2008b.
- ROSSETTI, D. F.; VALERIANO, M. M.; THALES, M. An abandoned estuary within Marajó Island: Implications for late Quaternary paleogeography of northern Brazil. **Estuaries and Coasts**, v. 30, n. 5, p. 813–826, 2007.
- ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; SOUZA, L. S. B. Estratigrafia da sucessão sedimentar Pós-Barreiras (Zona Bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 19, n. 2, p. 113–130, 2001.
- ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, NE do estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, v. 1, n.1, p. 25-37, 1989.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. ampl.[e-book]. Brasília, DF: Embrapa; 2018.
- SANTOS, L. A. C. DOS et al. Pedogenesis in an Archaeological Dark Earth – Mulatto Earth Catena over Volcanic Rocks in Western Amazonia, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 2018.
- SATO, S. et al. Biogenic calcium phosphate transformation in soils over millennial time scales. **Journal of Soils and Sediments**, v. 9, n. 3, p. 194–205, 2009.
- SCHAAN, D. Long-Term Human Induced Impacts on Marajó Island Landscapes, Amazon Estuary. **Diversity**, v. 2, p. 182–206, 2010.
- SCHAAN, Denise Pahl. A Amazônia em 1491. **Especiaria - Cadernos de Ciências Humanas**, v. 12, n. 21, p. 55-82, 2009.
- SCHAAN, D. P.; MARTINS, C. P.; PORTAL, V. L. M. Patrimônio Arqueológico do Marajó dos Campos. In: SCHAAN, D. P.; MARTINS, C. P. **Muito além dos campos Arqueologia e história na Amazônia Marajoara**. Belém: Gknoronha, Cap. 4. p. 37-71, 2010.
- SCHAAN, D. P.; FERNANDO, W. O povo das águas e sua expansão territorial : uma abordagem regional de sociedades pré- coloniais na ilha de Marajó. **Revista de Arqueologia**, v. 17, p. 13–32, 2004.

SCHAAN, D. P. **Estatuetas antropomorfas marajoara: o simbolismo de identidades de gênero em uma sociedade complexa amazônica**. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Antropol., Belém, v. 17, n. 2, p. 437-77, 2001.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Solos da Região Amazônica. In: CURI, N. et al. (Eds.). **Pedologia solos dos biomas Brasileiros**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 111–175, 2017.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Micromorphology and electron microprobe analysis of phosphorus and potassium forms of an Indian Black Earth (IBE) Anthrosol from Western Amazonia. **Soil Research**, v. 42, n. 4, p. 401, 2004.

SCHAEFER, C.E.G.R.; LIMA, H.N.; VALE JÚNIOR, J.F., MELLO, J.W.V. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**, sér. Ciênc. da Terra, v. 12, p. 63-104, 2000.

SCHOBENHAUS, C. et al. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo: Sistema de Informações Geográficas – SIG**. Brasília: [s.n.], 2004.

SCHWERTMANN, U.; CARLSON, L.; FECHTER, H. Iron oxide formation in artificial ground waters. **Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie**, v. 46, n. 2, p. 185–191, 1984.

SILVA, B.N.R. Sinopse sobre o estado atual do conhecimento dos recursos do trópico úmido brasileiro. In: PUIGNAU, J.P. (Ed.). **Utilización y manejo de pastizales**. Montevideo: IICA, p.83-99, 1994.

SILVA, F. W. R. et al. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (terras pretas de índio) na amazônia central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 673–681, 2011.

SILVEIRA, M. I.; SCHAAN, D. P. Onde a Amazônia encontra o mar : estudando os sambaquis do Pará. **Revista de Arqueologia**, v. 18, p. 67–79, 2005.

SJOBERG, A. Phosphate Analysis of Anthropoc Soils. **Journal of Field Archaeology**, v. 3, n. 4, p. 447, 1976.

SÖDERSTRÖM, M. et al. Using proximal soil sensors and fuzzy classification for mapping Amazonian Dark Earths. **Agricultural and food science**, v. 22, n. 05, p. 380–389, 2013.

SÖDERSTRÖM, M. et al. Sensor mapping of Amazonian Dark Earths in deforested croplands. **Geoderma**, v. 281, p. 58–68, 2016.

SOKOLOFF, V. P.; CARTER, G. F. Time and Trace Metals in Archaeological Sites. **Science**, v. 116, n. 3001, p. 1–5, 1952.

SOMBROEK, W. et al. Amazonian Dark Earths as Carbon Stores and Sinks. In: **Amazonian Dark Earths**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 125–139, 2003.

SOMBROEK, W. **Amazon soils: A Reconnaissance of the Soils of the Brazilian Amazon Region**. Wageningen, Center for Agricultural Publications and Documentation. p. 292, 1966.

SOMBROEK, W.G.; RUIVO, M.L.; FEARNSSIDE, P.M.; GLASER, B.; LEHMANN, J. Amazonian Dark Earths as carbono stores and sinks. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: origin, properties, and management**. Dordrecht: kluwer Academic Publishers, p.125-139, 2003.

SOUZA, K. W. **Gênese, mineralogia e formas de fósforo em Arqueo-Antropossolos da várzea do rio Amazonas**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

SOUZA, K. W. et al. Phosphorous forms in cultivated indian black earth (anthrosols) of varying texture in the Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1347–1355, 2009.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. **Climanálise**, v. 5, n. 6, p. 36–44, 2003.

STEINER, C. et al. Microbial Response to Charcoal Amendments of Highly Weathered Soils and Amazonian Dark Earths in Central Amazonia — Preliminary Results. In: **Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, p. 195–212, 2004.

STENBORG, P.; SCHAAN, D. P.; LIMA, M. A. Precolumbian land use and settlement pattern the Santarém regio lower amaz. **Revista de Antropologia**, v. 4, p. 222–250, 2012.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. [s.l.] EMBRAPA, 2017.

TOLEDO, M. C. M. DE; PEREIRA, V. P. A variabilidade de composição da apatita associada a carbonatitos. **Revista do Instituto Geológico**, v. 22, n. 1–2, p. 27–64, 2001.

WHITTIG, L.D.; ALLARDICE, W.R. **X-Ray Diffraction Techniques**. In: KLUTE, A., (Ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, American Society of Agronomy, Madison, p. 331-362, 1986.

WOODS, W. I. **Os solos e as ciências humanas: Interpretação do passado**. In: TEIXEIRA, W. G. et al. *As terras pretas de índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, Cap. 5. p. 62-71, 2009.

WOODS, W. I. Development of Anthrosol Research. In: **Amazonian Dark Earths**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 3–14.

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

ZABEL, D.E. Phosphate and pH analysis of soil at a Kansas City Hopewell Site (23PL4). In: JOHNSON, A.E. (Ed.), **Hopewellian Archaeology in the Lower Missouri River Valley**. Lawrence: University of Kansas Publications in Anthropology, p.110-115, 1976.

## **CAPÍTULO 2**

### **PEDOGEOARQUEOLOGIA DE SOLO DESENVOLVIDO DE SAMBAQUI FLUVIO-MARINHO NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

## RESUMO

Os sambaquis são sítios arqueológicos cuja a matriz estratigráfica é constituída predominantemente por conchas. Se formam pela deposição antrópica de exoesqueletos de moluscos, restos de vegetação, e de fogueiras, entre outras marcas da intervenção humana. Provenientes das atividades destas e de outras formas de ocupação, tem se como produto, solos com horizontes de cor escura, ricos em matéria orgânica (M.O) e de fertilidade elevada, denominados Terra Preta de Índio (TPA) ou Terra Preta Arqueológica (TPA). Objetivou-se estudar, por meio de uma caracterização pedogeoquímica, mineralógica e cronológica, o Sambaqui Porto da Mina, visando a compreensão dos seus processos de gênese, seus diferentes atributos, sua classificação e a distribuição geoquímica dos elementos marcadores da ação antrópica na área do sambaqui. O sitio selecionado foi o Sambaqui Porto da Mina (PA-AS-5), localizado no município de Quatipuru-PA. Foram coletadas amostras de solo nos horizontes do perfil, estas foram submetidas as análises físico-químicas de rotina, fracionamento de P, difração de raio-X, datação por radiocarbono ( $C^{14}$ ), digestão sulfúrica, dissolução seletiva de ditionito citrato bicarbonato e oxalato de amônio, além de caracterização microquímica com MEV acoplado em EDS das frações silte e argila. Realizou-se também a avaliação da distribuição geoquímica dos teores de P, K, Ca, Mn, Fe, Al, Si e Ti na área do sambaqui. O solo desenvolvido no sambaqui Porto da Mina é definido pela dinâmica de ocupação, abandono e reocupações ao sítio pelos grupos sambaquieiros. A fração de P inorgânico predominante neste solo é a ligada ao Ca, em que se observa os maiores valores estão associados a horizontes ricos em matéria orgânica, provavelmente devido a mecanismos de estabilização. O solo ainda possui grande reserva de apatita biogênica primária, e a predominância de hidroxiapatita, halita, e calcita na fração argila. Foram observados ainda presença de argilominerais 2:1 no solo. As datações realizadas variaram entre  $4920 \pm 30$  BP a  $500 \pm 30$  BP, e indicam intervalos consideráveis de aproximadamente 200 anos do período caracterizado como de abandono do sítio. Indicaram também inconsistências com as datações anteriormente realizadas, e uma provável inversão de camadas. A distribuição geoquímica dos elementos no sítio arqueológico indicaram maiores concentrações nas áreas mais próximas ao principal monte de deposição, e pontos localizados de decréscimo na concentração de Ca, P e Mn.

Palavras-chave: Arqueo-antropossolo. Terra Preta. Sambaquis.

## ABSTRACT

Shellmounds are archaeological sites whose stratigraphic matrix is predominantly made up of shells. They are formed by the anthropic deposition of exoskeletons of mollusks, remains of vegetation, and bonfires, among other marks of human intervention. Arising from the activities of these and other forms of occupation, soils with dark horizons, rich in organic matter (OM) and high fertility, are named Terra Preta de Índio (TPA) Archaeological Dark Earth (ADE). The objective was to study, by means of a pedogeochemical, mineralogical and chronological characterization, the Sambaqui Porto da Mina, aiming at understanding its genesis processes, its different attributes, its classification and the geochemical distribution of the marking elements of anthropic action in the area of Shellmound. The selected site was the Shellmound Porto da Mina (PA-AS-5), located in the municipality of Quatipuru-PA. Soil samples were collected in the profile horizons, these were subjected to routine physical-chemical analyzes, P fractionation, X-ray diffraction, radiocarbon dating ( $C^{14}$ ), sulfuric digestion, selective dissolution of dithionite citrate bicarbonate and oxalate ammonium, in addition to micro-chemical characterization with MEV coupled in EDS of the silt and clay fractions. The geochemical distribution of the contents of P, K, Ca, Mn, Fe, Al, Si and Ti in the Shellmound area was also carried out. The soil developed in the Porto da Mina Shellmound is defined by the dynamics of occupation, abandonment and reoccupations at the site by the sambaquieiro groups. The predominant fraction of inorganic P in this soil is that linked to Ca, in which the highest values are observed are associated with horizons rich in organic matter, probably due to stabilization mechanisms. The soil still had a large reserve of primary biogenic apatite, and the predominance of hydroxyapatite, halite, and calcite in the clay fraction. The presence of 2: 1 clay minerals was also observed in the soil. The dates varied between  $4920 \pm 30$  BP to  $500 \pm 30$  BP, and indicate considerable intervals of approximately 200 years from the period characterized as abandonment of the site. They also indicated inconsistencies with previous dating, and a probable inversion of layers. The geochemical distribution of the elements at the archaeological site indicated higher concentrations in the areas closest to the main deposition mound, and localized points of decrease in the concentration of Ca, P and Mn.

Keywords: Arqueo-antropossolo. Black earth. Shellmounds.

## 1. INTRODUÇÃO:

Os processos de ocupações pré colombianas e as características ambientais associadas têm sido objeto de pesquisas integrativas entre meio físico e antropologia. Os principais estudos desenvolvidos visam identificar e correlacionar os padrões ambientais chave que ainda se mantem preservados. Além da presença característica de deposição de materiais como conchas, fragmentos cerâmicos e demais materiais culturais, observados nos sítios com solos antropogênicos (Terra Preta; Terra Mulata ou Terra Negra da Amazônia), também são associados a presença de feições particulares da paisagem como: cavidades ou depressões, que são conhecidas localmente como poços de água ou poços d'água (STENBORG; SCHAAN; FIGUEIREDO, 2018). Estas cavidades ou depressões funcionariam como reservatórios naturais de água para as populações.

A presença destes sítios na paisagem, podem também estar associado a riqueza natural de recursos alimentares, preponderante na seleção de ambientes por estes grupos sociais. Tais ambientes em sua maioria, se localizam próximos a fontes hídricas como rios, ou no caso específico dos sambaquis, em que os sítios também são encontrados em áreas permanentemente inundadas como os manguezais, apicuns ou sazonalmente ( SILVEIRA; SCHAAN, 2005; LOPES, 2016; PUGLIESE; ZIMPEL NETO; NEVES, 2018).

Os sambaquis ou minas de sernambi (moluscos) são sítios arqueológicos cuja a matriz estratigráfica é constituída predominantemente por conchas. Se formam principalmente pela deposição antrópica de exoesqueletos de moluscos, restos de vegetação, e de fogueiras, além das demais marcas da ocupação humana como fragmentos cerâmicos e estruturas de habitação que se acumularam. Estes sítios são encontrados no Brasil desde o litoral do Rio Grande do Sul até em alguns contextos fluviais da Amazônia (BANDEIRA, 2008; CORRÊA et al., 2011; PUGLIESE; ZIMPEL NETO; NEVES, 2018).

Os sambaquis da bacia Amazônica mais antigos datam de 8000 anos, e são retratados na literatura em três diferentes ambientes: no baixo Amazonas, ao longo do seu estuário e áreas costeiras, no qual se enquadra o litoral do Pará, e no sudoeste da Amazônia, ao longo dos tributários do alto rio Madeira (PUGLIESE; ZIMPEL NETO; NEVES, 2018).

Os registros iniciais dos sambaquis no baixo Amazonas tiveram início em 1870, em um levantamento feito por Ferreira Penna que pesquisou os sambaquis do litoral paraense. De posse dos levantamentos de Penna, Charles F. Hartt (1885) descreveu o sambaqui Taperinha,

próximo a cidade de Santarém-PA, e associou, de forma pioneira, os montes de concha a construções antrópicas intencionais (ROOSEVELT et al., 1991). Posteriormente outras escavações foram feitas identificando sambaquis nos rios da Amazônia (HILBERT, 1959; ROOSEVELT et al., 1991; PEROTA; BOTELHO, 1992), e a partir de pesquisas desenvolvidas entre a década de 60-70 foi possível a localização e estudo dos sambaquis no litoral do Pará, como os localizados no município de Quatipuru (SIMÕES, 1981; ROOSEVELT, 1995; LOPES, 2016).

O sambaqui Porto da Mina (PA-AS-5), foi um dos oito localizados e estudados por Simões (1981) em Quatipuru por mais de uma década, o autor atribui a origem destes sítios a um modelo de migração de povos do Nordeste e Norte da América do Sul (LOPES, 2016).

Estes sítios, além de se localizarem em condições ambientais específicas, também ocasionam modificações na paisagem a partir do impacto de suas ocupações. Como por exemplo, a dominância de espécies florestais domesticadas nestas áreas, em média 30% dos indivíduos que passaram por domesticação e algum nível de seleção se localizam próximo de rios e de sítios arqueológicos (LEVIS et al., 2017).

Essas ocupações produziram alterações nas propriedades do solo, modificando suas características físicas e químicas, e alterando sua aptidão (LEMOS et al., 2009). Provenientes das atividades destas e de outras formas de ocupação, tem se como produto, solos com horizontes de cor escura, ricos em matéria orgânica (M.O) e de fertilidade elevada, os quais caracterizam as Terra Preta de Índio (TPA) ou Terra Preta Arqueológica (TPA) (KÄMPF; KERN, 2005). Formadas a partir do descarte de resíduos associados as atividades antrópicas sobre os solos pré-existentes, estes solos receberam incrementos nos teores de P, Ca, Mg, Zn, Mn e M.O (LEHMANN et al., 2003; SCHAEFER et al., 2004; KERN et al., 2009; CORRÊA et al., 2011; SOUZA, 2011). Uma maior predominância de minerais com susceptibilidade magnética no solo, como a maghemita também são observados em função do manejo adotado nos solos antrópicos (SÖDERSTRÖM et al., 2013). Assim também nos sítios de sambaquis, a partir do material destes se desenvolvem mantos pedogenéticos ricos em P e Ca principalmente (CORRÊA, 2007).

Apesar de serem um dos marcos iniciais das ocupações sul americanas as pesquisas e os levantamentos de sambaquis nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, ainda é incipiente. Apenas 53 sambaquis foram localizados e estudados do ponto de vista arqueológico nas regiões (GASPAR; IMAZIO, 1999) abrangendo o litoral paraense e os fluviais do baixo

Amazonas (PENNA, 1876; HARTT, 1885; HILBERT, 1959; SIMÕES, 1981; ROOSEVELT, 1995; ROOSEVELT et al., 1991). Do ponto de vista pedológico as pesquisas são pouco desenvolvidas, ou inexistentes, o que representa perdas tanto para o conhecimento arqueológico, como pedológico.

Outra característica que acena para a importância dos estudos de pedoarqueologia nos sambaquis são as condições ambientais as quais a maior parte da extensão territorial do Brasil está submetida, como clima tropical e relevo, que propiciam a intensa ação dos fatores ativos do intemperismo, favorecendo a degradação dos sítios arqueológicos e de artefatos e características que seriam fundamentais para a compreensão dos processos de formação desses antropossolos. Apenas em ambientes em que as condições de pH sejam elevadas, estas características tem se mantido melhores preservadas, como é o caso das cavernas calcárias e dos sambaquis, que ressaltam a importância do estudo destes sítios para a compreensão da pedogênese destes solos.

Diante disto, objetiva-se estudar por meio de uma caracterização pedogeoquímica, mineralógica e cronológica, o Sambaqui Porto da Mina, localizado no município de Quatipuru-PA, na Amazônia Oriental, visando a compreensão dos seus processos de gênese, seus diferentes atributos, classificação e a distribuição geoquímica dos elementos marcadores da ação antrópica na área do sambaqui.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS:

### 2.1. Caracterização da área de estudo e amostragem

O município de Quatipuru está localizado na mesorregião nordeste do Pará e inserido no maior cinturão contínuo de mangues do mundo, a Costa de Manguezais de Macromarés da Amazônia (CMMA), que se estende desde a baía de Marajó até o Maranhão. Quatipuru é delimitado pelo oceano Atlântico a Norte e pelos municípios de Tracuateua, Capanema, Primavera e São João de Pirabas ao Leste, Sul e Oeste, respectivamente. O clima é do tipo Awi com precipitações médias anuais de 2.100 mm, distribuídos intensamente nos seis primeiros meses do ano. O relevo é marcado por tabuleiros aplainados e terraços de várzea, com elevações máximas de 29 metros, inseridos na unidade morfoestrutural Planalto Rebaixado da Amazônia, já a porção litorânea do município está inserida na unidade

morfoestrutural Litoral de Rias (SOUZA FILHO; EL-ROBRINI 1996; SENNA, 2008; PROST; MENDES, 2011; RIBEIRO NETO et al., 2011).

A vegetação é dominada por manguezais e apicuns, circundados por campos salinos inundáveis no contato da planície com a terra firme, vegetados com gramíneas e ciperáceas, além de apresentar mosaicos de vegetação florestal aluvial. Um importante destaque deve ser dado a influência das marés sofrida pela vegetação, estando localizada sob um substrato arenoso com predominância de fontes de água salina, esta exerce influência na definição das fitofisionomias na área (SIMÕES, 1981; SENNA, 2002; SENNA; ABSY, 2003; SENNA, 2008; RIBEIRO NETO et al., 2011; LOPES, 2016).

De acordo com Lopes (2016), o ecossistema presente em Quatipuru, com um litoral muito recortado, de mar pouco profundo e sujeito a ação das marés (SOUZA FILHO; EL-ROBRINI 1996), foi fundamental para as atividades de pesca e coleta de alimentos pelas comunidades sambaquieiras, além da característica abundância de recursos faunísticos e florísticos. Estas condições próprias da região explicam a escolha pelos grupos sociais pré-colombianos pela área para a instalação de seus assentamentos, que atualmente consistem em 11 sítios catalogados (SCHAAN; FERNANDO, 2004; SILVEIRA; SCHAAN, 2005; ROSSETTI; GÓES; TOLEDO, 2009; ROSSETTI, 2010; SCHAAN, 2010; FRANCISQUINI et al., 2014).

O sítio selecionado para a realização deste trabalho foi o Sambaqui Porto da Mina (PA-AS-5), localizado e descrito por Simões em 1968 (SIMÕES, 1981) e definido pelo autor como o sambaqui tipo da fase mina. Além disso, a seleção do Porto da Mina se deu pelas condições de conservação de sua estratigrafia, que apesar de degradada, ainda se apresentava mais representativa que os demais.

O material de origem sobre o qual se localiza o sambaqui é descrito como originário da formação Barreiras, proveniente de sedimentos fluviolacustres, assentados sobre depósitos marinhos do Terciário da Formação Pirabas. Nas proximidades da área são ainda descritos cordões de paleodunas (SIMÕES, 1981; SILVEIRA; SCHAAN, 2005; SOUZA FILHO, 2005). Quatipuru está assentado em depósitos de sedimentos lamosos, provenientes de diferentes rios que predominam nas áreas de mangue, e sobre cordões arenosos que caracterizam as restingas costeiras (SENN, 2008).

O sambaqui possui 3.380 m<sup>3</sup>, volume este que foi provavelmente reduzido pelas intervenções antrópicas recentes na área, como a retirada de material do sítio para produção

de calcário. Sua forma é monticular, com bordas recortadas, e em períodos de cheia é circundado pelas marés (LOPES, 2016). No momento de sua descrição por Mario Simões (SIMÕES, 1981) as seguintes dimensões foram relatadas: 30 m de largura, 40 m de comprimento e 3,86 m de altura. Já Lopes (2016) a partir de levantamento topográfico no sítio constatou 52,50 m (Norte/Sul) de comprimento e 55,60 m (Leste/Oeste) de largura.

Entre os materiais que compõem a estratigrafia do sambaqui, Lopes (2018) descreveu o predomínio de conchas trituradas de *Anomalocardia spp*, e de gastrópodes *Stramonitas sp.*, totalizando mais de 85% do material coletado, em menor proporção também foram descritas conchas fechadas (*Anomalocardia spp*), mexilhões triturados e inteiros (*Mytilus galloprovincialis*) e ostras (*Crassostrea rhizophorae*).

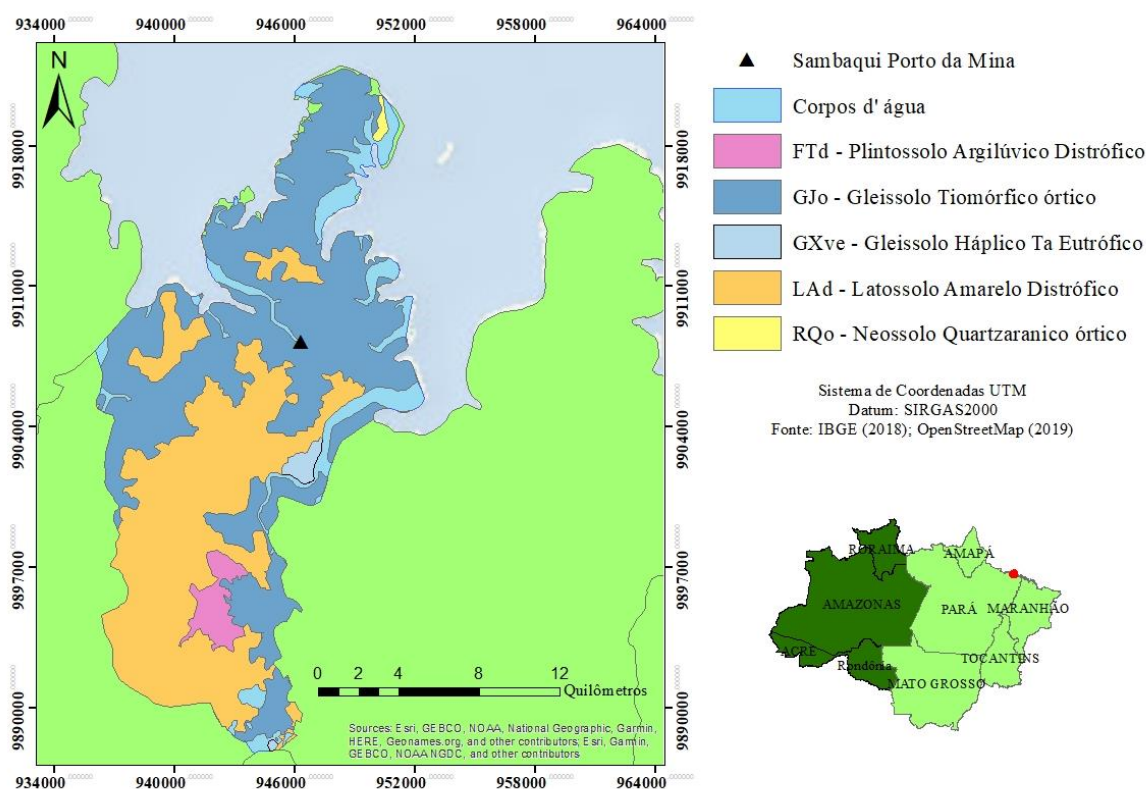
Além dos materiais malacológicos, fragmentos cerâmicos também constituem a estratigrafia do sambaqui Porto da Mina. Estes fragmentos têm sido apontados como indícios de uma ocupação mais ativa nestes sítios, nos quais os sambaquis da região Norte diferentemente dos encontrados nas regiões Sul e Sudeste do país, apresentam fragmentos cerâmicos em toda sua matriz estratigráfica (SIMÕES, 1981; ROOSEVELT et al., 1991; ROOSEVELT, 1995; GASPAR; IMAZIO, 1999). Apesar dos arqueólogos apontarem uma necessidade de mais estudos para a comprovação desta hipótese (GASPAR; IMAZIO, 1999; LOPES, 2016). No caso do sambaqui Porto da Mina, um levantamento realizado na coleção de cerâmicas extraídas por Simões (1981), constatou que 91,7% dos fragmentos coletados maiores que 5 cm se localizavam no corpo do sambaqui, enquanto apenas 8,15% se encontrava nas bordas e menos de 0,2% na base do sambaqui. Unindo estas informações ao fato de não ter se localizado vasilhas inteiras no sítio elaborou-se a hipótese do uso, neste caso, destes fragmentos como material base para a construção do sambaqui (CANTO, 2016).

Fragmentos de plintita também foram observados por Simões (1981), Lopes (2016) e Lopes, Gaspar e Gomes (2018), em concentração significativa, constituindo 7,8% do material coletado. O tamanho uniforme dos fragmentos distribuídos entre 2 a 4 cm levou a caracterização do material plíntico pelos autores como agregado utilizados na construção do sambaqui.

O perfil para classificação do solo e coleta de amostras foi aberto no mesmo corte estratigráfico realizado por Simões (1981) e utilizado por Lopes (2016) em seus estudos. Realizou-se a coleta de amostras compostas em cada horizonte do sambaqui para a caracterização química, física e mineralógica. Coletou-se ainda amostras de carvão e

sedimento para datação dos seguintes horizontes: Au (0, 25 e 50 cm) e 3Au (163, 186 e 210 cm) visando principalmente compreender os intervalos de revisita ao sambaqui e sua influência na pedogênese deste solo. Por fim realizou-se coleta de 13 amostras compostas da camada de 0-20 cm nas proximidades do sambaqui para avaliar a distribuição dos elementos marcadores da evolução pedogenética e de ocupações antrópicas.

A localização do sambaqui Porto da Mina, bem como da área de estudo de modo geral pode ser observado na Figura 1.



**Figura 1:** Localização do município de Quatipuru, suas principais classes de solo e localização do sambaqui Porto da Mina.

## 2.2. Procedimentos analíticos de caracterização química, física, mineralógica e datação

As amostras compostas dos perfis foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm para a obtenção da fração terra fina seca ao ar (TFSA). As amostras foram submetidas a análises de acordo com as metodologias descritas em Teixeira et al. (2017). Foram determinados pH em água e KCl na suspensão solo:solução 1:2,5 com o pHmetro. P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu, Cd, Pb, Ni e Cr trocáveis a partir do extrator Mehlich-1. O P foi determinado

por espectrofotometria, e os demais elementos por fotômetro de chama.  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  foram extraídos com KCl ( $1 \text{ mol L}^{-1}$ ) e determinados por espectrofotômetro de absorção atômica. H + Al a partir do extrator Acetato de Cálcio ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ) em pH 7,0. Para a determinação do carbono orgânico (CO) foi utilizado o método de Walkley-Black modificado. A partir destes resultados se obteve os seguintes índices: somas de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica efetiva – CTC (t), capacidade de troca catiônica total – CTC (T) a pH 7,0, saturação por alumínio (m%), saturação por bases (V%) e ISNa - Índice de Saturação por Sódio.

Realizou-se uma extração sulfúrica dos seguintes elementos: Al ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Fe ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Ti ( $\text{TiO}_2$ ), K, Ca, P, Na e Mn da fração TFSA. As amostras foram submetidas a digestão sulfúrica conforme Teixeira et al. (2017). O Si ( $\text{SiO}_2$ ) foi determinado a partir da sílica residual, após a digestão sulfúrica da TFSA o material retido em filtro foi solubilizado a partir de uma digestão alcalina com NaOH a 30%. Os teores dos elementos Al, Fe, Ti, K, Ca, P, Na e Mn foram obtidos a partir de espectrofotometria de emissão óptica em plasma induzido (ICP-OES) e o Si por espectrofotometria de absorção atômica. A partir dos resultados calculou-se os índices Ki e Kr.

A fração TFSA foi submetida a dispersão a partir de uma mistura de Hexametáfosfato de Sódio e NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  conforme Camargo et al. (2009) por apresentarem elevado pH e a presença de carbonatos. Após a dispersão mecânica e química realizou-se a separação da fração areia por peneiramento na malha de 0,053 mm e as frações argila e silte foram separadas pelo método do sifão. Posteriormente procedeu-se a determinação das frações granulométrica areia grossa, areia fina, silte e argila das amostras.

O mesmo procedimento para a separação das frações anteriormente descrito foi realizado para obtenção do material para análise mineralógica. Procedeu-se ainda a eliminação da matéria orgânica com NaClO 10%. As frações areia e silte foram preparadas em lâminas escavadas para a análise mineralógica, e a argila foi montada em lâminas orientadas.

A fração argila dos solos também foi submetida a três extrações sucessivas por Ditionito Citrato Bicarbonato (MEHRA; JACKSON, 2013) e extração única com oxalato de amônio (MCKEAGUE; DAY, 1966) para a obtenção dos teores de Fe, Al, Si e Mn. A quantificação dos valores foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica.

Quando se fez necessário, para a identificação de minerais 2:1, as amostras da fração argila foram submetidas a quatro tratamentos conforme descrito em Teixeira et al. (2017):

saturação com  $\text{MgCl}_2$  ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ), solvatação com etilenoglicol e  $\text{MgCl}_2$  ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ), saturação com  $\text{KCl}$  ( $1 \text{ mol L}^{-1}$ ) e posterior aquecimento destas lâminas a  $350$  e  $550$  °C.

As amostras foram submetidas a análise por difratometria de raios X (DRX) no aparelho Panalytical X'Pert PRO (radiação  $\text{CoK}\alpha$ ). Os padrões de difração de raios X foram coletados entre  $4$  e  $70$  °  $2\theta$ , a uma velocidade de varredura de  $1$  °  $2\theta \text{ min}^{-1}$ , com um potencial gerador de  $40 \text{ kV}$  e um gerador de corrente de  $40 \text{ mA}$ .

Selecionou-se as amostras da fração argila e silte do horizonte 2Ck1 que apresentaram uma assembleia mineralógica mais complexa, esta foi submetida a análise em microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo JEOL - JSM-6010LA, acoplado com sensores de espectroscopia EDS, do laboratório de microscopia eletrônica de varredura (DPF), da Universidade Federal de Viçosa. As lâminas foram cobertas com um filme condutor de ouro para a obtenção das imagens. Realizou-se análises químicas pontuais nos pontos em que se identificou minerais de interesse para a quantificação dos elementos componentes.

Realizou-se o fracionamento sequencial do fósforo inorgânico (Pi) conforme procedimentos propostos por Chang e Jackson (1957). Para a obtenção dos valores de Pi facilmente solúvel, ou ligado à água (Pi- $\text{H}_2\text{O}$ ), Pi ligado ao Alumínio (Pi-Al), Pi-ligado ao Ferro (Pi-Fe) e Pi ligado ao Cálcio (Pi-Ca) procedeu-se a quantificação por espectrofotometria de emissão ótica em plasma induzido (ICP-OES).

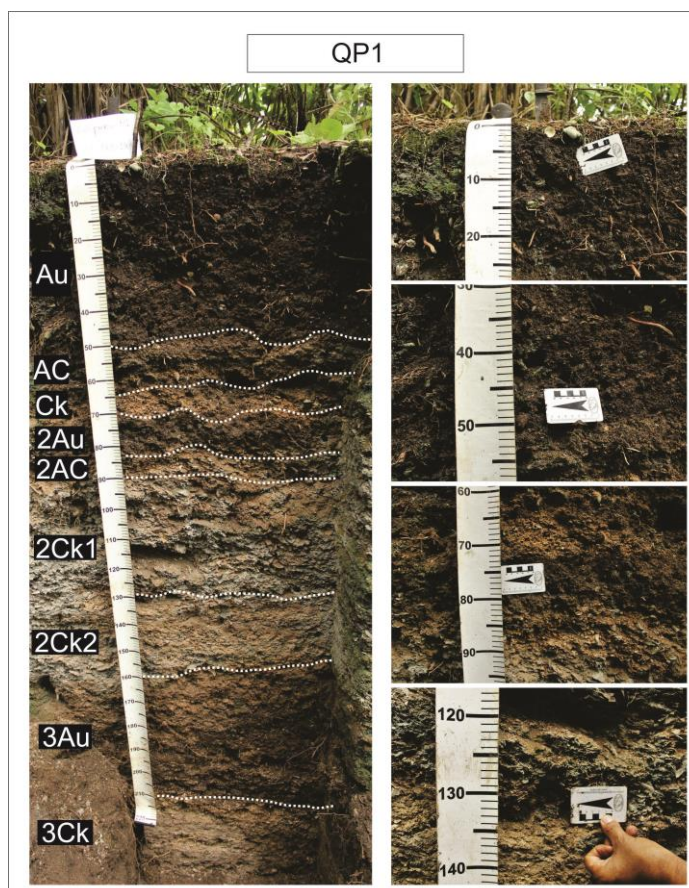
Quanto aos procedimentos para a datação das amostras, estas foram determinadas pelo método AMS, sigla em inglês para espectrometria de massa com aceleradores, no laboratório Beta Analytic. Inicialmente as amostras passaram por pré-tratamentos, foram trituradas e receberam banhos de  $\text{HCl}$  quente para eliminação de carbonatos e de  $\text{NaOH}$  para remoção de ácidos orgânicos secundários, a partir destes se tem as frações que posteriormente foram submetidas a datação. A técnica AMS consiste em transformar as amostras em grafite a partir de uma combustão a mais de  $800$ °C em atmosfera de  $100\%$  oxigênio em catalisador de cobalto. O produto desta queima é o  $\text{CO}_2$ , que é reduzido a grafite em reação com hidrogênio. Os dados analíticos da datação são obtidos comparando-se as relações  $\text{C}14/\text{C}13$  em relação ao  $\text{C}14/\text{C}13$  em ácido oxálico II (NIST-4990C). Todos os procedimentos analíticos são controlados pelo uso de padrões conhecidos.

Por fim, para a produção dos gráficos da distribuição geoquímica dos elementos na área do smabaqui utilizou-se o software R (R CORE TEAM, 2019).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

#### 3.1. Características gerais e classificação

O solo foi classificado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS) (Santos et al., 2017) como CHERNOSSOLO RÊNDZICO Órtico típico (Figura 2), em decorrência de sua elevada concentração de matéria orgânica que satisfaz as características de um horizonte A Chernozêmico. Entretanto, o horizonte cálcico exigido para a caracterização do Chernossolo é proveniente do material malacológico, rico em cálcio, depositado pela ocupação dos sambaqueiros. Importante ressaltar também que esta classe de solo não teve sua ocorrência identificada no estado do Pará (VIEIRA et al., 1971; EMBRAPA, 2016), sendo sua formação, nas condições ambientais do estado, condicionada a intervenção antrópica. Quanto a classificação na Legenda de Classificação Arqueopedológica (KÄMPF et al., 2009) foi classificado como Arqueoantopossolo Tâmbico ebânico, média, mesotrófico, cumúlico, estrático.



**Figura 2:** Perfil de Arqueo-antopossolo desenvolvido no sambaqui Porto da Mina, Quatiputu-PA.

Os horizontes do sambaqui Porto da Mina expressam a dinâmica de ocupação, abandono e reocupações ao sítio pelos grupos sambaquieiros. Os horizontes Au, 2Au e 3Au, em que se observa descontinuidades, com maiores acúmulo de matéria orgânica e menor deposição de materiais malacológicos, se relacionam com os períodos em que o sambaqui não estaria sendo ocupado, ou sua população estaria muito reduzida em comparação aos demais períodos. Os horizontes em que se observa maior acúmulo de conchas e exoesqueletos de moluscos, lentes de carvão, entre outros indicadores se associam aos períodos de ocupação mais intensa ou de maiores populações no sambaqui.

A distinção das camadas de deposição de conchas clássica dos sambaquis, daquelas com solo mais escuro decorrente da maior quantidade de matéria orgânica (MO), foi atribuída ao nomadismo dos grupos sambaquieiros (CAPANEMA, 1876). Posteriormente, outras associações a presença do que se denominou camadas terrosas (CAPANEMA, 1876; CANTO, 2016) na estratigrafia dos sambaquis, como a que é observado no Porto da Mina, foi feita por trabalhos como o de Roosevelt (1995) e Lopes (2016).

### 3.2. Caracterização física e morfológica

Quanto a granulometria do perfil, os horizontes, em sua maioria, apresentaram textura Franco-Argilo-Arenosa (Tabela 1), semelhantes aos obtidos por Ladeira (2018) avaliando os sambaquis Concha da Ostra e Una, na costa do Espírito Santo. Os resultados confirmam os obtidos por Lopes (2016) na descrição arqueológica do sambaqui, e os de Simões (1970) que avaliando o material sobre o qual se teria construído o sambaqui descreve este como solo areno-argiloso, que provavelmente é encontrado também nas proximidades do sítio, e por ação de transporte pode ter influenciado a textura das camadas do sambaqui. O resultado difere dos observados por Silveira et al. (2014), que estudaram o sambaqui Jacarequara em Barcarena no Pará e obtiveram texturas entre areia franca e franco arenoso, assim como Corrêa et al. (2011) que estudando sambaquis na região de Lagos no Rio de Janeiro observaram a predominância da fração areia. A formação dos horizontes mais argilosos e siltosos encontrada é atribuída a maior deposição de materiais antropogênicos, além da localização dos sítios na vertente que possibilitaram deposição de materiais mais finos.

**Tabela 1:** Propriedades morfológicas e físicas do Arqueo-antropossolo desenvolvido no sambaqui Porto da Mina, Quatipuru-PA.

Hor.	Camada	Cor úmida	Estrutura	Transição	A. grossa	A. fina	Silte	Argila	Classe textural
Símb.	(m)	Munsell			kg kg <sup>-1</sup>				
QP1 Quatipuru - CHERNOSSOLO RÊNDZICO Órtico típico									
Au	0,0 - 0,50	10YR 2/1	1,p, gr	pl e abr	0,16	0,25	0,24	0,36	Franco-Argilosa
AC	0,50 - 0,64	10YR 4/2	2,p, sb	pl e abr	0,41	0,16	0,19	0,23	Franco-Argilo-Arenosa
Ck	0,64 - 0,70	10YR 4/4	2,p, sb	pl e abr	0,45	0,15	0,19	0,22	Franco-Argilo-Arenosa
2Au	0,70 - 0,83	10YR 3/2	2,p, sb	pl e abr	0,38	0,18	0,21	0,23	Franco-Argilo-Arenosa
2AC	0,83 - 0,90	10YR 4/3	2,p, sb	pl e abr	0,48	0,15	0,14	0,23	Franco-Argilo-Arenosa
2Ck1	0,90 - 1,25	10YR 5/3	2,p, sb	pl e abr	0,44	0,14	0,18	0,23	Franco-Argilo-Arenosa
2Ck2	1,25 - 1,63	10YR 5/3	2,p, sb	pl e abr	0,33	0,16	0,24	0,28	Franco-Argilo-Arenosa
3Au	1,63 - 2,10	10YR 3/3	2,p, sb	pl e abr	0,42	0,17	0,18	0,24	Franco-Argilo-Arenosa
3Ck	2,10 - 2,50 +	10YR 5/3	2,p, sb	-	0,41	0,20	0,16	0,23	Franco-Argilo-Arenosa

Estrutura: 1 – fraca, 2 – moderada, 3 – forte; ond – ondulada; gra – gradual; cl – clara, abr – abrupta, pl – plana, dif – difusa, ir – irregular, p – pequena, m – média; g – grande; gr – granular, sb – blocos subangulares, gs – grãos simples.

A cor dos horizontes negros, característica de solos transformados por ação antropogênica, variaram entre 10YR2/1 a 10YR 5/3, e se assemelham as encontradas por Silveira et al. (2014), Corrêa (2007) e Corrêa et al., (2011), e é influenciada pela presença de frações mais recalcitrantes da matéria orgânica (CUNHA et al., 2007), e pela queima fria de resíduos (LIMA, 2001; GLASER et al., 2003; KÄMPF et al., 2003; WOODS, 2003; CORRÊA et al., 2011), além dos elevados valores de pH (Tabela 2) que possibilitam uma maior conservação dos materiais.

### 3.3. Características químicas e geoquímicas

**Tabela 2:** Caracterização químicas do Aqueo-antropossolo formado no sambaqui Porto da Mina, Quatipuru-PA, Amazônia oriental.

Hor (m)	pH			P mg kg <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	H+Al	SB	T	T	V	m	ISNa	CO	P-rem	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cd	Pb
	H <sub>2</sub> O	KCl	ΔpH																							
QPI Quatipuru – CHERNOSSOLO RÊNDZICO Órtico típico																										
Au	7,82	6,82	-1,0	1144,50	27	74	16,25	0,25	0,00	0,00	16,89	16,89	16,89	100,00	0,00	1,90	33,04	13,7	0,6	1,9	1,5	1,2	0,3	1,8	0,7	1,2
AC	8,08	7,29	-0,8	346,60	25	40	7,92	0,12	0,00	0,00	8,28	8,28	8,28	100,00	0,00	2,10	1,56	12	0,5	1,9	1,4	1,0	0,1	1,9	0,5	1,0
Ck	8,19	7,59	-0,6	414,80	29	44	4,99	0,1	0,00	0,00	5,36	5,36	5,36	100,00	0,00	3,57	6,19	11,4	0,5	1,8	1,5	1,1	0,2	2,0	0,5	1,0
2Au	8,18	7,43	-0,8	366,60	27	40	7,18	0,16	0,00	0,00	7,58	7,58	7,58	100,00	0,00	2,29	7,75	12	0,5	2,9	1,5	1,3	0,2	2,0	0,5	1,0
2AC	8,26	7,56	-0,7	414,80	31	48	7,36	0,17	0,00	0,00	7,82	7,82	7,82	100,00	0,00	2,67	3,88	13	0,5	3,6	1,7	1,8	0,1	1,9	0,4	0,7
2Ck1	8,25	7,45	-0,8	340,00	29	52	7,37	0,15	0,00	0,00	7,82	7,82	7,82	100,00	0,00	2,89	7,75	12,6	0,5	3,3	1,6	1,3	0,1	1,9	0,5	1,1
2Ck2	8,21	7,48	-0,7	634,80	31	80	9,14	0,3	0,00	0,00	9,87	9,87	9,87	100,00	0,00	3,52	12,44	6,3	0,6	1,9	1,6	1,8	0,1	1,9	0,4	0,9
3Au	8,22	7,6	-0,6	304,10	31	84	8,11	0,24	0,00	0,00	8,79	8,79	8,79	100,00	0,00	4,15	14,76	10,4	0,5	1,5	1,4	1,1	0,1	2,0	0,5	0,9
3Ck	8,28	7,71	-0,6	290,90	31	88	7,79	0,18	0,00	0,00	8,43	8,43	8,43	100,00	0,00	4,54	9,32	9	0,5	1,4	1,4	1,0	0,2	1,9	0,5	0,8

Legenda: P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Cd - Pb - Ni - Cr - Extrator Mehlich-1; Ca<sup>2+</sup> - Mg<sup>2+</sup> - Al<sup>3+</sup> - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> - pH 7,0; SB = Soma de Bases Trocáveis; t - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva T - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V= Índice de Saturação por Bases; m= Índice de Saturação por Alumínio; ISNa - Índice de Saturação por Sódio; CO (Carbono Orgânico) -Walkley-Black;

Os valores de pH em H<sub>2</sub>O dos horizontes são classificados segundo Santos et al. (2018) como moderadamente alcalino a fortemente alcalino, enquanto do ponto de vista agrônomico são classificados por Ribeiro et al. (1999) como alcalino a muito alcalino. Estes elevados valores são determinados pelo Cálcio liberado a partir da degradação de ossos e exoesqueletos de crustáceos depositados em decorrência das atividades antrópicas (CORRÊA, 2007), além dos incrementos provenientes da queima de material orgânico que incorporam cátions de reação alcalina (WOODS, 2003). Como consequência deste pH elevado tem-se valores não detectados de Al<sup>+3</sup> e de Al+H, evidenciando a influência do pH na atividade do Al<sup>+3</sup>. Os valores de pH em KCl são sempre inferiores aos em H<sub>2</sub>O, resultando em um ΔpH sempre negativo, que reflete em uma predominância de cargas negativas superficiais.

Os maiores teores de carbono orgânico (CO) são observados nos horizontes com deposição de materiais antrópicos menos intensas, que são associados ao período de abandono temporário dos sítios. As menores concentrações nos demais horizontes pode ser atribuída a limpeza da área, que era realizada pelos sambaquieiros com a utilização de fogo nos períodos de ocupação do sítio conforme identificado por Lopes (2016). Esta limpeza provavelmente reduzia a quantidade de matéria orgânica depositada, resultando nos menores valores encontrados nos horizontes associados aos períodos de ocupação.

A presença do Na<sup>+</sup> é associada a paisagem dos campos salinos inundáveis sob substrato lamoso, característico dos depósitos holocênicos, sendo observado ainda a presença de solos hidromórficos salinos nas áreas de Quatipuru (RIBEIRO NETO et al., 2011). Apesar de estarem presentes, os teores de Na são bem inferiores aos observados por Corrêa et al. (2011), que atribuíram seus elevados valores a influência exercida pela proximidade do mar que fornece spray salino aos solos dos sambaquis. No caso do presente estudo, o índice de saturação por sódio (ISNa) e o Na disponível, mesmo baixos, foram os mais elevados em comparação com os demais solos antrópicos estudados na ilha de Marajó (Capítulo 1).

Os micronutrientes Fe, Zn, Cu e Mn apresentaram valores do ponto de vista agrônomico considerados muito baixo e baixos para Fe, Cu e Mn, e médio a bom para o Zn. Os teores são bem inferiores aos registrados na literatura em solos desenvolvidos de sambaquis no Norte e Sudeste do país. Estes micronutrientes são considerados indicadores de ocupação humana, tendo como fontes tecidos vegetais e animais, urina (principalmente Cobre) e fezes humanas (Zinco). Para Sokoloff e Carter (1952) a diminuição dos teores de Cobre se correlacionam

diretamente com a idade dos sítios, e que em sítios com idade superior a 2000 anos estes se equiparam aos de solos que não receberam ocupação, o que é o caso do Porto da Mina.

As métricas obtidas a partir da quantificação dos elementos disponíveis como soma de bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (t), Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0 (T) e Índice de Saturação por Bases (V%) indicam elevada fertilidade do solo, além de sua significativa capacidade de retenção de cátions, muito superior aos valores encontrados nos solos típicos de sedimentos da Formação Barreiras. Essas métricas, com exceção da V%, apresentam tendência de decréscimo em profundidade e não exibem valores maiores nos horizontes de maior deposição de materiais antrópicos, demonstrando a movimentação dos elementos no perfil, ou uma origem da fertilidade não exclusivamente dependente da deposição das conchas, tendo sua procedência relacionada a matéria orgânica decomposta de atividades específicas, como sepultamentos (REIS, 2015), ou queima parcial de resíduos orgânicos (SCHAEFER et al., 2000; GLASER et al., 2001; LIMA et al., 2002; LEHMANN et al., 2003; KÄMPF; KERN, 2005; CAMPOS et al., 2011; MIRANDA, 2018).

Os teores disponíveis dos nutrientes P,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{K}^{+}$ , de acordo com Ribeiro et al. (1999) são considerados, do ponto de vista agrônômico, como baixos para  $\text{Mg}^{+2}$  e K, e muito bons para P e  $\text{Ca}^{+2}$ . A principal fonte destes nutrientes em horizontes antrópicos são ossos, espinhas de peixe, exoesqueletos de moluscos entre outros materiais descartados que fornecem estes elementos a partir de calcita e apatita biogênica sendo degradada, a disponibilidade é limitada ainda pela quantidade descartada (LIMA et al., 2002; SCHAEFER et al., 2004; SOUZA et al., 2009; CORRÊA et al., 2011). Os valores se assemelham aos encontrados por Silveira et al. (2014) e Reis (2015) em sambaquis no Pará, mas são bem inferiores aos encontrados por Corrêa et al. (2011) em sambaquis do Sudeste, principalmente no que se refere aos teores de P, K e  $\text{Mg}^{+2}$  disponíveis.

De acordo com Miranda (2018), reduções nos teores de P, principalmente as frações mais lábeis tem relação direta com o tempo, características físico-químicas dos solos e condições climáticas. Estes teores inferiores podem tanto estar associados a condições ambientais que propiciam a maior liberação do P dos materiais para o solo quanto para a perda por lixiviação. As médias pluviométricas e de temperatura em Quatipuru são maiores em relação às da cidade de Arraial do Cabo (RJ), onde se localiza os sambaquis estudados por Corrêa et al. (2011). Além disso, a ação dos agentes ativos do intemperismo em condições equatoriais na liberação de P são distintas, e o tempo de ação destes agentes também foi

diferenciado; enquanto os sambaquis do sudeste são datados entre  $1.623 \pm 32$  a 4.820 AP (antes do presente) (TENÓRIO et al., 2010), o sambaqui Porto da Mina possui datações entre 6.170 a 5.925 AP (LOPES, 2016). Fatores antrópicos que incluem o tamanho da população e o tempo de ocupação no sítio (COSTA et al., 2009; SILVA et al., 2011; CAMPOS et al., 2012; SILVEIRA et al., 2016), o abandono temporário, mudanças no tamanho da população ou na forma de subsistência, também podem ter influenciado os teores de P inferiores, observados no Porto da Mina (SJOBERG, 1976).

Além disso, são observados teores consideráveis da fração P facilmente solúvel, ou P ligado a água (Tabela 3), consequência dos elevados teores de P total neste solo, facilmente perdido via lixiviação. Observa-se uma tendência de incremento desta fração mais solúvel em profundidade. Apesar de que a fração de P inorgânico predominante neste solo ser a ligada ao Ca, os maiores valores desse elemento se correlacionaram com os horizontes com maiores teores de CO, provavelmente devido a mecanismos de estabilização do Ca pela matéria orgânica (TEIXEIRA et al., 2012), seguidos pelas frações ligadas ao Alumínio e ao Ferro.

O P total obtido nos horizontes variou de 17,88 a 7,12 g kg<sup>-1</sup>, com redução dos teores em profundidade, se assemelhando aos valores encontrados por Reis (2015). O elevado teor de P nos Antropossolos da Amazônia é atribuído principalmente à deposição de materiais como fezes, urina, plantas e ossos de peixes e de outros animais (WOODS, 2003; SCHAEFER et al., 2004), que em decorrência de processos pedogenéticos sofrem alterações ao longo do tempo passando de formas cristalinas estáveis para formas solúveis de P-Ca (SATO et al., 2009; MACEDO et al., 2019), que consiste na fração predominante neste solo.

**Tabela 3:** Teores dos óxidos de K, Ca, Mn, Ti, Fe, Al e P total obtidos por digestão sulfúrica, SiO<sub>2</sub> obtido por digestão alcalina, relações moleculares Ki, Kr e fracionamento sequencial do P inorgânico do Arqueo-antropossolo desenvolvido no sambaqui Porto da Mina.

Hor.	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	TiO <sub>2</sub>	P total	Pi_H <sub>2</sub> O	Pi_Al	Pi_Ca	Pi_Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ki	Kr	$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$
g kg <sup>-1</sup>															
QP1 – Quatipuru - CHERNOSSOLO RÊNDZICO Órtico típico															
Au	1,39	45,16	0,28	1,94	17,88	0,04	1,47	11,24	0,82	15,71	41,89	17,07	0,64	0,18	3,85
AC	0,71	46,57	0,14	0,91	15,88	0,07	0,30	8,51	0,30	4,60	20,69	8,77	0,38	0,11	3,70
Ck	0,67	47,79	0,09	0,54	14,24	0,09	0,40	3,24	0,02	1,68	13,18	5,85	0,22	0,06	3,54
2Au	0,77	46,98	0,13	0,85	13,19	0,06	0,31	10,40	0,00	4,71	18,43	7,29	0,43	0,12	3,97
2AC	0,78	47,99	0,14	0,81	9,35	0,10	0,23	5,97	0,00	6,82	17,60	11,12	0,66	0,17	2,48
2Ck1	1,00	49,82	0,16	0,94	10,67	0,06	0,15	2,98	0,13	4,50	20,39	8,01	0,37	0,11	4,00
2Ck2	1,00	46,99	0,13	1,02	13,62	0,04	0,88	6,02	0,14	10,50	21,59	9,24	0,83	0,23	3,67
3Au	0,67	43,88	0,10	0,77	9,97	0,06	0,41	3,91	0,15	7,54	15,06	6,49	0,85	0,24	3,65
3Ck	0,60	47,85	0,09	0,73	7,12	0,06	0,20	4,55	0,09	5,60	12,22	5,21	0,78	0,22	3,69

Pi\_H<sub>2</sub>O = fósforo inorgânico ligado a água, Pi\_Al = fósforo inorgânico ligado ao alumínio, Pi\_Ca = fósforo inorgânico ligado ao cálcio, Pi\_Fe = fósforo inorgânico ligado ao ferro conforme Chang e Jackson (1957); Ki =

$1,7 \times \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$  e  $K_r = (\text{SiO}_2 \times 1,7) / [\text{Al}_2\text{O}_3 + (0,64 \times \text{Fe}_2\text{O}_3)]$  (Teixeira, 2017).  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{MnO}$  foram determinados de acordo com Teixeira et al., 2017;  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 = (\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3).1,57$ .

Os teores de Ca extraídos por ataque sulfúrico foram muito elevados, e superiores aos obtidos por Corrêa et al. (2011) por meio de digestão com ácido fluorídrico (HF), mais agressivo e que inclui frações mais grosseiras do solo na análise, o que pode ser explicado por uma maior abundância de recursos alimentares ricos em cálcio, resultando em maiores deposições de materiais no sambaqui (MIRANDA, 2018). As diferentes fontes alimentares também podem ter influência nestes teores, já que existe diferença na matriz malacológica dos sambaquis, inclusive, dentro da região amazônica em função dos diferentes contextos geoambientais (PUGLIESE; ZIMPEL NETO; NEVES, 2018). Outra fonte de Ca existente nos sambaquis da região amazônica, em específico os da fase mina, como o Porto da Mina, são fragmentos cerâmicos presentes em toda sua matriz estratigráfica (SIMÕES, 1981; LOPES; GASPAR; GOMES, 2018). Os grupos desta fase utilizavam conchas trituradas como antiplástico no preparo de suas cerâmicas, e este material triturado, apresentando uma maior área de superfície específica, constituindo mais uma fonte de liberação de Ca para o sistema.

Os valores dos índices  $K_i$  e  $K_r$  do perfil são considerados representativos de perfis com processo pedogenético avançado, o que não condiz com a realidade do perfil. Os dados corroboram com Corrêa et al. (2011), que afirmam que estes índices são inviáveis para avaliar a natureza mineralógica da fração argila de solos desenvolvidos de sambaquis. Os valores da relação molecular  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$  indicam a presença de minerais com Al na composição, como por exemplo a caulinita, provavelmente associado ao material de origem sedimentos pós Barreiras, apesar de serem inferiores aos encontrados nos Arqueo-antropossolos da ilha de Marajó (Capítulo 1).

Observa-se ainda pequena variação dos teores de  $\text{TiO}_2$  ao longo do perfil. Por se tratar de um elemento residual do intemperismo, o Ti possui uma tendência a acumulação em função de fatores como material de origem e grau de evolução pedogenética (SOUZA, 2011), o que mostra uma homogeneidade do material de origem (MAFRA et al., 2001; SANTOS et al., 2018).

Tem-se, em decorrência dos elevados valores de pH, observados nos horizontes, uma alta solubilidade de Si no sistema, passível de lixiviação, resultando nos baixos teores obtidos desse elemento. O valor mais elevado de Si foi observado no horizonte superficial Au, que respectivamente é o de pH menos alcalino. A condição alcalina, associada a presença da matéria orgânica humificada inibe também a formação de espécies bem cristalizadas de Fe,

além de contribuir para a dissolução parcial de óxidos de Fe como a goethita, os tornando suscetíveis a perda por lixiviação (LEMOS et al., 2009; MACEDO et al., 2019), implicando nos baixos valores observados no perfil.

Os teores baixos de ferro são ainda indicados pelos poucos picos de óxidos de ferro na mineralogia dos horizontes, sendo os observados provavelmente provenientes da degradação dos fragmentos de laterita relatados por Simões (1981) e Lopes (2016), visto a predominância de espécies de Fe mal cristalizadas no perfil (Tabela 4). Incrementos na dissolução redutiva de óxidos de Fe associados a matéria orgânica também foram relatados em outros sítios arqueológicos (LEMOS et al., 2009; MACEDO et al., 2017). O processo de desferrificação de concreções lateríticas ainda libera Al e Si para a matriz do solo, aumentando a estabilidade do material caulinítico (MACEDO et al., 2017).

**Tabela 4:** Teores de Mn, Al e Fe extraídos por DCB (Fed) e oxalato de amônio (Feo) e suas respectivas relações do Arqueo-antropossolos formado no sambaqui Porto da Mina.

Hor	Mno	Mnd	Fed	Feo	Ald	Alo	Feo	Fed	Alo	Al
	mg kg <sup>-1</sup>			g kg <sup>-1</sup>			Fed	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ald	Al + Fe
QPI Quatipuru - CHERNOSSOLO RÊNDZICO Órtico típico										
<b>Au</b>	3,30	1,50	12,84	1,55	6,45	0,60	0,12	0,75	0,09	0,51
<b>AC</b>	31,10	0,60	8,91	2,12	4,84	5,10	0,24	1,02	1,05	0,53
<b>Ck</b>	25,00	0,60	8,49	1,84	2,35	1,60	0,22	1,45	0,68	0,36
<b>2Au</b>	22,40	0,80	8,47	1,97	4,07	3,30	0,23	1,16	0,81	0,50
<b>2AC</b>	42,70	0,70	12,46	2,45	3,11	3,20	0,20	1,12	1,03	0,34
<b>2Ck1</b>	18,00	1,00	8,99	1,77	5,02	4,38	0,20	1,12	0,87	0,54
<b>2Ck2</b>	4,00	0,60	8,07	1,66	2,82	2,88	0,21	0,87	1,02	0,42
<b>3Au</b>	4,40	0,70	6,54	1,43	2,03	3,28	0,22	1,01	1,61	0,39
<b>3Ck</b>	4,40	0,80	4,92	1,77	1,44	3,19	0,36	0,94	2,21	0,38

Fed, Mnd e Ald de acordo com Mehra e Jackson (1960) e Feo, Mno e Alo de acordo com McKeague e Day (1966); substituição isomórfica de Fe por Al calculado por  $Al/(Al+Fe) = [Ald/(Ald+0,483.Fed)]$  em mol mol<sup>-1</sup> (Cornell & Schwertmann, 1996).

Os teores de Mn extraídos com oxalato (Mno) foram os menores obtidos, sendo necessária sua representação em mg kg<sup>-1</sup>. Já os maiores teores foram os de Fe extraído por ditionito (Fed), que variaram de 4,92 no horizonte mais subsuperficial, a 12,84 g kg<sup>-1</sup> no horizonte mais superficial. Apesar disto os valores são considerados baixos, assim como os encontrados por Lima et al. (2002) e Santos et al. (2018) que atribuíram os resultados a pobreza em ferro do material de origem, as condições úmidas durante o processo de transporte e deposição dos sedimentos, e as condições bioclimáticas atuais da região amazônica.

Os altos valores da relação Fe pobremente cristalizado determinado com oxalato de amônio (Feo) pelo Fe bem cristalizado determinado por ditionito (Fed) Feo/Fed indicam a

predominância de formas de ferro de baixa cristalinidade ou amorfos no solo, que tem sua formação influenciada pela presença de matéria orgânica humificada no perfil (LEMOS et al., 2009). Pesquisas também tem indicado que maiores teores de matéria orgânica podem levar a um aumento nos sesquióxidos finamente divididos (SANCHES; UEHARA, 1980). Corroborando com isto estão os resultados da substituição isomórfica calculados pela relação  $Al/(Al+Fe)$ , que resultaram em valores superiores ao limite máximo estabelecido suportado pela estrutura da goethita, de  $0,33 \text{ mol mol}^{-1}$  (SCHWERTMANN; TAYLOR, 1989). Estes elevados valores de substituição podem indicar ainda a solubilização de fontes de Al com o DCB que são insolúveis com o oxalato (CORREA et al., 2008). Já os valores maiores da relação  $Al_0/Al_d$  indicam menor substituição de Fe por Al (LIMA, 2001).

Outro efeito da relação  $Fe_o/Fe_d$  elevada é sobre a fixação do P. Os maiores teores de óxidos de Fe pobremente cristalizados que puxam a relação pra cima, tem sido caracterizados como um dos principais componentes na adsorção de fosfatos (LEAL; VELOSO, 1973; BAHIA FILHO et al., 1983). A maior capacidade de retenção por esses óxidos tem sido atribuída a maior área de superfície específica que esses óxidos apresentam em relação aos bem cristalizados (SAMBATTI et al., 2002).

#### 3.4. Caracterização mineralógica e microscópica das frações

As intervenções antrópicas incorridas no material que originou o sambaqui Porto da Mina levaram a modificações não apenas em suas características físicas e químicas, mas também a nível de mineralogia. A caracterização mineralógica das diferentes frações presentes nos horizontes do sambaqui Porto da Mina pode ser observados nas Figuras 3 e 4. As frações areia e silte dos horizontes são constituídas por feldspato, quartzo e por calcita basicamente, este último mineral provém dos materiais malacológicos, ricos em carbonato de cálcio, predominantes na matriz estratigráfica do perfil.

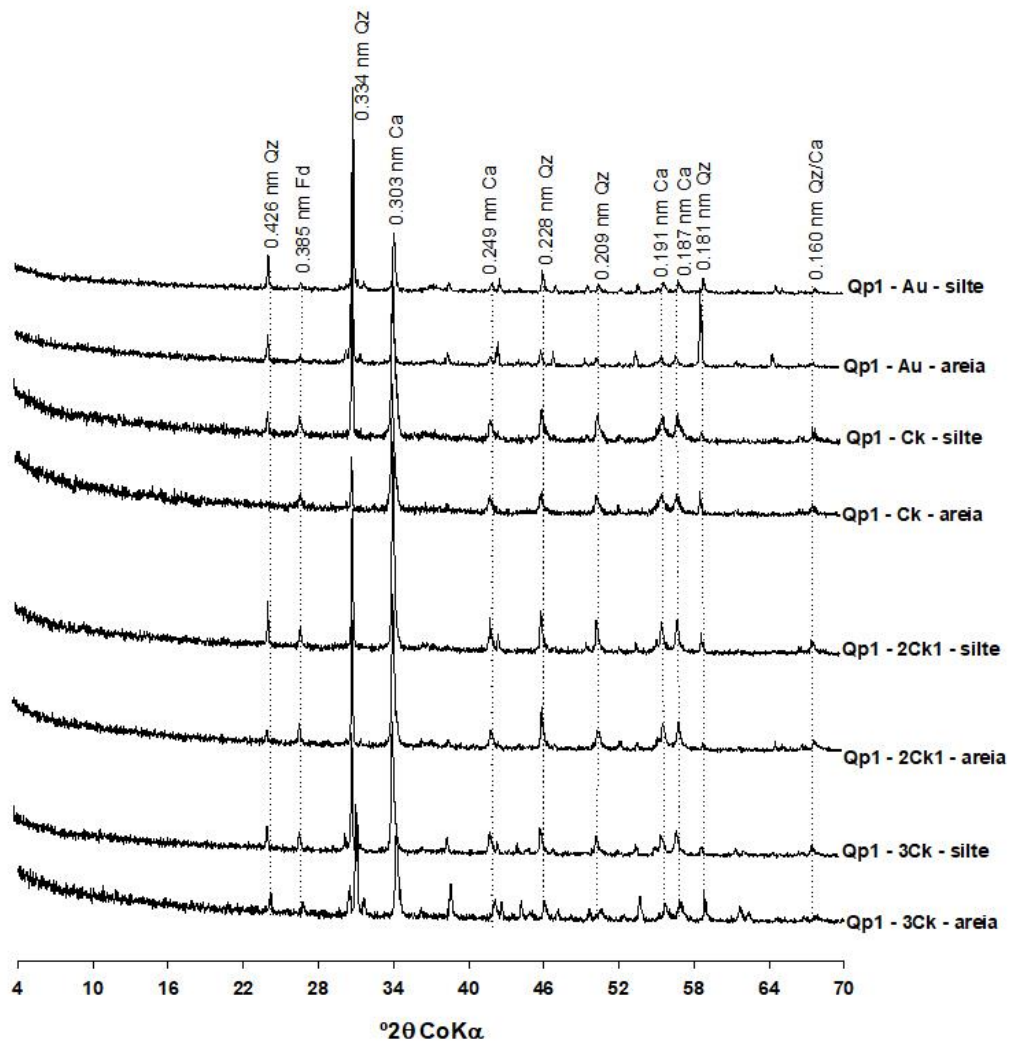
A fração argila é constituída por inúmeros minerais, sendo a maior heterogeneidade identificada no horizonte 2Ck1 em que se observou a presença de plagioclásio, provavelmente calco-sódico, feldspatos, calcita, hidroxiapatita, maghemita e anatásio. O óxido de titânio também foi identificado por Lima (2001), estes representam entre 2 e 3% da composição mineralógica de Latossolos Amarelos. Outros relatos da presença de anatásio em solos da região Amazônica foram feitos, entretanto os autores não identificaram se o mineral era proveniente do material de origem ou neoforado (IRION, 1984; KER, 1995; LIMA, 2001).

Quartzo e picos menores de goethita e hematita também foram identificados, contudo, os minerais com a maior predominância no perfil foram calcita, hidroxiapatita e halita.

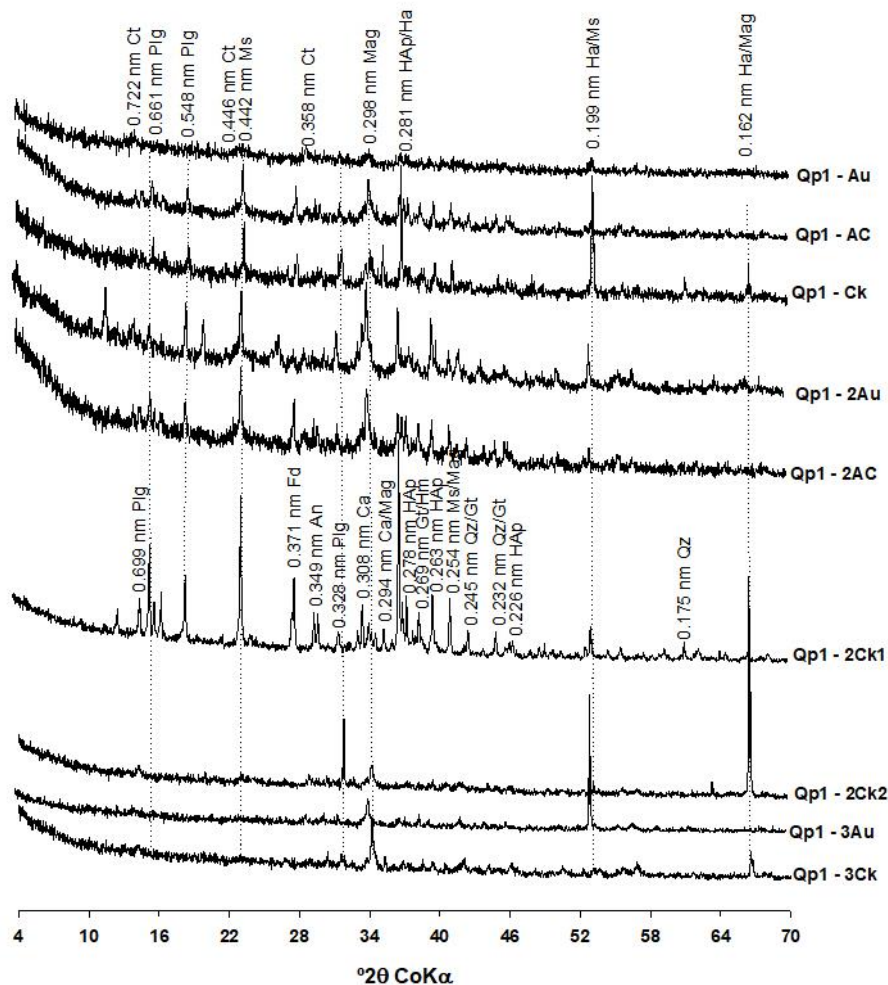
O aporte de conchas e demais exoesqueletos também influenciaram nas frações mais finas do solo, indicado pela abundância de picos do mineral constituído por carbonato de cálcio. A calcita proveniente destes materiais orgânicos se forma por um processo de substituição aniônica e alterações de cristalinidade (STATHOPOULOU et al., 2008), no qual a microestrutura orgânica dos ossos, por exemplo, são modificadas por ação bacteriana em ambiente alcalino (JACKES et al., 2001). A reação que causa a degradação do colágeno dos ossos produz amônia, que contribui para a manutenção de condições alcalinas no meio. No decorrer do processo o osso apresenta maior porosidade e desidratação levando a neocristalização da calcita (AGUILERA et al., 2016; JANS et al., 2004).

No decorrer do processo de degradação dos materiais ósseos, a destruição do colágeno leva a maior porosidade, devido a dissolução da hidroxiapatita na matriz óssea (AGUILLERA et al., 2016), o fosfato se torna então mais susceptível a perdas por lixiviação. De acordo com o autor a hidroxiapatita em pH neutro a alcalino, como o observado nos sambaquis, entra em equilíbrio com as concentrações de cálcio e fosfato do sistema, o que explica a permanência deste material na mineralogia do sambaqui estudado. Não foi observado a presença de aragonita, o que é condizente com a cronologia avançada do sitio (MARTIN et al., 1986; SILVEIRA, 2014).

Já os picos de halita observados no perfil, também foram identificados por Gernet (2012) e Ladeira (2018) em solos de sambaqui. A presença desse mineral é associada a ocorrência de spray salino proveniente da proximidade com o litoral. No caso do sambaqui Porto da Mina sua localização em ambiente de manguezal é característico de presença de sais no solo. Foram observados também picos de maghemita, principalmente nos horizontes de maior deposição de conchas, que são associados a ocupação ativa do sitio. A formação deste mineral é atribuída ao manejo dos Arqueo-antropossolos, como o uso intensivo de fogo que transforma os óxidos de ferro como a hematita em maghemita, na presença de matéria orgânica (SCHWERTMANN; CARLSON; FECHTER, 1984; SÖDERSTRÖM et al., 2013). Lopes (2016) identificou a presença de lentes de carvão agregadas a mexilhões, que foram interpretadas como indicadores do uso do fogo pela comunidade com diversas finalidades, como limpeza e manutenção do sambaqui, rituais, produção de objetos, cocção de alimentos etc., o que explicaria a presença do mineral principalmente nestes horizontes.

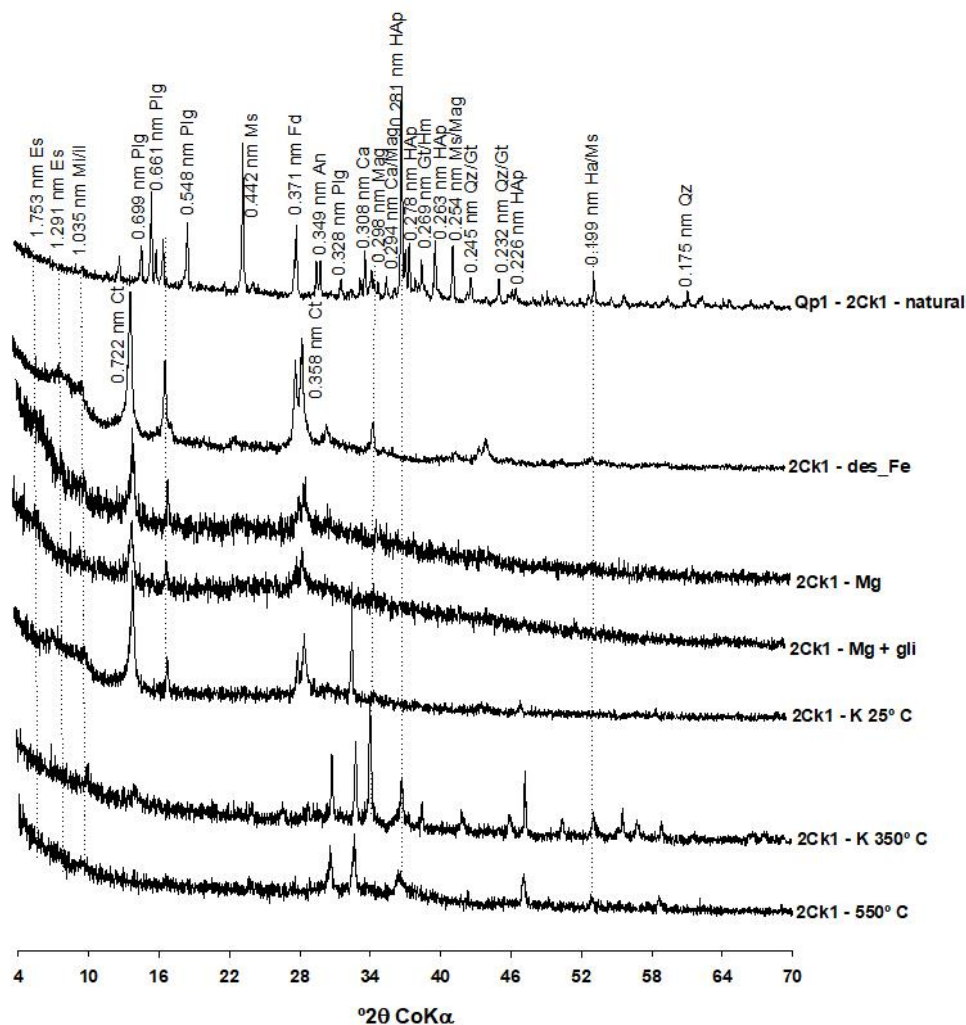


**Figura 3:** Padrões de DRX obtidos dos horizontes do perfil Qp1 (lamina escavada) das frações silte e areia; Fd = feldspato; Qz = quartzo ; Ca = calcita.

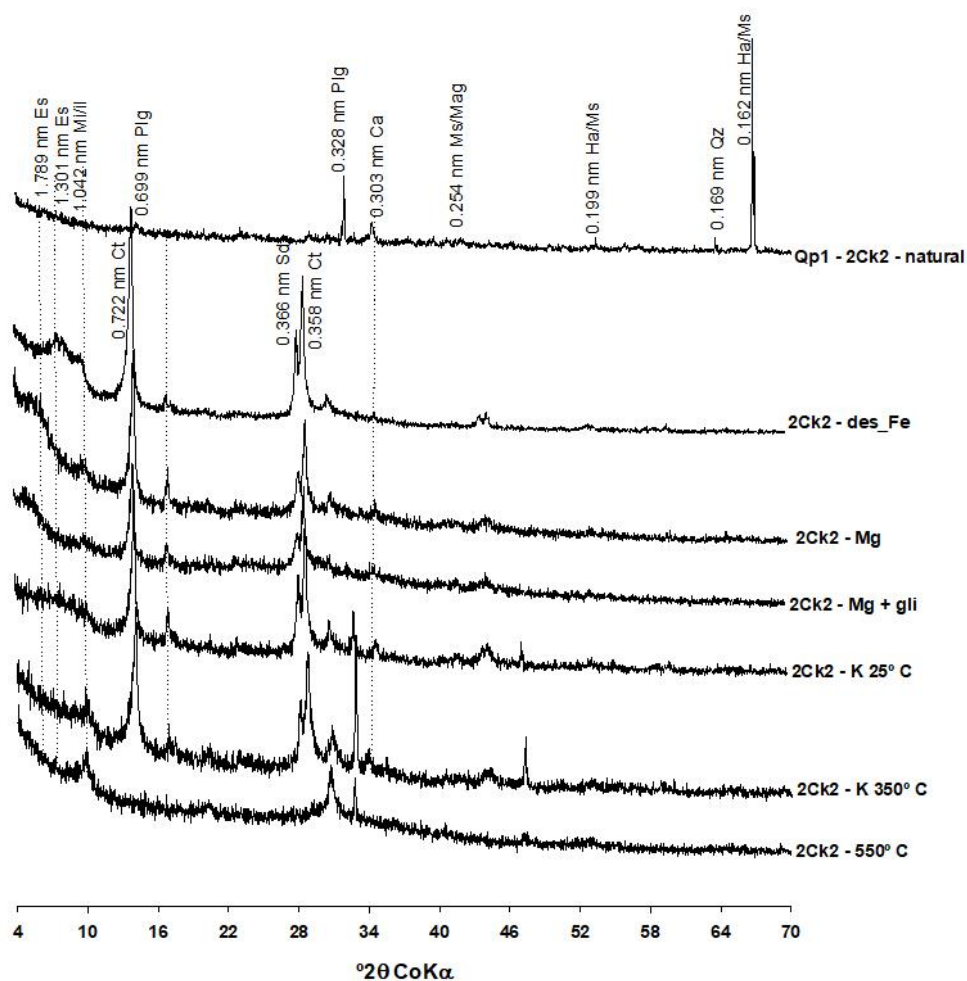


**Figura 4:** Padrões de DRX obtidos dos horizontes do perfil Qp1 (pó orientado) da fração argila natural. Ct = caulinita; Gb = gibbsita; Gt = goethita; Hm = hematita; Qz = quartzo; An = anatásio; Fd = feldspato; Ca = calcita; Ha = halita; Hap = hidroxiapatita; Ms = muscovita; Mag = maghemita; plg = plagioclásio.

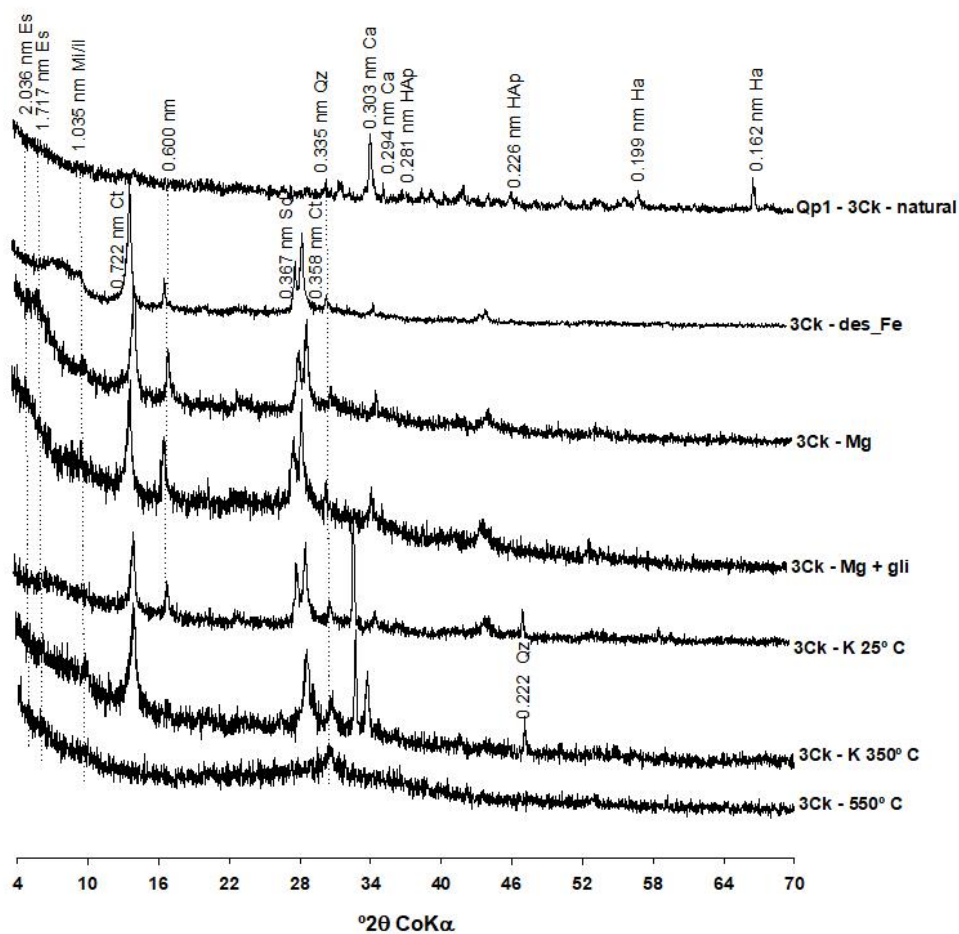
Destaca-se a pouca intensidade dos picos da caulinita, que de maneira geral é pouco comum nos solos predominantemente caulíníticos do Brasil. Tais resultados diferem dos encontrados por Reis (2015) e Ladeira (2018) que estudaram sambaquis em solos de mineralogia caulínítica. Isto pode ser decorrente da grande quantidade de ruídos presentes nos difratogramas, ocasionado pela intensa presença de materiais amorfos no solo. Após a remoção dos materiais amorfos, principalmente óxidos a partir do uso do DCB e do OAA, foi possível verificar os picos da caulinita. Estes difratogramas juntamente com os tratamentos para a identificação de argilominerais 2:1 podem ser observados nas Figuras 5 a 7.



**Figura 5:** Padrões de DRX obtidos do horizonte 2Ck1 do perfil Qp1 (pó orientado). Natural = argila natural, arg\_desFe = argila desferificada, Mg = saturada com magnésio, Mg + Gli = saturada por magnésio mais glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 oC e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 oC; Es = esmectita; Mi = mica; il = ilita; Ct = caulinita; Gb = gibbsita; Gt = goethita; Hm = hematita; Qz = quartzo; An = anatásio; Fd = feldspato; Ca = calcita; Ha = halita; Hap = hidroxiapatita; Ms = muscovita; Mag = maghemita; plg = plagioclásio.



**Figura 6:** Padrões de DRX obtidos do horizonte 2Ck2 do perfil Qp1 (pó orientado). Natural = argila natural, arg\_desFe = argila desferrificada, Mg = saturada com magnésio, Mg + Gli = saturada por magnésio mais glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 oC e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 oC; Es = esmectita; Mi = mica; il = ilita; Ct = caulinita; Qz = quartzo; Ca = calcita; Ha = halita; Hap = hidroxiapatita; Ms = muscovita; Sd = sodalita; plg = plagioclásio.



**Figura 7:** Padrões de DRX obtidos do horizonte 3Ck do perfil Qp1 (pó orientado). Natural = argila natural, arg\_desFe = argila desferrificada, Mg = saturada com magnésio, Mg + Gli = saturada por magnésio mais glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 oC e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 oC; Es = esmectita; Mi = mica; il = ilita; Ct = caulinita; Qz = quartzo; Ca = calcita; Ha = halita; Hap = hidroxiapatita; Ms = muscovita; Sd = sodalita; plg = plagioclásio.

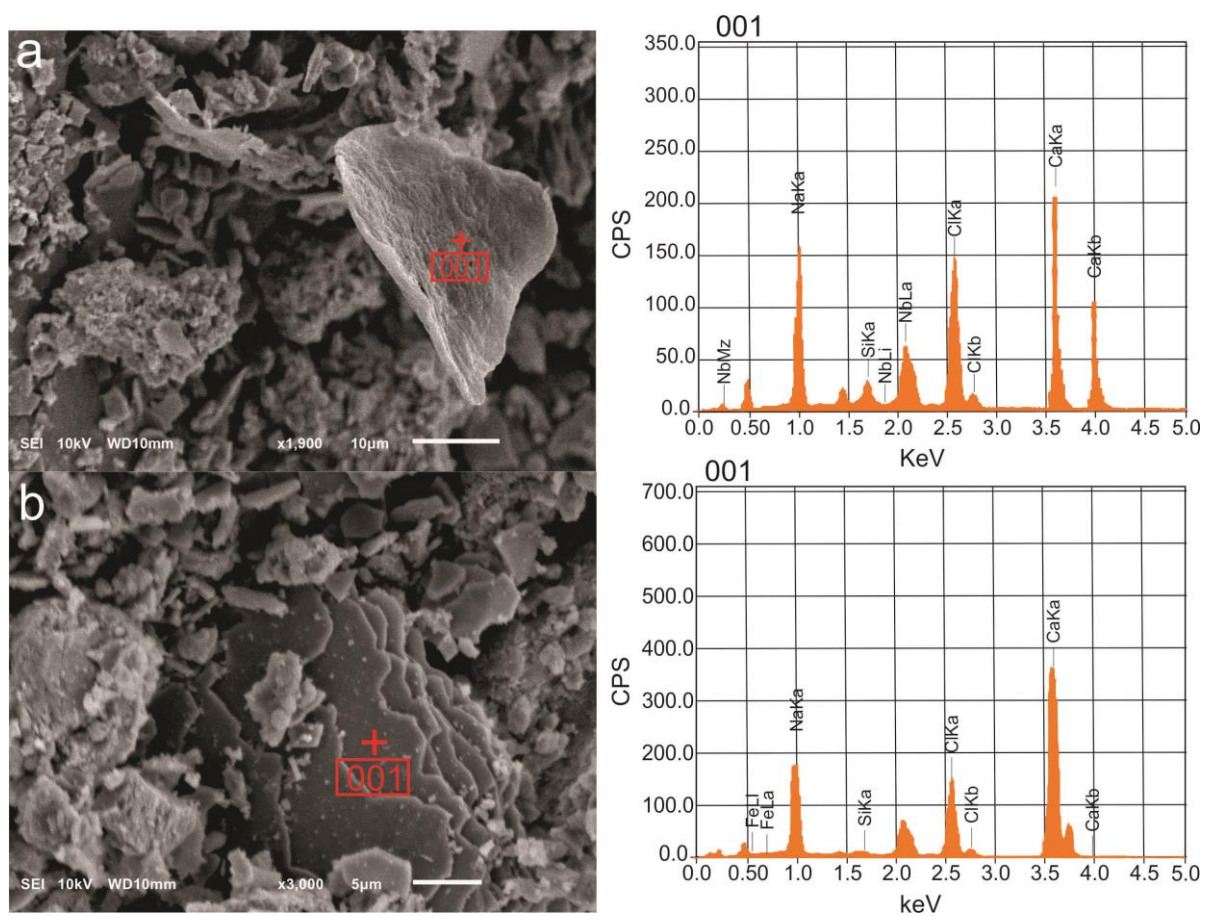
Identificou-se a partir da saturação com KCl e MgCl das amostras de argila desferrificada a presença de mica, illita e esmectita nos horizontes 2Ck1, 2Ck2 e 3Ck. A ocorrência destes argilominerais nas condições presentes no sambaqui Porto da Mina pode ser associada a elevada concentração de Ca, e a presença de Mg e K caracterizando um ambiente rico em bases necessárias para a formação e manutenção dos minerais no ambiente (LIMA, 2001).

A análise das frações silte e argila do sambaqui Porto da Mina, por meio de microscopia eletrônica de varredura, possibilitou a confirmação da presença dos minerais de maior abundância no solo. Na fração silte, ratificando os picos identificados na mineralogia, observou-se de forma predominante, fragmentos de materiais ricos em cálcio em diferentes tamanhos e estágios de fragmentação. A caracterização a partir do uso do EDS na fração silte do horizonte 2Ck1, permitiu identificar nos fragmentos a presença de Ca (48,91%), Na (10,94%), Si (2,65%), Cl (33,63%) e suas respectivas concentrações relativas (Figura 8a), e de Ca (53,22%), Si (0,22%), Cl (25,52%), Na (20,70%) e Fe (0,34%) na Figura 8b.

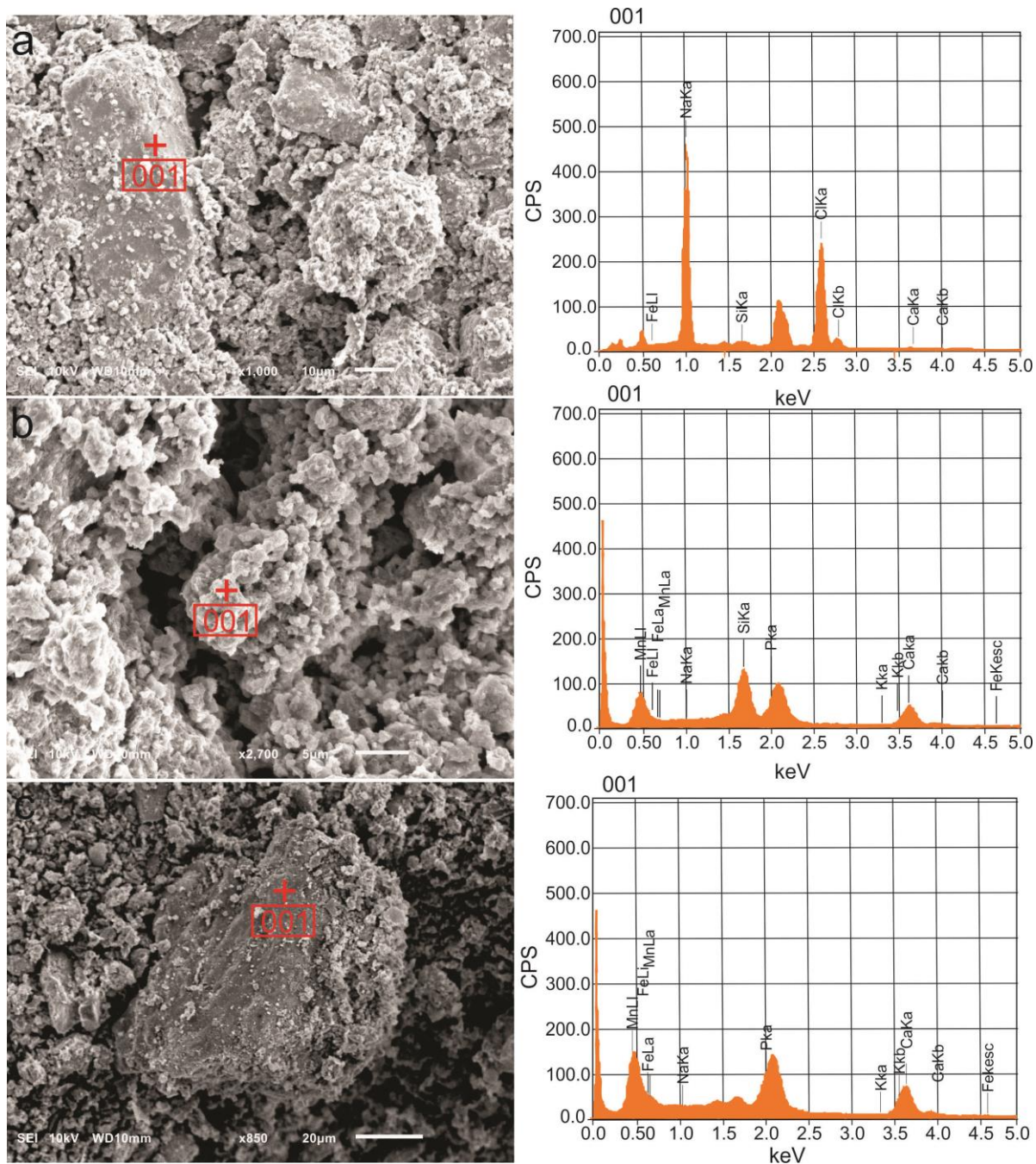
Enquanto na fração argila do horizonte 2Ck1 foi possível a identificação dos minerais halita (Figura 9b), observando-se no EDS as seguintes concentrações relativas de Na (33,63%), Cl (48,91%), Nb (10,92%), Si (3,87%) e Ca (2,65%), hidroxiapatita (Figura 9b), constituída por P (21,00%), Ca (46,59%), Si (23,41%), Al (4,78%), Mn (2,68%), Na (0,87%) e K (0,67%), e fragmentos ricos em Ca, que provavelmente corresponde a calcita, sendo identificado Ca (58,26%), Fe (38,18%), Mn (1,72%), K (1,03%) e Na (0,81%).

A relação Ca/P no valor de 2,20 observada se aproxima da definida como característica de apatita de osso por Legeros e Legeros (1984). O estado poroso da hidroxiapatita é condizente com as propriedades de um processo de degradação, com perda de colágeno e de fosfato dos poros da matriz óssea, que posteriormente entrou em equilíbrio com o meio em condições alcalinas (JACKES et al., 2001; JANS et al., 2004; AGUILERA et al., 2016). Apatita biogênica preservada também foi identificada em sambaquis por Corrêa (2007), que atribuiu a preservação dos fragmentos mais densos a ação do elevado pH, a baixa atividade de pedobioturbação e a ação do plasma fosfático, que retardou a dissolução da apatita. O autor cita ainda deposição de material ósseo em ambientes já ricos em P, o que permitiria o equilíbrio da apatita com o meio logo no início do processo de degradação. A presença do Fe e Al, associados a hidroxiapatita, demonstra que o P liberado da matriz está se ligando a frações mais estáveis no solo; como demonstrado no fracionamento inorgânico do P a

existência de teores consideráveis de P-Al e P-Fe, mesmo em condições ambientais que favoreçam a preservação da fração P-Ca (Tabela 3). Não foi identificada a presença de apatita neoformada nas amostras analisadas.



**Figura 8:** Imagem de elétrons retroespalhados da fração silte do horizonte 2Ck1 do sambaqui Porto da Mina, através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise microquímica com microsonda EDS acoplada.

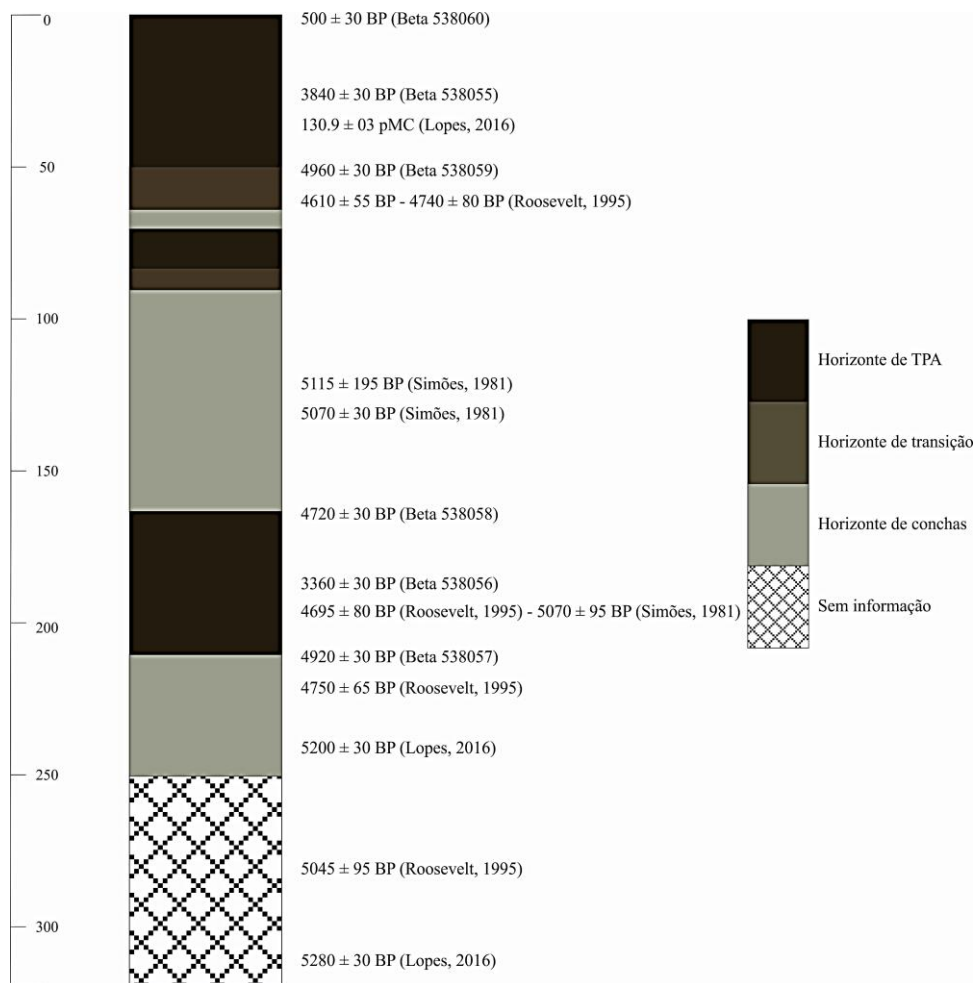


**Figura 9:** Imagem de elétrons retroespalhados da fração argila do horizonte 2Ck1 do sambaqui Porto da Mina, através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise microquímica com microsonda EDS acoplada.

Entretanto, a predominância da fração P-Ca no solo é confirmada também pelos resultados da análise microquímica com o EDS, se diferenciando de dados obtidos para outros solos de TPA não desenvolvidos em sambaquis. Sato et al. (2009) defendem que os teores de P-Ca não ultrapassariam 3% do P total em sítios com mais de 2.000 anos, sendo a idade encontrada para o Porto da Mina bem superior a esta.

### 3.5. Caracterização cronológica

As datações já existentes do sambaqui foram realizadas por Roosevelt (1995) e Simões (1981), e mais recentemente por Lopes (2016). Os autores obtiveram idades entre  $5.280 \pm 30$  BP (*before presente*) a  $130,9 \pm 30$  BP nos horizontes mais subsuperficiais e superficiais respectivamente (Figura 10), enquanto as datações realizadas no presente estudo variaram entre  $4920 \pm 30$  BP a  $500 \pm 30$  BP.



**Figura 10:** Datações dos horizontes do sambaqui Porto da Mina em diferentes profundidades. Fonte: Simões (1981); Roosevelt (1995) e Lopes (2016).

Os resultados das datações indicam intervalos consideráveis de aproximadamente 200 anos, no período caracterizado como de abandono do sítio no horizonte 3Au, e vão de encontro com o observado por Lopes (2016) que postulou uma permanência de aproximadamente 210 anos no local de construção do Porto da Mina, com possíveis manutenções, reparos, reconstruções e preenchimentos entre os montículos. Nestes intervalos entre os períodos de

ocupação do sítio, o acúmulo de matéria orgânica era maior, em decorrência da não remoção pelos sambaquieiros, resultando nos horizontes de coloração mais escura, característico das TPAs de forma geral. Estes horizontes, em função da ação da M.O, são os que apresentam mineralogia com maior incidência de materiais amorfos (Figura 4), além de apresentarem os maiores teores de nutrientes, como é o caso do Au, provavelmente por influência complexante desta matéria orgânica.

A cronologia mais antiga obtida por este trabalho para o Porto da Mina foi de  $4920 \pm 30$  BP na base do horizonte 3Au, que se aproxima dos valores obtidos por Roosevelt (1995) que datou carvão e conchas em profundidades próximas a deste trabalho. Os resultados condizem com as datas do período de ocupação dos caçadores-coletores do litoral paraense. Já a cronologia mais recente foi de  $500 \pm 30$  BP no topo do horizonte Au. Até o presente trabalho a datação mais recente de grupos sambaquieiros do litoral paraense havia sido de  $545 \pm 70$  BP realizada por Simões, também no sambaqui Porto da Mina, esta última fase seria referente a ocupações dos agricultores ceramistas da Amazônia (LOPES, 2016), apesar de não terem sido encontrados evidências, como mudanças nas características da cerâmica encontrados em sambaquis do Maranhão (BANDEIRA, 2008).

As datações do Porto da Mina foram realizadas com diferentes métodos de análise e sobre materiais diferentes, como carvão, conchas, cerâmicas, turfas e sedimentos. As características de cada método, bem como do material selecionado para a avaliação influenciam diretamente nos resultados obtidos. As amostras de carvão, por exemplo, usualmente mais utilizadas para a datação, podem ser provenientes de queimadas recentes, ou de eventos anteriores ao sítio tornando as datas não representativas, já no caso de análise de sedimentos existe sempre a possibilidade de contaminação por mistura com material mais jovem, ou que carbono mais antigo também tenha sido incorporado, o que poderia estar associado as divergências entre as datações.

Outro fator sugerido por Lopes (2016) como resposta para as incompatibilidades é a possibilidade de inversões de camadas que poderiam ter ocorrido em diferentes contextos, tanto pela própria movimentação em decorrência da ação dos estudos arqueológicos, como pela ação dos sambaquieiros revolvendo as camadas, por influência dos sepultamentos presentes que poderia causar inversões, ou mesmo ação de bioturbação, conforme postula o autor. No caso do sepultamento registrado por Simões (1981) na profundidade de 200-220 cm do sambaqui, bem próximo ao nível onde foi coletada a amostra para datação do horizonte

$^{3}\text{Au}$  a 186 cm, que apresentou idade de  $3360 \pm 30$  BP, podendo ter sofrido ação de inversão pelo sepultamento, ou pela escavação para estudo deste.

Além disso, o sambaqui Porto da Mina vem sendo explorado, segundo levantamento de Lopes (2016), desde o período colonial, inicialmente para a fabricação de cal, e posteriormente na década de 70 as extrações eram realizadas para a confecção de lajotas, e para a produção de calcário e adubos. Estas extrações no sítio podem não só ter modificado a organização original das camadas, como decapitado as camadas antropizadas e modificando assim as características química e física desses.

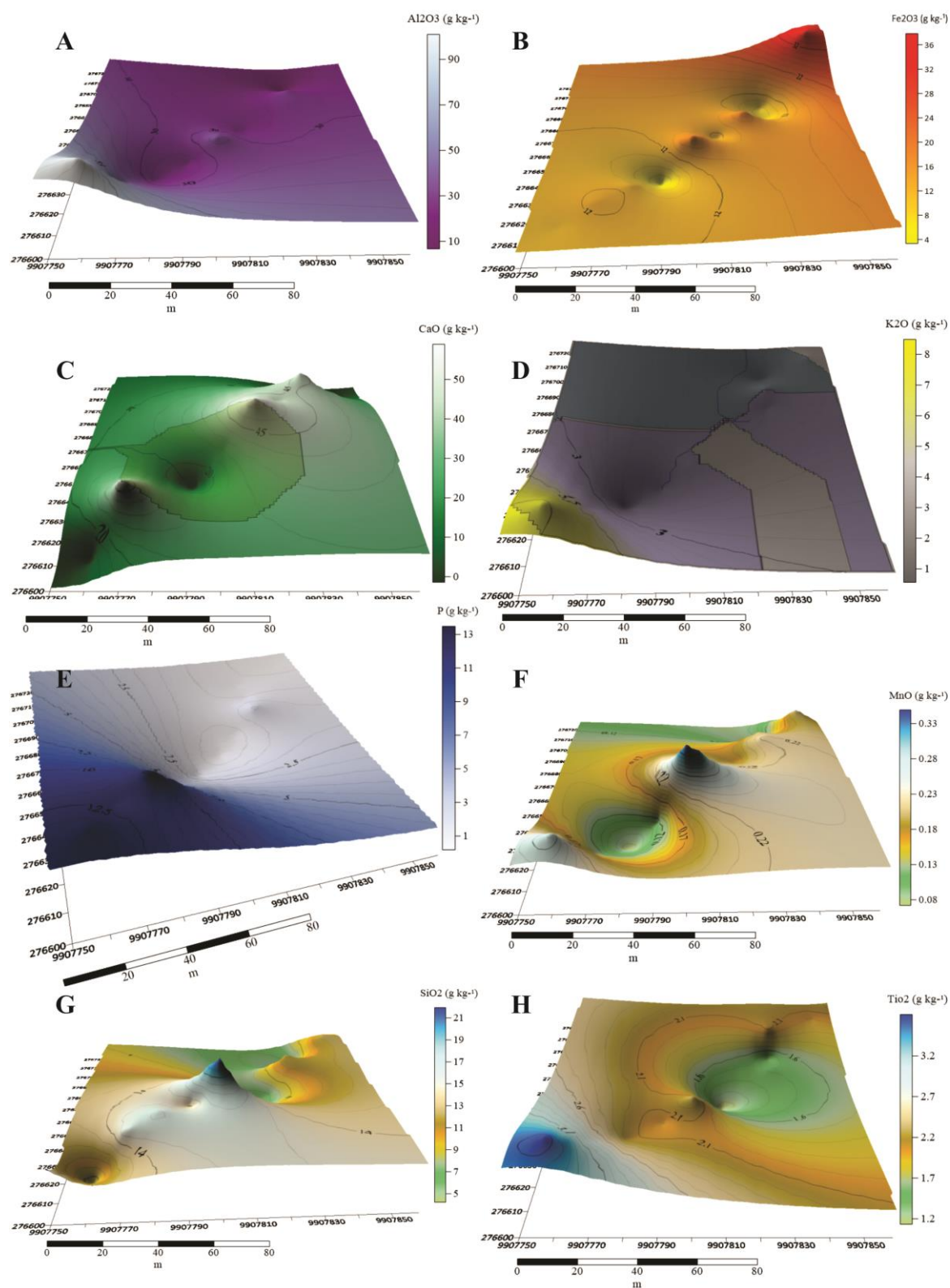
### 3.6. Distribuição geoquímica dos elementos na área do sambaqui

Na escala macro as modificações das características do Porto da Mina definidas por alterações antrópicas recentes poderiam ser verificadas pela distribuição espacial dos teores de elementos extraídos por digestão sulfúrica na área do sambaqui (Figura 11).

Pode se observar que as maiores concentrações dos elementos avaliados, com exceção do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e do  $\text{SiO}_3$ , se localizam nas proximidades do ponto de maior altitude da área (LOPES, 2016), conseqüentemente os maiores montes de deposição. Os teores de Fe e Si maiores se localizando em pontos distintos do sambaqui são condizentes com os teores disponíveis (Tabela 2) e totais (Tabela 3) no perfil aberto. Os resultados podem ser explicados pela própria dinâmica do ambiente, em que os elevados valores de pH causam um aumento da solubilidade do silício, já no caso do Fe o pH associado a presença da M.O tem sido relatado como um condicionante de dissolução de óxidos de Fe (LEMOS et al., 2009; MACEDO et al., 2019). Estes elementos estando solúveis no meio, são passíveis de perda por lixiviação, mas também por ação da erosão se concentrando nas áreas mais baixas do sítio.

De maneira geral, é possível observar pontos semelhantes na área do sambaqui em que se localizam os menores teores dos elementos. Estes pontos poderiam indicar as áreas de maior exploração do sambaqui, em que camadas teriam sido removidas, e conseqüentemente os teores dos nutrientes também decresceriam. Entretanto, outra interpretação também pode ser dada aos pontos localizados de menores teores. Avaliando a distribuição geoquímica dos elementos em sítios arqueológicos, Kern (1996) conseguiu delimitar espaços de atividades distintas como refugos, praças e áreas de moradia, em que os teores de Ca, Mg, P, Mn, Zn e Cu se distribuía de maneira distinta de acordo com o uso da área, e conseqüentemente as diferentes taxas de deposição. Os pontos identificados com menores teores no sambaqui Porto

da Mina poderiam também ser explicados como locais de menor deposição no período de ocupação do sambaqui. Como as amostras foram coletadas apenas no horizonte superficial dos pontos na área do sambaqui, seria interessante realizar coletas em profundidade para verificar se os pontos se aproximam do material original da área, sendo, portanto, produto de remoção, ou se são apenas áreas de menor deposição.



**Figura 11:** Distribuição espacial dos teores de P, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, K<sub>2</sub>O, MnO, SiO<sub>2</sub> e TiO<sub>2</sub> extraídos por digestão sulfúrica da área do sambaqui Porto da Mina, Quatipuru-PA.

#### 4. CONCLUSÕES:

O solo desenvolvido no sambaqui Porto da Mina é definido pela dinâmica de ocupação, abandono e revisitas ao sítio pelos grupos sambaquieiros. Os horizontes em que se observa um maior acúmulo de matéria orgânica e conseqüente menor deposição de materiais malacológicos são característicos dos intervalos de ocupação. Não se observou teores maiores dos elementos analisados nos horizontes de maior deposição de materiais antrópicos, demonstrando a movimentação dos elementos no perfil, ou uma origem da fertilidade independente da deposição das conchas.

A fração de P inorgânico predominante neste solo é a ligada ao Ca, em que se observa os maiores valores nos horizontes com maiores teores de matéria orgânica, provavelmente devido a mecanismos de estabilização do Ca pela matéria orgânica.

Os teores de Ca extraídos por ataque sulfúrico são muito elevados, e superam inclusive os teores totais obtidos por digestão com ácido fluorídrico (HF) em solos de sambaqui disponíveis na literatura.

A mineralogia das frações areia e silte são constituídas por feldspato, quartzo e por calcita. Os solos ainda possuem grande reserva de apatita biogênica primária, materiais malacológicos, sendo observado a predominância de hidroxiapatita, halita, e calcita na fração argila. Foram observados ainda presença de argilominerais 2:1 no solo.

As datações realizadas variaram entre  $4920 \pm 30$  BP a  $500 \pm 30$  BP, e indicam intervalos consideráveis de aproximadamente 200 anos do período caracterizado como de abandono do sítio no horizonte 3Au. Os resultados das datações indicaram também inconsistências com as anteriormente realizadas, e provável inversão de camadas.

A distribuição geoquímica dos elementos no sítio arqueológico indicaram maiores concentrações nas áreas mais próximas ao principal monte de deposição, e pontos localizados de decréscimo na concentração de Ca, P e Mn que podem ser associado a remoção de camadas do sambaqui pela exploração, ou proveniente de diferentes intensidades de disposição em função do uso da área pelos sambaquieiros.

## 5. REFÊRENCIAS:

- AGUILERA, O. et al. Fish bone diagenesis in southeastern Brazilian shell mounds and its importance for paleoenvironmental studies. **Quaternary International**, v. 391, p. 18–25, 2016.
- BANDEIRA, A. M. **Ocupações humanas pré-históricas no litoral maranhense: um estudo arqueológico sobre o sambaqui do Bacanga na Ilha de São Luís – Maranhão**. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) - Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A.C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolo do planalto central com diferentes características texturais e mineralógicas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 7, p. 221-226, 1983.
- CAMARGO, O. A. ; et al. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas-SP: [s.n.], 2009. Disponível em: <[http://www.iac.sp.gov.br/produtoseseservicos/analisedosolo/docs/Boletim\\_Tecnico\\_106\\_rev\\_atual\\_2009.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/produtoseseservicos/analisedosolo/docs/Boletim_Tecnico_106_rev_atual_2009.pdf)>.
- CAMPOS, M. C. C. et al. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 598–609, 2011.
- CAMPOS, M. C. C. et al. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Agro@mbiente online**, v. 6, n. 2, p. 102, 2012.
- CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, v. 84, p. 133–144, 1957.
- CAPANEMA, G. S. **Os sambaquis: Ensaio de sciencia**. Rio de Janeiro: Brown & Evaristo, v. 1, p. 79-89, 1876.
- CORRÊA, G. R. et al. Physical and chemical attributes of archaeological soils developed from shell middens in the Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1100–1111, 2011.
- CORRÊA, G. R. **Caracterização pedológica de arqueo-antropossolos no Brasil: sambaquis da região dos lagos (RJ) e terras pretas de índio na região do Baixo Rio Negro/Solimões (AM)**. 2007. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2007.
- CORREA, M. M. et al. Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1017–1031, 2008.
- COSTA, M. L. et al. Paisagens Amazônicas sob ocupação do Homem Pré-histórico: Uma visão Geológica. In: TEIXEIRA, W. G. et al (Ed.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, Cap. 1. p. 15-38, 2009.
- CUNHA, T. J. F. et al. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da amazônia (Terra Preta). **Acta Amazonica**, v. 37, n. 1, p. 91–98, 2007.

EMBRAPA. **Mapas de solos e de aptidão agrícola das áreas alteradas do estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 19p., 2016.

FALCÃO, N. et al. Pedology, Fertility, and Biology of Central Amazonian Dark Earths. In: **Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision**. Dordrecht: Springer Netherlands, p. 213–228, 2009.

FRANCISQUINI, M. I. et al. Relation between carbon isotopes of plants and soils on Marajó Island, a large tropical island: Implications for interpretation of modern and past vegetation dynamics in the Amazon region. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415, p. 91–104, 2014.

GASPAR, M. D.; IMAZIO, M. Os pescadores-coletores-caçadores do litoral norte Brasileiro. In: TENÓRIO, M. C. (Org.). **Pré-história da terra brasilis**. Rio de Janeiro: UFRJ, p. 247-256, 1999.

GERNET, V. A. **Gênese e ocupação do sambaqui do guaraguaçu, pontal do Paraná**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Área de Concentração em Qualidade e Sustentabilidade Ambiental, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2012.

GLASER, B. et al. The “Terra Preta” phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, v. 88, n. 1, p. 37–41, 2001.

GLASER, B. et al. Soil Organic Matter Stability in Amazonian Dark Earths. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.). **Amazonian Dark Earths**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 141–158, 2003.

HARTT, C. F. **Contribuições para a ethnologia do valle do Amazonas**. Arq. Mus. Nac. Rio Jan., v. 6, p. 1-174, 1885.

HILBERT, P. P. **Achados arqueológicos num sambaqui do baixo Amazonas**. Belém: Instituto de Antropologia e Etnologia do Pará, Publicação, n. 10, 1959.

IRION, G. Clay minerals of Amazonian soils. In: SIOLI, H. (Ed.) **The Amazon**. Dordrecht: Springer, p. 537–579, 1984.

JACKES, M. et al. Destruction of microstructure in archaeological bone: a case study from Portugal. **International Journal of Osteoarchaeology**, v. 11, n. 6, p. 415–432, 2001.

JANS, M. M. E. et al. Characterisation of microbial attack on archaeological bone. **Journal of Archaeological Science**, v. 31, n. 1, p. 87–95, 2004.

KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro de ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, P. et al. (Org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 4, p. 277-320, 2005.

KÄMPF, N. et al. Classification of Amazonian Dark Earths and Other Ancient Anthropogenic Soils. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.). **Amazonian Dark Earths**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 77–102, 2003.

KER, J.C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**. 1995. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

KERN, D. C. et al. Evolução do conhecimento em Terra Preta de Índio. In: TEIXEIRA, W. G. et al. **As terras pretas de índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste**

conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, Cap. 6. p. 72-81, 2009.

KERN, D. C. **Geoquímica e pedogeoquímica de sítios arqueológicos com terra preta na floresta nacional de Caxiuanã (Potel-Pará)**. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 124p. 1996.

LADEIRA, A. C. **Gênese, físico-química, mineralogia e formas de fósforos em arqueo-antrossolos de sambaquis no litoral de Guarapari-ES**. 2018. TCC (Graduação em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

LEAL, J. R.; VELOSO, A. C. S. Adsorção de fosfato em Latossolos sob vegetação de cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 8, p. 81-88, 1973.

LEGEROS, R. Z.; LEGEROS, J. P. Phosphate Minerals in Human Tissues. In: NRIAGU, J. O.; MOORE, P.B. (Eds.). **Photosphate Minerals**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, p. 351–385, 1984.

LEHMANN, J. et al. Soil fertility and production potential. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.). **Amazonian Dark Earths**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 105–124, 2003.

LEMOS, V. P. et al. Comportamento do arsênio em perfis de solos do Sítio Ilha de Terra de Caxiuanã-Pará. **Revista Escola de Minas**, v. 62, n. 2, p. 139–146, 2009.

LEVIS, C. et al. Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. **Science**, v. 355, n. 6328, p. 925–931, 2017.

LIMA, H. N. et al. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia. **Geoderma**, v. 110, n. 1–2, p. 1–17, 2002.

LIMA, H.N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. 2001. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

LOPES, P. R. DO C.; GASPAR, M.; GOMES, D. M. C. O Sambaqui Porto da Mina e a cerâmica utilizada como material construtivo: um estudo de caso. **Revista de Arqueologia**, v. 31, n. 1, p. 52, 2018.

LOPES, P. R. C. **Caracterização do modo de vida dos sambaquieiros que ocuparam o litoral paraense: Quatipuru, Pará, Brasil**. 2016. Tese (Doutorado em Arqueologia) - Programa de Pós-graduação em Arqueologia, Museu Nacional do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

MACEDO, R. S. et al. Amazonian dark earths in the fertile floodplains of the Amazon River, Brazil: an example of non-intentional formation of anthropic soils in the Central Amazon region. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Hum**, n. 1, p. 207–227, 2019.

MACEDO, R. S. et al. Pedogenetic processes in anthrosols with pretic horizon (Amazonian Dark Earth) in Central Amazon, Brazil. **Plos one**, v. 12, n. 5, p. e0178038, 2017.

MAFRA, A. L. et al. Pedogênese de uma seqüência de solos desenvolvidos de arenito na região de Piracicaba (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 355–369, 2001.

MARTIN, L. et al. Fundamentos e reconstrução de antigos níveis marinhos do quaternário. **Boletim IG-USP. Publicação Especial**, n. 4, p. 01, 1 set. 1986.

MCKEAGUE, J. A.; DAY, J. H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 46, n. 1, p. 13–22, 1966.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite–citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: **Clays and Clay Minerals**. [s.l.] Elsevier, p. 317–327, 2013.

MIRANDA, J. F. **Terras pretas arqueológicas no médio Amazonas e Alto Solimões: química, mineralogia, micromorfologia e idade**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2018.

PENNA, D. S. F. **Breve notícia sobre os sambaquis do Pará**. Arq. Mus. Nac., Rio de Janeiro, v. 1, p. 85-99, 1876.

PEROTA, C.; BOTELHO, W. C. Les sambaquis de Guara et des variations climatiques pendant l’holocène. In: PROST, M. T. (Ed.). **Evolution des littoraux de Guyane et de la zone caraïbe méridionale pendant le quaternaire**. Paris: Orston, p. 379-395, 1992.

PROST, M. T.; MENDES, A. C. Dinâmica morfosedimentar dos mangues amazônicos: Guiana Francesa, Amapá e Pará. In: MENDES, A. C.; PROST, M. T.; CASTRO, E. M. R. (Org.). **Ecosistemas amazônicos: dinâmicas, impactos e valorização dos recursos naturais**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2011.

PUGLIESE, F. A.; ZIMPEL NETO, C. A.; NEVES, E. G. What do Amazonian Shellmounds Tell Us About the Long-Term Indigenous History of South America? In: SMITH, C. (Ed.). **Encyclopedia of Global Archaeology**. Cham: Springer International Publishing, p. 1–25, , 2018.

R CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing** AustriaR Foundation for Statistical Computing, , 2019. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>

REIS, A. H. C. **Fertilidade, caracterização química, mineralogia e morfologia de cerâmicas e solos de terra preta arqueológica do sambaqui Jacarequara (Barcarena-PA)**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

RIBEIRO NETO, B. S. et al. Mapeamento geocológico da costa atlântica amazônica aplicado ao município de Quatipuru - Pará, Brasil. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba, p.3772-3779, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/P0123.pdf>>. Acesso em: out. 2019.

RIBEIRO, A. C.; GUMIMARÃES, P. T. G.; VENEGAZ, V. H. A. V. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa, MG.: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.

ROOSEVELT, A. Early pottery in the Amazon: twenty years of scholarly obscurity. In: **The emergence of pattery: technology and innovation in ancient societies**. Boston, MA: Smithsonian Institution Press, 1995. p. 75–77.

ROOSEVELT, A. C. et al. Eighth Millennium Pottery from a Prehistoric Shell Midden in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 254, n. 5038, p. 1621–1624, 1991.

ROSSETTI, D. D. F.; GÓES, A. M.; TOLEDO, P. M. DE. Archaeological Mounds in Marajó Island in Northern Brazil : A Geological Perspective Integrating Remote Sensing and Sedimentology. **Geoarchaeology**, v. 24, p. 22–41, 2009.

- ROSSETTI, D. F. Tectonic control on the stratigraphic framework of Late Pleistocene and Holocene deposits in Marajó Island, State of Pará, eastern Amazonia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, p. 439–449, 2010.
- SAMBATTI, J.A.; COSTA, A.C.S.; MUNIZ, A.S.; SENGIK, E.; SOUZA JUNIOR, I.G.; BIGHAM, J.M. Relações entre a substituição isomórfica de Fe por Al e as características químicas e mineralógicas de hematitas sintéticas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26, p. 117-124, 2002.
- SANCHEZ, P. A.; UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Ed.) . **The role of phosphorus in agriculture**. Madison, American Society of Agronomy, p. 471-514, 1980.
- SANTOS, L. A. C. DOS et al. Pedogenesis in an Archaeological Dark Earth – Mulatto Earth Catena over Volcanic Rocks in Western Amazonia, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 2018.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. ampl.[e-book]. Brasília, DF: Embrapa; 2018.
- SATO, S. et al. Biogenic calcium phosphate transformation in soils over millennial time scales. **Journal of Soils and Sediments**, v. 9, n. 3, p. 194–205, 2009.
- SCHAAN, D. Long-Term Human Induced Impacts on Marajó Island Landscapes, Amazon Estuary. **Diversity**, v. 2, p. 182–206, 2010.
- SCHAAN, D. P.; FERNANDO, W. O povo das águas e sua expansão territorial : uma abordagem regional de sociedades pré- coloniais na ilha de Marajó. **Revista de Arqueologia**, v. 17, p. 13–32, 2004.
- SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Micromorphology and electron microprobe analysis of phosphorus and potassium forms of an Indian Black Earth (IBE) Anthrosol from Western Amazonia. **Soil Research**, v. 42, n. 4, p. 401, 2004.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; LIMA, H.N.; VALE JÚNIOR, J.F., MELLO, J.W.V. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**, sér. Ciênc. da Terra, v. 12, p. 63-104, 2000.
- SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Eds.). **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America Journal, p.379-438, 1989.
- SCHWERTMANN, U.; CARLSON, L.; FECHTER, H. Iron oxide formation in artificial ground waters. **Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie**, v. 46, n. 2, p. 185–191, 1984.
- SENNA, C. S. F. **Análise palinológica e sucessão vegetal durante o Holoceno nos ecossistemas costeiros do município de Quatipuru – Pará**. Belém: Museu Emilio Goeldi, 2008.
- SENNA, C. S. F. **Mudanças da paleovegetação e dos paleoambientes holocênicos da planície costeira da região nordeste do estado do Pará, entre as baías de Marapanim e Maracanã**. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2002.

- SENNA, C. S. F.; ABSY, M. L. Paleoeecologia. In: FERNANDES, M. E. B. (Org.). **Os manguezais da costa norte brasileira**. São Luís: Fundação Rio Bacanga, p. 29-44, 2003.
- SILVA, F. W. R. et al. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (terras pretas de índio) na amazônia central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 673–681, 2011.
- SILVEIRA et al. **Relatório de pesquisa arqueológica desenvolvida no Sambaqui Jacarequara, Barcarena-Pa**, Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2014.
- SILVEIRA, M. I. et al. Um milênio de ocupações arqueológicas com manchas de terra preta em floresta na região de Carajás , Pará , Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 11, n. 1, p. 11–31, 2016.
- SILVEIRA, M. I.; SCHAAN, D. P. Onde a Amazônia encontra o mar : estudando os sambaquis do Pará. **Revista de Arqueologia**, v. 18, p. 67–79, 2005.
- SIMÕES, M. F. **Coletores-pescadores ceramistas do litoral do Salgado (Pará)**. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Antropol., Belém, n. 78, p. 1-32, 1981.
- SIMÕES, M. F. **Relatório de pesquisa arqueológica na Região do Salgado (Projeto Salvamento)**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1970.
- SJOBERG, A. Phosphate Analysis of Anthropoc Soils. **Journal of Field Archaeology**, v. 3, n. 4, p. 447, 1976.
- SÖDERSTRÖM, M. et al. Using proximal soil sensors and fuzzy classification for mapping Amazonian Dark Earths. **Agricultural and food science**, v. 22, n. May, p. 380–389, 2013.
- SOKOLOFF, V. P.; CARTER, G. F. Time and Trace Metals in Archaeological Sites. **Science**, v. 116, n. 3001, p. 1–5, 1952
- SOUZA FILHO, P. W. M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 4, p. 427–435, 2005.
- SOUZA FILHO, P. W. M.; EL-ROBRINI, M. Morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfo-sedimentares da planície costeira bragantina, nordeste do Pará, Brasil. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 1-16, 1996.
- SOUZA, K. W. **Gênese, mineralogia e formas de fósforo em Arqueo-Antropossolos da várzea do rio Amazonas**. 2011. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- SOUZA, K. W. DE et al. Phosphorous forms in cultivated indian black earth (anthrosols) of varying texture in the brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1347–1355, 2009.
- STATHOPOULOU, E. T. et al. Bone diagenesis: New data from infrared spectroscopy and X-ray diffraction. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 266, n. 3–4, p. 168–174, 2008.
- STENBORG, P.; SCHAAN, D. P.; FIGUEIREDO, C. G. Contours of the Past: LiDAR Data Expands the Limits of Late Pre-Columbian Human Settlement in the Santarém Region, Lower Amazon. **Journal of Field Archaeology**, v. 43, n. 1, p. 44–57, 2018.
- TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. [s.l.] EMBRAPA, 2017.

TEIXEIRA, W. G. et al. Caracterização de um perfil de solo desenvolvido no sambaqui fluvial Moraes, município de Miracatu – SP. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, n. 22, p. 181, 2012.

TENORIO, M C; AFONSO, M. C.; PINTO, D.C. Arqueologia do Arraial do Cabo com foco nos sítios da Ilha do Cabo Frio. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, v. 20, p. 127-145, 2010.

VIEIRA, L. S.; OLIVEIRA, N.V.C.; BASTOS, T.X. **Os solos do estado do Pará**. Belém: IDESP, 203p., 1971.

WOODS, W. I. Development of Anthrosol Research. In: **Amazonian Dark Earths**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 3–14, 2003.