



**MINISTERIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA-UFRA
PROGRAMA DE POS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

DAYNARA COSTA VIEIRA

**PROPRIEDADES FISICO-HÍDRICAS DE SOLOS COM HORIZONTE A
ANTRÓPICO-TPA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FRAGMENTOS
CERÂMICOS**

**BELÉM
2017**

DAYNARA COSTA VIEIRA

**PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE SOLOS COM HORIZONTE A
ANTRÓPICO-TPA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FRAGMENTOS
CERÂMICOS**

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

Orientadora: Profa. Dra. Herdjania Veras de Lima

BELÉM
2017

Vieira, Daynara Costa

Propriedades físico-hídricas de solos com Horizonte A Antrópico-TPA com diferentes concentrações de fragmentos cerâmicos / Daynara Costa Vieira . – Belém, PA, 2017.

41 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2017.

Orientadora: Prof. Dra. Herdjanía Veras de Lima.

1. Terra Preta Arqueológica – TPA. 2. Fragmentos Cerâmicos. 3. Material Arqueológico. 4. Solo – Propriedades Físico-Hídricas. I. Lima, Herdjanía Veras de (orient.) II. Título.

CDD – 631.41

DAYNARA COSTA VIEIRA

**PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE SOLOS COM HORIZONTE A
ANTRÓPICO-TPA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FRAGMENTOS
CERÂMICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal Rural da Amazônia, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia.
Orientadora: Prof^a Dr^a Herdjania Veras de Lima

Aprovado em 24 de fevereiro de 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Herdjania Veras de Lima – Orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Dra. Dirse Clara Kern - 1ºExaminador
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI

Dra. Milena Carvalho de Moraes - 2ºExaminador
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI

Dra. Katiane Raquel Mendes Barros - 3ºExaminador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo Dom da Vida, que com seu poder supremo, deu-me força, sabedoria, principalmente amor para guiar minhas ações durante esta caminhada e disposição para enfrentar todas as etapas da minha vida.

Aos meus pais Francisco e Dorivan e minha querida irmã Dayseanne ser minha grande amiga e incentivadora não só na realização deste trabalho como em toda minha vida estudantil. Obrigada por sempre estarem comigo me incentivando e auxiliando em todos os momentos. Vocês são minha fonte de incentivo para sempre seguir em frente.

Ao programa de pós-graduação em Agronomia pela oportunidade para realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro e apoio concedido, essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha orientadora, Profa. Dra. Herdjania Veras de Lima pela oportunidade de orientação e entrada na pós-graduação. Obrigada pelos seus ensinamentos, apoio, exemplo e motivação.

À Dra. Dirse Kern por ter me concedido a primeira oportunidade de iniciar meus estudos com Terra Preta Arqueológica, por ter viabilizado a coleta das amostras junto a empresa Scientia Consultoria e por seu auxílio durante a coleta das mesmas. Agradeço também a paciência e dedicação desde os tempos de iniciação científica até hoje compartilhando suas experiências e conhecimentos em Terra Preta, os quais contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional. Minha eterna gratidão.

Ao Dr. Renato Kipnis e toda equipe da Scientia Consultoria pelo apoio e logísticas de campo para a coleta das amostras.

Ao professor Dr. Álvaro Pires da Silva (*in memoriam*) por ter proporcionado a realização das análises no Laboratório de Física da ESALQ/USP e por todo apoio e receptividade compartilhando sugestões para melhoria deste trabalho.

Aos técnicos da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz (ESALQ) Jair Ferrer, Rossi e Amanda Jordão pelo suporte em laboratório;

À Dr^a Katiane Barros pelo seu valioso auxílio durante a etapa de campo sempre disposta e empenhada a ajudar. Obrigada pelo apoio, ensinamentos, sugestões desde o início da minha jornada em física do solo sendo uma fonte de inspiração pessoal e profissional.

À Dr^a Sueli Rodrigues por todas contribuições, paciência, ensinamentos.

Aos queridos amigos de física do solo: Kilma, Michel, Arthur, Luciana, Daniel, Decíola, Itabirici e Fernanda pelos momentos de descontração e aprendizado;

Aos amigos de Piracicaba que me acolheram tão bem no período das análises laboratoriais e pela ajuda e suporte durante esta etapa :Glêvia, Thais, Isabela, Sâmala, Cristiane, Sara, Marcio, Renato, Aline, Raquel Boschi, Beltrão, Nayanna, Elizangela e Raquel Mello, muito obrigada.

Ao meu querido Rodrigo Aguiar, grande companheiro de profissão e de vida por me incentivar e auxiliar sempre que preciso durante esta jornada, e pela sua paciência, compreensão e amor para superar as adversidades.

Às amigas que me receberam tão bem na pós-graduação e sempre se dispuseram ajudar e a partilhar bons momentos de alegria: Rikelly, Vanessa, Ingrid, Lucilene e Dayane;

À todos os amigos do PPAgro por todos os momentos de alegria, descontração e aprendizados compartilhados;

À todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos .

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
1. CONTEXTUALIZAÇÃO	7
2. REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 Terra preta Arqueológica	9
2.2 Origem e distribuição das TPA's	10
2.3 Características químicas	10
2.4 Características Físicas	11
2.5 Material Arqueológico.....	12
3. INTRODUÇÃO	14
4. MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1 Área de estudo.....	15
4.2 Amostragem de solo.....	18
4.3 Análises Laboratoriais.....	20
5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	22
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
7. CONCLUSÃO	22
REFERÊNCIAS	31

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-** Mapa de localização do Sítio Arqueológico São José município de Altamira, Pará, Brasil.....16
- Figura 2** - Perfis de solo descritos do sitio arqueológico Saõ josé- Altamira –PA) localizado em área adjacente com vegetação de floresta nativa) do sitio arqueológico São José, Altamira-PA.....16
- Figura 3** - Croqui de distribuição do material arqueológico encontrado na malha sistemática de sondagens do sítio São José 1, localização dos perfis coletados, das áreas de Terra preta, das feições de polimento e gravura rupestre.....19
- Figura 4** - Distribuição dos fragmentos cerâmicos encontrados pelos níveis artificiais em cada um dos 3 perfis do sitio arqueológico São José, Altamira-PA.....25
- Figura 5** - Propriedades físicas dos perfis: P1– área com incidência de TPA profunda e material arqueológico, P2 – área com incidência de TPA pouco profunda e material arqueológico; P3 – área sem ocorrência de TPA e com material arqueológico e P4 – área adjacente com vegetação de floresta nativa, localizados no Sítio Arqueológico São José, Altamira, PA.....28
- Figura 6** - Estabilidade de percolação dos perfis: P1– área com incidência de TPA profunda e material arqueológico, P2 – área com incidência de TPA pouco profunda e material arqueológico; P3 – área sem ocorrência de TPA e com material arqueológico e P4 – área adjacente com vegetação de floresta nativa, localizados no Sítio Arqueológico São José, Altamira, PA.....29
- Figura 7** - Curva de Retenção de água no solo dos perfis do sitio arqueológico São José, Altamira-PA.....30

RESUMO

Na Amazônia existem áreas de solos afetadas consideravelmente pelo homem pré-histórico, estas áreas são caracterizadas pela coloração escura, restos de material arqueológico (fragmentos cerâmicos e de artefatos líticos). Tais solos são conhecidos como Terra Preta Arqueológica (TPA), Terra Preta de Índio ou Terra Preta. Estes solos geralmente apresentam alta fertilidade, elevados teores de P, Ca, Mg, Zn, Mn, e teor elevado de matéria orgânica estável além de propriedades físicas bem distintas dos solos que as originaram. O presente trabalho tem como objetivo analisar as propriedades morfológicas e detalhar o comportamento das propriedades físico-hídrica de áreas com diferentes concentrações de fragmentos cerâmicos assim como uma área sem interferência antrópica do Sítio arqueológico São José localizado as margens do Rio Xingu na região do baixo Xingu, Pará. Para isso foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de quatro áreas distintas de um sítio arqueológico a fim de se avaliar o comportamento das principais propriedades do solo nas diferentes áreas de ocupação e concentração de material arqueológico do mesmo. Determinou-se, granulometria, densidade do solo (D_s), densidade da partícula, curva de retenção de água no solo (CRAS), porosidade total, Resistência a penetração (RP) e estabilidade de agregados via percolação de água. Visando assim, ampliar os conhecimentos de sítios Arqueológicos de Terra Preta na região amazônica a fim de subsidiar trabalhos de manejo e recuperação de solos degradados. Os resultados demonstraram que houve a dominância da fração areia nas áreas estudadas sendo os solos classificados com textura franco argilo arenosa. As áreas com maiores concentrações de materiais cerâmicos e presença de horizonte antrópico apresentaram uma acentuada qualidade física com relação a porosidade total, estabilidade de percolação e conteúdo de água disponível estrutural quando comparada ao respectivo solo adjacente.

Palavras-chave: Terra Preta Arqueológica. Fragmentos cerâmicos. Solos antrópicos.

ABSTRACT

In the Amazon In the Amazon there are areas of soil affected by prehistoric man, these areas are characterized by dark coloring, remains of archaeological material (ceramic fragments and lithic artifacts). Such soils are known as Archaeological Black Earth (TPA), Terra Preta de Indio or Terra Preta. These soils generally have high fertility, high levels of P, Ca, Mg, Zn, Mn, and high content of stable organic matter besides very different physical properties of the soils that originated them. The present work aims to analyze the morphological properties and to detail the behavior of the physical-water properties of areas with different concentrations of ceramic fragments as well as an area without anthropic interference of the Archaeological Site of São José located on the banks of the Xingu River in the low Xingu region , Para. For this purpose, deformed and undisturbed samples were collected from four different areas of an archaeological site in order to evaluate the behavior of the main soil properties in the different areas of occupation and concentration of archaeological material. Soil density (Ds), particle density, soil water retention curve (CRAS), total porosity, penetration resistance (PR) and stability of aggregates via water percolation were determined. Aiming at this, to increase the knowledge of Terra Preta Archaeological sites in the Amazon region in order to subsidize works of management and recovery of degraded soils. The results showed that there was dominance of the sand fraction in the studied areas, the soils being classified with a sandy loam texture. The areas with higher concentrations of ceramic materials and presence of anthropic horizon showed a marked physical quality in relation to total porosity, percolation stability and available structural water content when compared to the respective adjacent soil. Keywords: Archaeological Black Earth. Ceramic fragments. Anthropogenic soils.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Os solos antrópicos conhecidos como terras pretas arqueológicas ou terra preta são parte da paisagem humana construída e muitas vezes representam valioso capital de paisagem para as populações amazônicas modernas na forma de férteis solos agrícolas. A fertilidade, resiliência e grandes estoques de carbono nestes solos inspiraram pesquisas em seu possível papel no manejo da fertilidade do solo.

Para a agricultura tanto moderna quanto histórica da região amazônica, estes solos representam valioso recurso natural (FRASER E CLEMENT, 2008; GLASER E WOODS, 2004; LEHMANN ET AL., 2003; PETERSEN ET AL., 2001; SMITH, 1980; MATA ET AL., 2009). Sua fertilidade e resiliência não só atraí os agricultores locais, mas também cientistas que tentam compreender como estes solos ricos foram formados e como o conhecimento sobre eles pode indicar técnicas de gestão para uma maior produtividade e sustentabilidade de solos e ecossistemas tropicais (GERMAN 2001, 2003; GLASER, 2007).

Apesar de haver um considerável interesse científico e público em Terra Preta Arqueológica, ainda há muito debate e pouco conhecimento concreto sobre os processos e contextos específicos de sua formação. A pesquisa indica que a formação de Terra Preta ocorreu principalmente em montículos depositados em torno de áreas habitacionais, áreas públicas, e rotas de deslocamentos nas aldeias (RAFFLES, 2002; SCHAAN, 2004; SCHMIDT, 2010; SCHMIDT et al., 2014).

Mais de 75% do solo da Amazônia é predominantemente composto por Latossolos e Argissolos, que têm baixa fertilidade natural, acidez elevada, grande quantidade de alumínio tóxico, baixo teor de nutrientes responsáveis para a produção de espécies agrícolas. A terra preta é um componente de grande importância, principalmente para a agricultura familiar sustentável. Todos os estudos com terra preta de índio nos últimos anos focam em como utilizar esses conhecimentos olhando o aspecto físico, químico e biológico para recuperar áreas degradadas, desenvolver agriculturas familiares e também para fazer estoque de carbono.

Com o surgimento estimado em dois mil anos atrás, o solo conhecido como terra preta de índio pode ser, daqui a poucos anos, a solução para a agricultura produzida na região. Arqueólogos, pedólogos, químicos e físicos de solo, agrônomos, geógrafos, entre outros especialistas empreendem um estudo cujo objetivo é replicar o processo de criação e evolução da terra preta de índio, considerado o mais fértil da Amazônia brasileira.

A maior parte dos estudos com TPA tem sido direcionada às suas propriedades químicas e biológicas. De modo geral, estudos envolvendo propriedades físico hídricas de TPA restringem-se à caracterização (CAMPOS et al., 2011; BARROS et al., 2012; CAMPOS et al., 2012). Nesse sentido, há necessidade de estudos que possam avaliar as propriedades físicas da TPA sob diferentes contextos buscando relacioná-las com os demais componentes da paisagem do sítio.

A necessidade de se entender a dinâmica de formação desses solos e como os mesmos conseguem manter a qualidade do solo, mesmos nas condições tropicais em que estão expostos, tem sido um grande desafio para a comunidade científica, colocando os solos de TPA em destaque internacional.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Terra Preta Arqueológica

Na região Amazônica as classes de solos predominantes são os Latossolos e Argissolos (cerca de 75%), sendo estes caracterizados por seu alto grau de intemperismo, possuindo características físicas adequadas ao uso agrícola, no entanto com fortes limitações nutricionais como: baixa concentração de bases trocáveis, minerais de argila de atividade baixa, como a caulinita, e óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, baixa disponibilidade de fósforo, elevada acidez atribuída à natureza do material geológico, às geoformas e às condições bioclimáticas atuais (LIMA et al., 2006).

Neste cenário da região Amazônica ocorrem áreas onde a característica original do solo foi modificada por processos antrópicos (COSTA et al., 2004), confirmados através de evidências arqueológicas que indicam que atividades humanas antigas nos habitats amazônicos transformaram significativamente as paisagens na vizinhança dos seus assentamentos, notadamente no período pré-histórico tardio (KERN, D.C. & KÄMPF, 1989).

Em virtude da coloração escura da camada superficial, tais solos são conhecidos como Terra Preta de Índio (TPI), Terra Preta Arqueológica (TPA), ou simplesmente Terra Preta (TP), (SOMBROEK, 1966; KERN & KÄMPF 1989). No presente trabalho empregaremos o termo Terra Preta Arqueológica que possui uma abordagem mais ampla e contempla toda cultura material presente nestes solos .

A ocorrência deste tipo de solo foi reconhecida já em 1874, por Charles F. Hartt, um geólogo canadense, que o descreveu nas regiões próximas a Santarém e ao rio Tapajós. Este geólogo o denominou simplesmente como “ black soils”. Em 1944, o alemão Friedrich Katzer descreveu características físicas das Terras pretas na região de Santarém (MYERS et. al. 2003). Alguns anos depois, Sombroek (1966) descreveu propriedades químicas de solos tipo Terras Mulatas nos arredores de Santarém. Desde então foram desenvolvidos inúmeros trabalhos que descrevem a TPA (KERN & KÄMPF 1989) atualmente também conhecidos como arqueo-antrossolos (KERN & KÄMPF 2005).

Apesar de permanecerem ainda questionamentos sobre a intencionalidade ou não na formação da TPA, considerando o enriquecimento antrópico um fato casual, ou sob interesse agrícola, atualmente está confirmado que se formaram por atividade humana relacionada à assentamentos e práticas culturais de populações pré-colombianas (SMITH, 1980; KERN, 1996; NEVES et al., 2003).

2.2 Origem e distribuição das TPA's

Estudos baseados e evidências pedológicas e arqueológicas revelam que as TPA's formaram-se em decorrência da ocupação humana (SOMBROEK, 1966; SMITH, 1980; SIMÕES & CÔRREA, 1987; KERN & KAMPF, 1989, NEVES et al., 2003) como resultado do descarte de resíduos orgânicos de natureza diversas e suas mineralizações os quais implicaram modificações das propriedades naturais do solo(KERN et al. 2009).

As Terras Preta Arqueológicas estão associadas a sítios de aldeia indígena, com presença de cerâmica, restos animais, ossos de peixes e outros detritos culturais. Estas terras escuras provavelmente ocupam pelo menos 0,1% a 0,3% ou 6.300 a 18.900 quilômetros quadrados de floresta de várzea da Amazônia Sombroek et al. (2003), mas outros estimam 1,0% ou mais. Elas ocorrem em uma variedade de situações climáticas, geológicas e topográficas, atingindo profundidades de até cerca de 2,0 metros.

No que diz respeito à distribuição das TPA's Kern et al. (2003) menciona que estas ocorrem em manchas de solos por toda a Amazônia especialmente no Brasil, Colômbia, Guiana, Equador, Peru e Venezuela. Sendo estas manchas encontradas principalmente, nas margens dos cursos de água, ocupando várzeas, elevações marginais, com extensão variando de um hectare a centenas de hectares, ao longo de rios e interflúvios, situadas comumente em locais com posição topográfica que permita boa visualização espacial. (GERMAN 2003)

De acordo com Lima et al., (2002) essas manchas ocorrem sobre várias classes de solos, especialmente Latossolos, Argissolos e Cambissolos, podendo ocorrer sobre Neossolos e Espodossolos (SMITH, 1980; MACEDO et al., 2007).

2.3 Características químicas

As áreas de TPA em geral são caracterizadas pelo horizonte A antrópico com espessura média de 30 a 60 cm, podendo atingir até 2 m de espessura, coloração escura proveniente dos grandes estoques de matéria orgânica húmica estável e carbono pirogênico (GLASER ET AL. 2001; GLASER & BIRK; 2012), Variando entre preto e bruno acinzentado muito escuro (2,5YR2/0; 5YR2,5/1; 7,5YR 2/0; 10YR 2/0 a 3/4) (KÄMPF & KERN,2005) apresentando como característica marcante alta fertilidade natural (GLASER, 2007).

As TPA's apresentam em média, 507 g kg⁻¹ de P disponível, 9,4 cmolc kg⁻¹ de Ca + Mg e pH de 5,6, enquanto que Latossolos e Argissolos apresentam apenas 1,7 g kg⁻¹ para o P disponível, 1,4 cmolc kg⁻¹ para o Ca + Mg e pH 4,5 além da acentuada presença de

fragmentos de cerâmica, artefatos líticos e carvão incorporados à matriz dos horizontes superficiais do solo (KÄMPF & KERN, 2005).

Os elevados teores de C orgânico, bem como os de P, Ca e de Mg, são resultantes da deposição de cinzas, resíduos de peixes, conchas, caça, dejetos humanos, entre outros compostos orgânicos. Por essa razão, a fertilidade química da TP é significativamente superior à maioria dos solos amazônicos não perturbados pela atividade humana pré-histórica, geralmente ácidos e pobres em nutrientes (RODRIGUES, 1996; KERN & KÄMPF, 1989; WOODS & MCCANN, 1999; MCCANN ET AL., 2001; LIMA ET AL., 2002).

Outras características relevantes a serem citadas são: formação de agregados estáveis e proteção da superfície do solo; manutenção das amplas funções biológicas, incluindo a imobilização e liberação de nutrientes; oferta de sítios de troca catiônica; e estocagem de carbono terrestre. Dados estes bastante relevante visto que os solos da Amazônia são caracterizados como pobre quando analisada suas propriedades químicas (NASCIMENTO & HOMMA, 1984).

Cunha *et al.*, 2007 observa que esses solos altamente férteis formados no passado parecem manter sua fertilidade mesmo em condições de clima tropical, o que contrasta com a maioria dos solos encontrados na região. Essa característica peculiar é atribuída ao elevado nível e as características físico-químicas da matéria orgânica, principalmente pela contribuição significativa do carbono pirogênico, formado pela oxidação incompleta de materiais orgânicos, o qual desempenha papel significativo na formação das propriedades físicas (estruturação, retenção de água, etc.) destes solos, influenciando positivamente sua fertilidade.

2.4 Características Físicas

Em relação aos atributos físicos do solo as Terras Pretas Arqueológicas apesar de normalmente apresentar a fração areia em maior percentual que o provável solo original, apresenta grande variação entre os sítios de TPA's (TEIXEIRA et al., 2010) com textura variando entre arenosa e muito argilosa (LIMA et al., 2002), horizontes bem drenados com boa disponibilidade de água e baixos valores de densidade do solo, ostentam boas condições de aeração, porosidade e condutividade hidráulica apropriadas para promover a infiltração de água e favorecer as trocas gasosas (NEVES JÚNIOR, 2008).

Uma característica particular da TPA está no carbono orgânico que se encontra na forma de carbono pirogênico e em níveis de 35-45 % bem superiores quando comparado aos

14% encontrados em solos circunvizinhos sem horizonte antrópico, e 48 a 59% deste carbono encontra-se na fração leve da matéria orgânica do solo (GLASER et al., 2000). A natureza do carbono pirogênico (particulada, livre, protegida e em complexos organo-minerais) indica o papel significativo na formação das propriedades físicas (estruturação, retenção de água etc.) desses solos, afetando positivamente sua fertilidade (CUNHA et al., 2007)

As TPA's comumente apresentam uma menor densidade do solo, em comparação aos solos adjacentes. Neves Júnior (2008) constatou baixos valores de densidade do solo nos horizontes antrópicos em áreas de Terras Pretas Arqueológicas manejadas com cultivo e, aumento da densidade com a profundidade, os menores valores de densidade do solo são devido aos altos teores de matéria orgânica no horizontes A antrópico.

Contudo, deve-se levar em consideração que as características físicas das TPA's podem variar dentro de cada sítio e entre sítios, dependendo do padrão das comunidades pré-históricas ocupantes (SANTOS, 2011).

2.5 Material Arqueológico

Associados a TPA encontram-se fragmentos cerâmicos e líticos que juntos constituem o principal legado da cultura material da Amazônia pré-histórica. Muitos estudos químicos-minerais destes materiais, vem sendo realizados para esclarecer possíveis intercâmbios culturais e técnica de manufaturas (IORDANIDIS et al. 2009; MOHAMED et al , 2010).

Os primeiros estudos investigativos a respeito dos aspectos morfológicos e descritivos dos fragmentos cerâmicos tiveram início no Século XIX e contribuíram para uma compreensão geral sobre a tecnologia utilizada na região amazônica para confecção destes artefatos (HILBERT, 1955, RANZANI et al., 1962; FALESI, 1974; EDEN et ai, 1984; SIMÕES & CORRÊA, 1987; SIMÕES & MACHADO, 1987; SIMÕES,1987; SIMÕES & LOPES, 1987).

No final dos anos 90 iniciaram-se pesquisas visando avaliar o comportamento químico e mineralógico (COSTA et al., 1991; COELHO et al., 1996; COSTA & KERN, 1999; KERN & COSTA, 2001; COSTA et al., 2002; COSTA et al., 2004a, b; COSTA et al., 2006, 2009; KERN et al., 2009). Estes estudos concentraram-se no Fragmentos de cerâmica ao longo dos rios nos municípios de Oriximiná e na região de Caxiuanã, no Estado do Pará e parcialmente em áreas adjacentes a Manaus e Tabatinga no estado de Amazonas (LIMA, 2001), que mostram a presença constante de fósforo em concentrações relativamente altas em fragmentos cerâmicos bem distribuídos de acordo com a distribuição das manchas de terras pretas.

A composição mineralógica dos fragmentos cerâmicos encontrados em TPA é constituída pelos produtos da queima dos temperos (cauxi e cariapé), minerais de argila (geralmente caulinita com maior abundância), feldspatos (albita e microcline), hematita, maghemita, goethita, anatásio, amorfos de fosfato de alumínio, entre outros. (COSTA et al., 2004) .

Glaser et al (2001) e Glaser & Birk (2012) creditam a fertilidade de TPA a acumulação de Carbono proveniente da combustão incompleta da matéria orgânica (P_yC ou *black carbon*) que é significativamente maior que a dos solos adjacentes. Esta hipótese explica a capacidade de troca catiônica destes solos, mas o P_yC não poderia ser responsável pela reposição dos nutrientes, e, portanto, de sua resiliência, uma vez que a sua composição química não lhe confere esta possibilidade. Por outro lado, Costa, (2010) destaca que os fragmentos cerâmicos podem ser uma possível fonte de nutrientes, por conta de sua composição químico-mineralógica equivalente a fragmentos de rochas dispersos no solo, uma lembrança de saprófitos de solos geogênicos, em que sua composição bioquímica estaria liberando os seus componentes químicos como P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu, entre outros. Sendo esta hipótese suportada por estudos mineralógicos que comprovam que estes fragmentos são constituídos por quartzo, metacaulinita, por vezes hematita, goetita e anastásio, localmente mica, feldspatos e clorita além dos antiplásticos, cauxí, cariapé, conchas, cinzas e carvão (COSTA et al., 2009).

As elevadas concentração destes artefatos cerâmicos em alguns locais das TPI também são responsáveis por características físicas e hídricas específicas nestes locais (TEIXEIRA et al., 2009). Macedo et al., 2008 em um estudo realizado para a avaliar o comportamentos hídrico do solo verificou o efeito da concentração de fragmentos cerâmicos na disponibilidade de água onde observou que em solos cujas partículas predominantes na matriz são da fração areia (mais arenosos), uma elevada concentração de fragmentos cerâmicos pode aumentar a retenção de água em potenciais elevados (menores que pF 3,0).

3. INTRODUÇÃO

Na região Amazônica são encontradas diversas manchas de solo denominadas de Terra Preta Arqueológica (TPA). São áreas que variam de menos de um a até 400 hectares, podendo atingir dois metros de profundidade (SOMBROEK et al., 2003) e são formados por modificações das características originais do solo por atividades antrópicas de comunidade indígenas pretéritas (COSTA et al., 2004).

Os solos de TPA são identificados por sua coloração escura, presença de materiais arqueológicos (fragmentos cerâmicos e artefatos líticos) e altos teores de carbono orgânico, fósforo, cálcio, magnésio, zinco e manganês, características estas que contrastam com os solos adjacentes, sem interferência antrópica (SMITH, 1980).

Embora os fragmentos cerâmicos e líticos se destaquem como componentes fundamentais na caracterização das TPA's, as primeiras pesquisas voltadas ao estudo dos componentes químicos e mineralógico destes materiais só tiveram início no final dos anos 90 (COSTA et al., 1999; COSTA et al., 2004; COSTA et al., 2006; KERN et al., 2009). Estes estudos se concentraram na avaliação de fragmentos cerâmicos de sítios localizados ao longo dos rios, no Estado do Pará, e parcialmente em áreas próximas a Manaus e Tabatinga no estado do Amazonas (LIMA, 2002). A presença destes fragmentos cerâmicos foi destacada como uma fonte potencial de nutrientes no solo, por sua composição químico-mineralógica equivalente a fragmentos de rochas dispersos no solo, uma lembrança de saprólitos de solos geogênicos, em que sua decomposição bioquímica estaria liberando os seus componentes químicos como P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu, entre outros (COSTA et al., 2010). Esta hipótese foi suportada por estes mesmos autores que, pelo estudo da mineralogia dos solos de TPA, comprovaram que estes fragmentos são constituídos por quartzo, metacaulinita, por vezes hematita, goetita e anastásio, em alguns lugares mica, feldspatos e clorita além dos antiplásticos, cauxí, cariapé, conchas, cinzas e carvão (REF).

As elevadas concentração destes artefatos cerâmicos em TPA's também são responsáveis por características físicas e hídricas específicas nestes solos como maior retenção de água em potenciais menores principalmente em solos de textura mais arenosa (TEIXEIRA et al., 2009) e agregados mais estáveis devido o carbono orgânico recalcitrante. Contudo, não há estudos que relacionem a presença de artefatos cerâmicos com as propriedades físico-hídricas dos solos de TPA. Avaliações dos seus materiais arqueológicos destacam prioritariamente sua composição química (CUNHA et al., 2007; LEMOS et al., 2011) e mineralógica (COSTA e

KERN, 1999; SILVA et al., 2012) não relacionando estas informações com as propriedades físicas do solo.

Neste contexto, a hipótese do presente estudo é que áreas de TPA, sob mesma classe de solo, mas, com diferentes concentrações de fragmentos cerâmicos apresentam propriedades físico-hídricas distintas. Desta forma, o objetivo do estudo é caracterizar morfológicamente e avaliar as propriedades físico-hídricas de um Argissolo Vermelho com horizontes antrópicos com diferentes concentrações de fragmentos cerâmicos assim como uma área adjacente sem interferência antrópica.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

Neste estudo foram avaliados quatro perfis de solo localizados no Sítio Arqueológico São José, situado na margem direita do rio Xingu, no município de Altamira (3° 15' 38.50" S; 52° 01' 51.09" O), região do baixo Xingu, sudoeste do Estado do Pará (Figura 1). O clima da região é tropical, classificado como Af de acordo com a classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1191 mm e temperatura média anual de 22.5 °C (INMET, 2016).

O sítio encontra-se no topo de um patamar (altitude de 112 m) e na planície de inundação do rio Xingu, tendo como limite oeste uma declividade abrupta em direção ao rio, com 10 m de altura. Dada a existência de terra preta em profundidade na base da elevação da porção oeste, acredita-se que parte do sítio tenha sido suprimida pela erosão provocada pelo rio nesta vertente. Na porção sul do sítio, essa declividade é menos abrupta, sendo bastante suave no sentido sudeste. Há um suave declínio em direção norte onde o patamar se extingue para dar continuidade à elevação do morrote para nordeste (SCIENTIA, 2015).



Figura 1. Mapa de localização do Sítio Arqueológico São José município de Altamira, Pará, Brasil (Fonte: EIA, RIMA Maps 2015)

Os quatro perfis foram descritos com base nas suas características morfológicas (Figura 2), de acordo com Manual de descrição e coleta de solo no campo, Embrapa (2013) e das características arqueológicas, considerando a profundidade, tipo e quantidade de fragmentos cerâmicos. A descrição completa dos perfis está apresentada na Tabela 1 e a quantificação dos fragmentos cerâmicos na Figura 3.

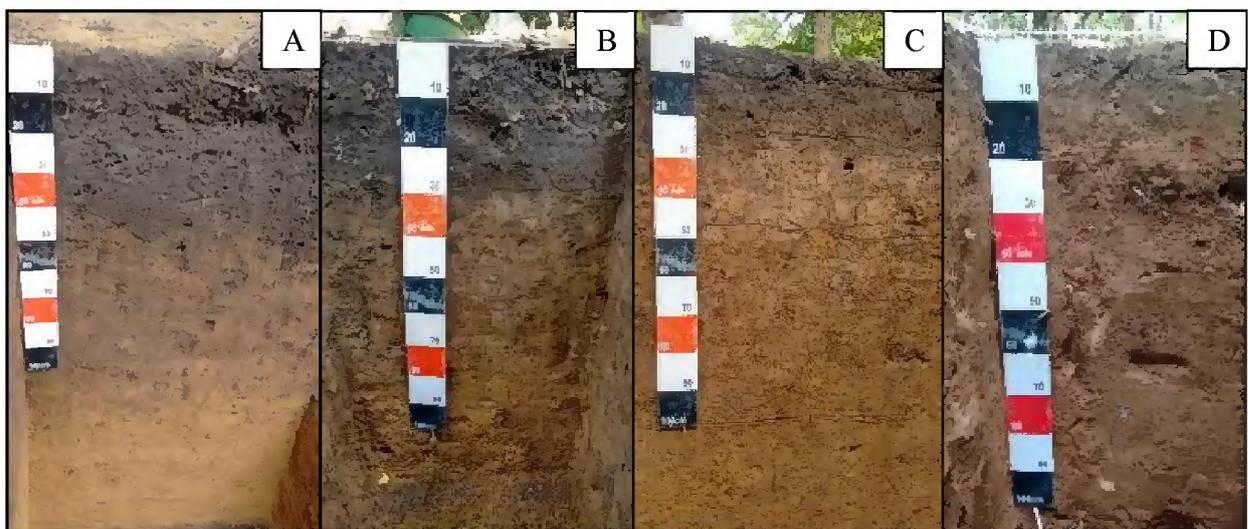


Figura 2: Perfis de solo descritos do sítio arqueológico Saõ José- Altamira –PA A) P1-Área com incidência de TPA profunda e material arqueológico B) P2-Área com incidência de TPA pouco

profunda e material arqueológico;C) P3-Área sem ocorrência de TPA e com material arqueológico e D) localizado em área adjacente com vegetação de floresta nativa) do sítio arqueológico São José, Altamira-PA.

A quantificação dos fragmentos cerâmicos se deu a partir de escavações de unidades de 1 m², executadas seguindo-se níveis artificiais de 10 cm, cujos solos foram peneirados para total identificação dos fragmentos. Seguindo protocolo previamente estabelecido e referendado pelo Iphan, cada unidade foi escavada até o início do nível arqueológico estéril, determinado pela ocorrência de, ao menos, dois níveis (ou seja, 20 cm) de ausência ininterrupta de artefatos, ou por encontrar camada espessa de laterita sendo o material arqueológico resgatado durante a escavação de unidades foi acondicionado em sacos plásticos conforme sua natureza, com etiquetas identificando o sítio arqueológico, a unidade e o nível do qual foi retirado.

Com base nas descrições dois perfis foram classificados como Terra Preta Arqueológica (TPA), P1 e P2; um com presença de fragmentos cerâmicos, mas não classificado como TPA, P3; e um de referência, sem interferência antrópica, localizado adjacente aos demais perfis, P4.

Pesquisas arqueológicas prévias concluíram que o sítio São José apresenta evidências de ocupação de somente uma tribo indígena (SCIENTIA, 2015). Esta observação é muito importante, pois, significa que a diferenciação dos artefatos entre os perfis é somente na quantidade e não nos tipos de materiais, o que suporta o objetivo deste trabalho de avaliar as diferenças nos atributos físicos do solo entre os perfis, atribuindo as possíveis variações à quantidade de artefatos cerâmicos visto que as demais condições são iguais: vegetação, clima, tipo de solo e textura.

A vegetação nativa das áreas foi completamente descaracterizada por atividades agrícolas, e hoje encontra-se em estágio médio a avançado de regeneração com inclusões de espécies frutíferas, como manga, goiaba, acerola, entre outros.

4.2 Amostragem de solo

A caracterização física das áreas foi feita somente na camada de 10-20 cm que representa a profundidade onde foi observada a maior concentração de fragmentos cerâmicos nos perfis P1, P2 e P3 (Figura 3). A coleta de amostras se deu ao entorno dos perfis a uma distância variando de 1,5 a 2,0 m de acordo com os limites de cada mancha de TPA. Distribuídas de forma aleatória, foram coletadas 15 amostras de solo, com estrutura preservada, utilizando anéis volumétricos com dimensões de 5 cm de altura e diâmetro (N = 60). Também foram coletadas quatro amostras de solo com estrutura deformada, em cada horizonte delimitado nos perfis, para quantificação do conteúdo de carbono orgânico e distribuição do tamanho das partículas. Para a determinação da estabilidade de percolação de agregados e densidade de partículas, foram coletadas quatro amostras deformadas, em cada área, somente na profundidade de 10-20 cm.

Perfil 1 - Área com incidência de TPA profunda e material arqueológico.

Perfil 2 - Área com incidência de TPA pouco profunda e material arqueológico.

Perfil 3- Área sem ocorrência de TPA e com material arqueológico.

Perfil 4- Localizado em área Adjacente com vegetação de floresta nativa.

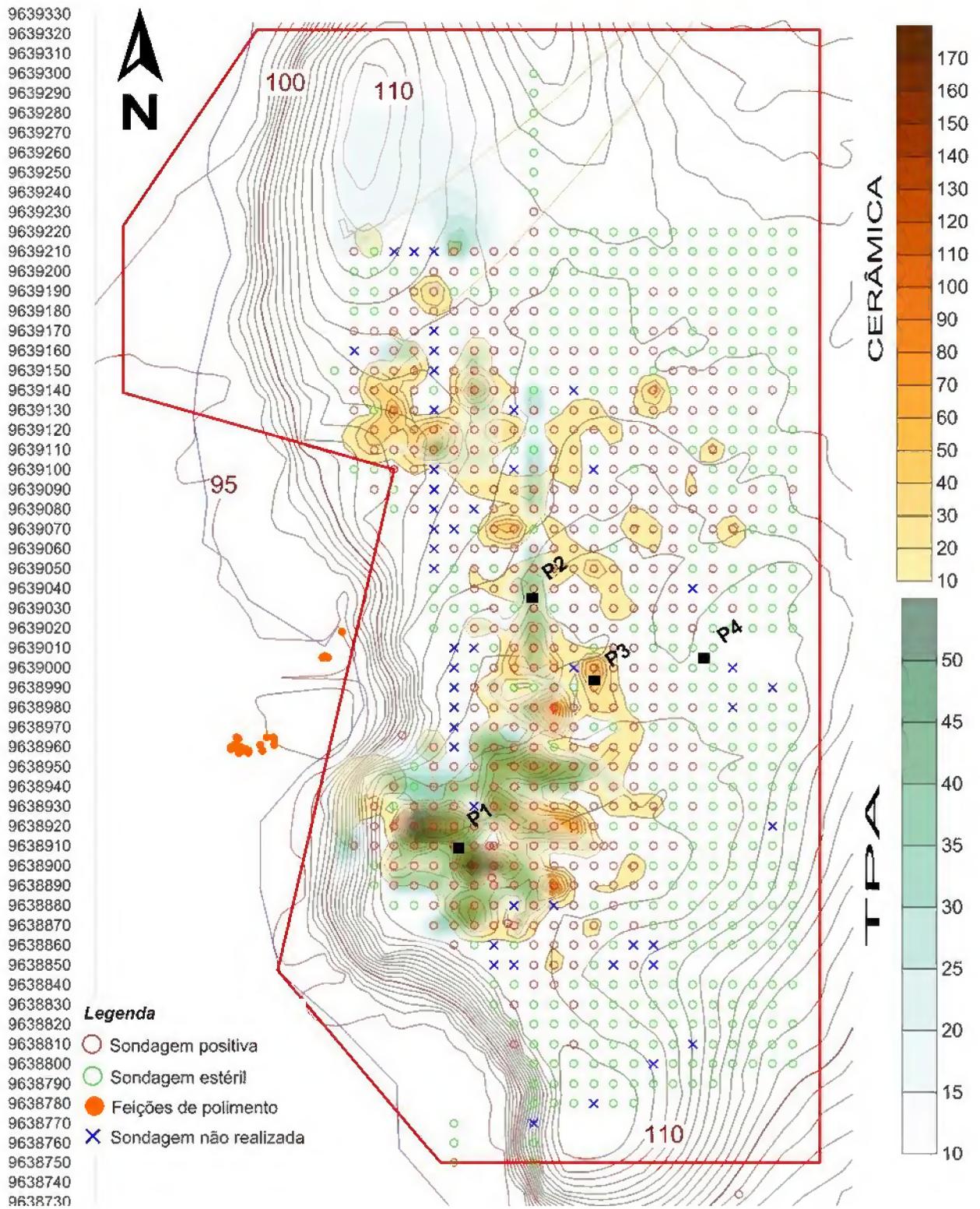


Figura 3. Croqui de distribuição do material arqueológico encontrado na malha sistemática de sondagens do sítio São José 1, localização dos perfis coletados, das áreas de Terra preta, das feições de polimento e gravura rupestre. (Fonte: Scientia, 2015)

4.3 Análises

Para a determinação da distribuição do tamanho das partículas, as amostras deformadas foram passadas em peneira de malha de 2 mm. As amostras coletadas nos horizontes classificados como antrópicos foram submetidas à pré-tratamento com peróxido de hidrogênio (H₂O₂) para remoção da matéria orgânica (EMBRAPA, 1997). Em seguida as amostras foram agitadas com solução dispersante, passadas em peneira para separação da fração areia e sedimentadas em provetas para determinação das frações argila e silte, seguindo o método da pipeta de acordo com EMBRAPA (1997).

O carbono orgânico foi quantificado por titulometria (Raij et al., 2001) onde o carbono orgânico é oxidado por solução de dicromato de potássio em presença de ácido sulfúrico. O método baseia-se em uma modificação do método descrito por Walkey (1947) e Walkey & Black (1934).

A estabilidade de percolação (EP) foi determinada em quatro repetições de acordo com Becher e Kainz (1983) e Auerswald (1995). Foram colocados 10 g de agregados secos ao ar com diâmetros de 1 a 2 mm em tubos cilíndricos transparentes com dimensões de 15 mm de diâmetro interno e 105 mm de comprimento. A extremidade inferior dos tubos foi coberta com uma malha de arame fino e adição de uma camada de 2 mm de altura de areia de tamanho médio (diâmetro de 0,25 a 0,50 mm), essa camada de areia também foi colocada na parte superior dos tubos de forma que os agregados ficassem em contato direto com a areia. Para o acondicionamento homogêneo dos agregados dentro dos tubos, estes foram submetidos a 10 quedas mecânicas, a uma altura de 2 cm sobre uma superfície dura. Em seguida água deionizada foi percolada na coluna de agregados sob uma pressão hidrostática constante de 20 hPa durante 10 minutos. A quantidade de água que percola no tubo em 10 minutos é considerada como EP não corrigida. O conteúdo de areia dos agregados influencia fortemente a EP e deve ser corrigido para a fração de areia total (50-2000 µm) no agregado. Portanto, EP foi calculada de acordo com a equação 1:

$$EP(\text{corrigido}) = \frac{EP(\text{n\~{a}o corrigido}) \times (100 - \% \text{areia})}{100} \quad (1)$$

Os resultados são expressos em mL 10min⁻¹ e se referem aos valores de EP corrigidos.

Para fins de classificação, Mbagwu e Auerswald (1999) dividiram a EP em três faixas: rápida (> 250, mL 10min⁻¹); moderada (250-150 mL 10min⁻¹) e lenta (< 150 mL 10min⁻¹), sendo este o critério utilizado para a avaliação da EP entre os perfis.

A densidade das partículas (D_p , $Mg\ m^{-3}$) foi determinada utilizando um picnômetro de gás hélio (modelo ACCUPYC 1330, Micromeritics Instrument Corporation®).

As amostras indeformadas foram utilizadas para determinação da curva de retenção de água no solo (CRAS), porosidade (total, macro e microporosidade), resistência do solo à penetração (RP) e densidade do solo (D_s).

Para a determinação da CRAS as amostras foram lentamente saturadas através da elevação gradual de lâminas de água em bandejas, até que se atingisse aproximadamente 2/3 da altura da amostra (EMBRAPA, 1997) e, posteriormente, todas as amostras foram drenadas nos potenciais: -10; -20; -40; -60; -80; -100; -200; -300; -500; -700; -800; -1000 hPa em câmaras de pressão. Para o potencial de -15000 hPa subamostras de solo foram retiradas dos anéis e usadas para preencher anéis menores com dimensões de 13 mm de altura e 50 mm de diâmetro que foram colocados diretamente em placas porosas em câmara de Richards (KLUTE, 1986). Atingido o equilíbrio no potencial as amostras foram pesadas e secas em estufa à 105°C por 24 h.

Após o equilíbrio no potencial de - 1000 hPa as amostras foram saturadas novamente e drenadas no potencial de - 100 hPa, equivalente ao potencial da umidade do solo na capacidade de campo, para determinação da resistência do solo à penetração (RP). A resistência do solo à penetração (RP) foi determinada nas amostras submetidas ao potencial - 100 hPa utilizando penetrômetro eletrônico de bancada com diâmetro da base medindo 3,85mm de diâmetro modelo Texture Analyzer, Brookfield®.

Finalizada as determinações da RP e retiradas as subamostras para equilíbrio à - 15000 hPa, as amostras foram secas em estufa à mesma temperatura e tempo das subamostras e agrupadas para obtenção da massa seca e cálculo da umidade gravimétrica.

A densidade do solo (D_s , $Mg\ m^{-3}$) foi calculada pela razão entre massa de solo seco e volume do anel (Grossman & Reinsch, 2002), pela equação:

$$D_s = \frac{ms}{V} \quad (2)$$

Os dados de umidade do solo em relação ao seu respectivo potencial mátrico foram ajustados usando a equação de van Genuchten (1980) com a restrição de Mualem (1976) ($m = 1 - 1/n$):

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[(1 + \alpha \psi)^n \right]^m} \quad (3)$$

onde θ é a umidade gravimétrica do solo (g g^{-1}); θ_r a umidade gravimétrica residual (g g^{-1}); θ_s a umidade gravimétrica de saturação (g g^{-1}); ψ_0 potencial mátrico (hPa); α , m , n são os parâmetros empíricos do modelo.

A partir dos dados de D_s e D_p foi calculada a porosidade total do solo (PT , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) pela relação:

$$PT = 1 - \frac{D_s}{D_p} \quad (4)$$

A microporosidade foi tida como a umidade do solo no potencial de -60 hPa e a macroporosidade como a diferença entre a porosidade total e a microporosidade (EMBRAPA, 1997).

Já o conteúdo de água disponível (CAD) foi determinado pela diferença entre a capacidade de campo -100 hPa e o ponto de murcha permanente -15000 hPa.

4.4 Análises estatísticas

Os dados foram avaliados por gráficos de box-plot e testes de médias ($p < 0.05$). Os ajustes das CRAS's foram realizados utilizando o pacote "soilphysics" no programa R (R CORE TEAM, 2016).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Somente os perfis P1 e P2 apresentaram horizonte A antrópico (Au) (Tabela 1) segundo critério definido em Santos et al. (2013). Os horizontes superficiais dos perfis P1, P2 e P3 apresentaram cores cinza muito escuro, com matiz 10YR e cromas variando entre 1 e 2, enquanto o croma do P4 variou de 3 a 5. Menores valores de croma se deve a coloração escura dos horizontes antrópicos resultantes dos elevados teores de matéria orgânica. Os horizontes subsuperficiais apresentaram cores amareladas, apresentando nítida diferenciação entre o horizonte Au e os horizontes subsequentes (Tabela 1).

O P3 embora apresente fragmentos cerâmicos não foi classificado como TPA por não atender os critérios básicos para a classificação de solos antropogênicos proposta por Kämpf et al. (2003) com a Legenda de Classificação de Arqueo-antrossolos (LCA) não apresentando

Tabela 1 – Descrição morfológica dos quatro perfis avaliados, localizados no Sítio Arqueológico São José, município de Altamira, PA.

Horiz.	Prof. (cm)	Cor (úmida)	Estrutura ⁽¹⁾	Consistência (seca/úmida) ⁽²⁾	Transição ⁽³⁾
Argissolo vermelho amarelo com horizonte A antrópico – P1					
Au ₁	0-16	10 YR 2/1	For.Sub ang. Peq-gran	Macia /Friável	Difusa e plana
Au ₂	16-23	10 YR 2/1	For.Sub ang. Peq – méd	Macia /Friável	Difusa e plana
Au ₃	23-31	10 YR 2/1	For.Sub ang. Peq - gran	Ligei. Dura /Friável	Difusa e plana
Au ₄	31-49	10 YR 2/1	For.Sub ang. Peq - gran	Dura / Firme	Difusa e plana
AB	49-73	10 YR 4/4	Mod.Sub ang. Peq - gran	Muito Dura/muito firme	Gradual e ondulada
BA	73-124	10 YR 5/8	Mod.Sub ang. Peq - gran	Muito Dura/muito firme	Gradual e ondulada
Bt	124 -150	10 YR 6/6	Mod.Sub ang. Peq - gran	Dura/ Firme	Clara e ondulada
Argissolo vermelho amarelo com horizonte A antrópico – P2					
Au ₁	0-12	10 YR 2/1	For.Sub ang. Peq – méd	Macia / Muito Friável	Difusa e plana
Au ₂	12-30	10 YR 2/1	For.Sub ang. Peq – méd	Macia / Muito Friável	Difusa e plana
AB	30-65	10 YR 4/4	Mod.Sub ang. Peq - gran	Ligei. Dura /Friável	Gradual e plana
BA	65-90	10 YR 5/8	Mod.Sub ang. Peq - gran	Ligei. Dura /Firme	Gradual e plana
Bt	90-150	10 YR 6/6	Mod.Sub ang. Peq - gran	Macia / Muito Friável	Gradual e plana
Argissolo vermelho amarelo – P3					
A ₁	0-8	10 YR 2/2	Mod.Sub ang. Peq – méd	Macia /Friável	Difusa e plana
A ₂	8-21	10 YR 3/3	Mod.Sub ang. Peq – méd	Macia /Firme	Difusa e plana
AB	21-46	10 YR 4/3	Fra.Sub ang. Peq - gran	Dura /Firme	Gradual e plana
BA	46-98	10 YR 4/6	Fra.Sub ang. Peq - gran	Dura /Firme	Gradual e plana
Bt	98-150	10 YR 6/8	Fra.Sub ang. Pe gran	Macia /Friável	Clara e plana
Argissolo vermelho amarelo – P4					
A ₁	0-8	10 YR 3/3	Mod.Sub ang. Peq -méd	Macia /Friável	Gradual e plana
AB	8-21	10 YR 5/8	Mod.Sub ang. Peq -méd	Macia /Friável	Gradual e plana
Bt	21-150	10 YR 6/6	Fra.Sub ang. Peq - gran	Ligei. Dura /Firme	Difusa e plana

(1)fr.: fraca, mod.: moderada; for.:forte; peq.: pequena, mpeq.: muito pequena; méd.: média; gr.: grande; mgr.: muito grande; gran.: granular; bl. ang.: blocos angulares; bl. sub.: blocos subangulares, prism.:prismática. (2) so.: solto; mac.: macio; lig.dr.: ligeiramente duro; dr.: duro; mdr.: muito duro; ext.dr.: extremamente duro; mfri.: muito friável; fri.: friável; fir.: firme; mfir.: muito firme; ext.fir.: extremamente firme; (3) cla.: clara; pla.: plana; gra.:gradual; ond.: ondulada; dif.: difusa; abr.: abr

Características de horizonte antrópico foram observadas até a profundidade de 49 cm no P1 e 30 cm no P2. Segundo Smith (1980) a espessura da TPA está relacionada com o tempo de ocupação de determinado sítio arqueológico, estimando-se uma taxa de formação de 1 cm de espessura para cada dez anos de assentamento; no entanto, Lima et al. (2002) enfatizam que esta sugestão é inadequada, uma vez que não se conhece com razoável segurança a densidade populacional e os costumes de cada população.

A estrutura predominante foi em blocos angulares que se desfaz em granular, com grau de desenvolvimento variando de moderado a forte. A forte resistência desses agregados à quebra se deve à ação do carbono pirogênico (particulado, livre, protegido e em complexos organo-minerais) comumente encontrado nestes solos, que tem papel importante na formação e estabilidade dos agregados (CUNHA et al., 2007). Nos horizontes subsuperficiais, a estrutura variou entre granular e blocos subangulares.

Os perfis P1, P2 e P3 apresentaram grande variação na quantidade de fragmentos, que se concentraram em superfície, com destaque para o P1 (Figura 2). Dentre os materiais arqueológicos encontrados foram identificados diversos estilos de decoração cerâmica nas superfícies (interna, externa e bordas), manufatura e antiplástico. Os padrões decorativos mais observados foram incisões (com variações no comprimento, largura e profundidade) retilíneas, regulares e irregulares, incisões paralelas e cruzadas, incisões geométricas (nitidamente algumas dessas incisões foram ocasionadas intencionalmente com algum tipo de espátula (provavelmente vegetal) (Figura 2 A e B); nódulos; excisões e apliques de zoomorfos (cabeças, olhos, patas e bicos)) (Figura 2 D).

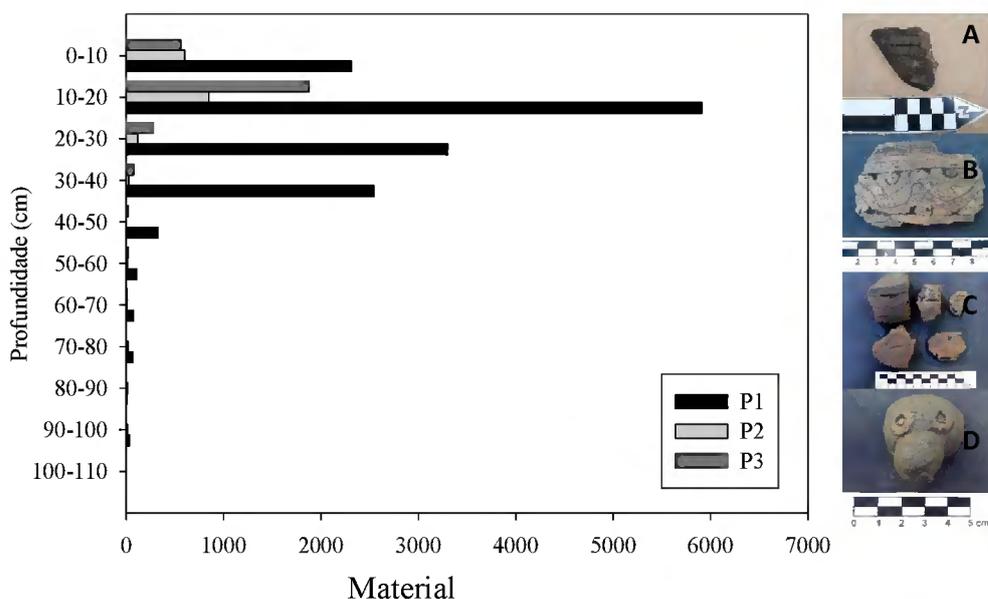


Figura 4 – Distribuição dos fragmentos cerâmicos por nível artificial em três perfis. As imagens à direita ilustram os tipos de materiais encontrados. Fonte: SCIENTIA, 2015.

A classificação textural dos quatro perfis foi franco argilo arenosa (Tabela 2). A predominância da fração areia, usualmente observada nos solos de TPA é, muitas vezes, atribuída a presença de microagregados organo-minerais muito estáveis, oriunda da fusão térmica de argila, partículas de silte e da disponibilidade de material orgânico resultando em partículas do tamanho da fração areia ocasionadas pelo uso intenso do fogo nesses locais (Sertsu e Sanchez, 1978; Ketterings e Bigham, 2000; Mataix-Solera et al., 2011, TEIXEIRA et al., 2009). Assim, para fins de comparação, a análise granulométrica foi realizada com e sem pré-tratamento com peróxido de hidrogênio para oxidação da matéria orgânica, porém, não foi observada diferença e, os resultados apresentados se referem as análises com pré-tratamento.

Tabela 2 – Distribuição do tamanho das partículas, carbono orgânico (CO) e densidade das partículas (Dp) dos perfis: P1– área com incidência de TPA profunda e material arqueológico, P2 – área com incidência de TPA pouco profunda e material arqueológico; P3 – área sem ocorrência de TPA e com material arqueológico e P4 – área adjacente com vegetação de floresta nativa, localizados no Sítio Arqueológico São José, Altamira, PA.

Perfis	Areia	Silte	Argila	CO	Dp Mg m ⁻³
	g kg ⁻¹				
P1	511,8 b	187,9a	301,4 a	56.67 a	2.60
P2	528,9b	176,4a	294,6 a	49.67 a	2.65
P3	572,3a	184,4a	243,9 a	29.67 b	2.71
P4	597,1 a	124,9 a	277,9 a	24.00 b	2.75

O conteúdo de carbono orgânico (CO) variou na sequência: P1 > P2 > P3 > P4 (Tabela 2). A densidade de partículas dos perfis foi inversamente proporcional ao conteúdo de CO. Isso se deve a baixa densidade da matéria orgânica que por apresentar massa muito menor que os sólidos minerais, reduz significativamente a densidade de partículas fazendo com que estes solos apresentem menores valores quando comparados aos adjacentes que são compostos basicamente caulinita e illita (BUCKMAN e BRADY, 1974)

Os gráficos de box plot objetivaram avaliar a heterogeneidade das propriedades físicas dos quatro perfis (P1, P2, P3 e P4). Todas as propriedades apresentaram diferenças significativas ($P < 0,001$) entre pelo menos dois perfis (Figura 3). Os perfis diferiram principalmente com relação a densidade do solo e porosidade total que foram significativamente distintas em todos os perfis.

A densidade do solo diminui na ordem P1 < P2 < P3 < P4 apresentando pouca variação na dispersão dos dados principalmente no perfil 3, que chama a atenção pelo fato de que baixa densidade em solos de TPA é atribuída ao elevado conteúdo de carbono orgânico (Kern e Kampf, 1989; Teixeira et al., 2009) no entanto observa-se que o P3 mesmo não sendo classificado como TPA e seu conteúdo de carbono orgânico não diferir estatisticamente do P4, apresentou valor de densidade significativamente menor quando comparado área adjacente este resultado possivelmente está relacionado as condições de umidade que os fragmentos cerâmicos encontrados em P3 propiciam a solo.

A porosidade total foi maior na ordem, P1 > P2 > P3 > P4 a sendo constituída principalmente de microporos nos perfis P1, P2 e P3. Os valores médios de porosidade total observa-se que o Perfil 1 apresentou o maior valor de porosidade (0,59 m³ m⁻³), sendo este

perfil o de maior incidência de artefato cerâmico, seguido de P3 e P2 (Figura 4 b) demonstrando porosidade total nos horizontes antrópicos mais elevada que nas áreas adjacentes corroborando com resultados encontrados por Santos et. al, 2013 em estudo de solos antropogênicos da região sul do estado do Amazonas, possuindo assim, boas condições estruturais, pois os valores de porosidade total ultrapassam $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ seguindo com critérios estabelecidos por Brady e Weil (2008).

Os valores de macroporosidade apresentaram diferenças no perfil 1 com valor médio de $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ valor este semelhante ao encontrado por Barros et. al (2012) em TPA's da floresta nacional de Caxiuanã e no perfil 4 área de mata nativa. Todos os perfis apresentaram valores adequados para porosidade de aeração, considerando o valor mínimo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, visto que macroporosidade inferior a 10% limita a difusão de oxigênio, com consequência para o crescimento e atividade dos microrganismos e desenvolvimento de raízes (TORMENA, 2002)

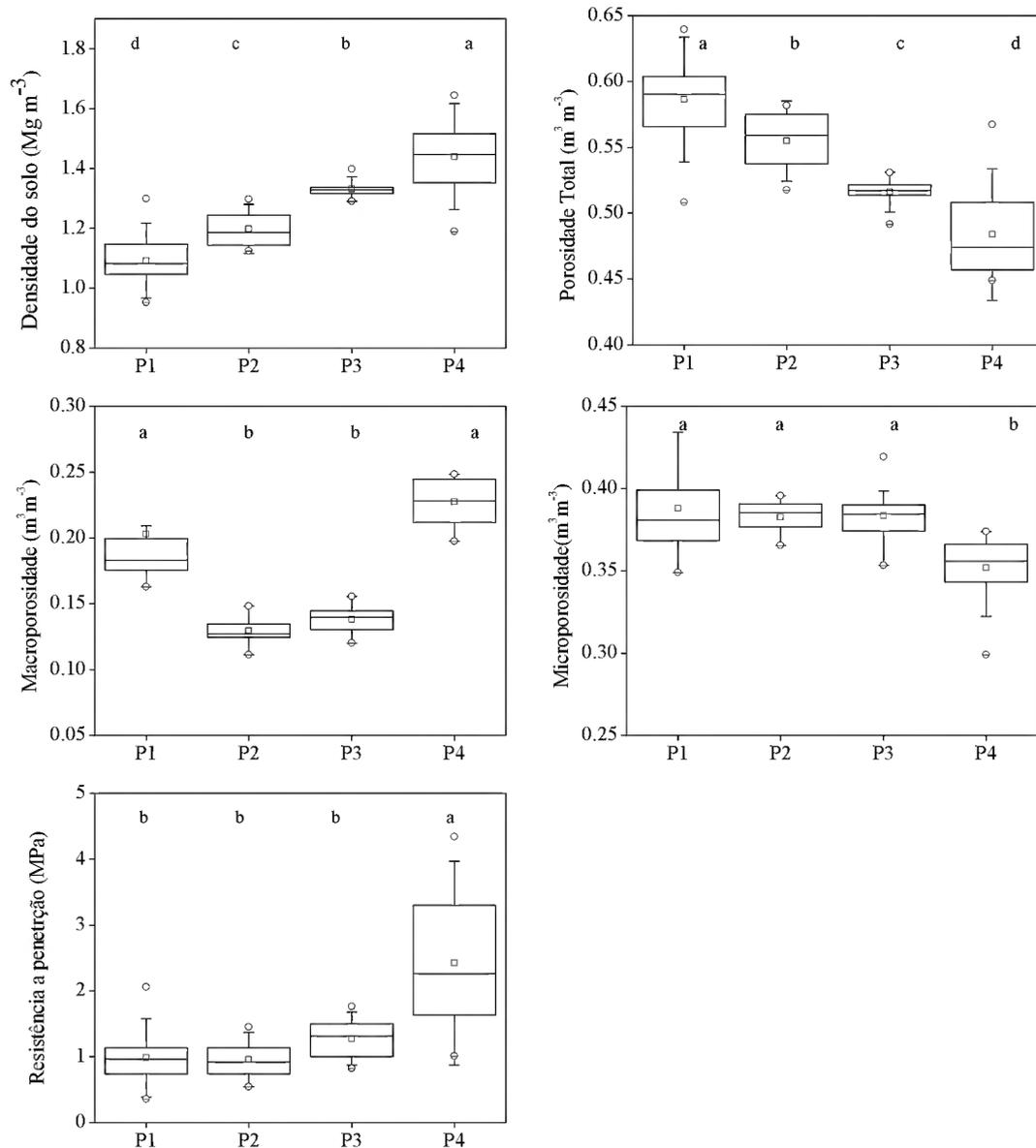


Figura 5 – Propriedades físicas dos perfis: P1– área com incidência de TPA profunda e material arqueológico, P2 – área com incidência de TPA pouco profunda e material arqueológico; P3 – área sem ocorrência de TPA e com material arqueológico e P4 – área adjacente com vegetação de floresta nativa, localizados no Sítio Arqueológico São José, Altamira, PA.

Já a microporosidade do solo foi maior nos quatro perfis em relação a macroporosidade o que indica uma boa capacidade de retenção de água nos perfis visto que os microporos são os responsáveis pela retenção da umidade no solo, sendo o perfil 1 o que apresentou maior valor ($0.41 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), seguido por P3 ($0,39 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e P2 ($0.38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Uma possível explicação para esse resultado pode ser atribuído aos fragmentos cerâmicos contidos

nesses perfis, visto que a água pode ter sido armazenadas nos microporos contidos nas cerâmicas, pois uma forte relação entre retenção de água e microporos foi relatada na literatura onde verificava-se que os poros existentes nas cerâmicas eram preenchidos de água nos períodos úmidos (TEIXEIRA et al., 2009).

Com relação a estabilidade de percolação-EP dos quatro perfis foi classificada como rápida, baseando-se na classificação proposta por Mbagwu e Auerswald (1999), o que indica uma alta estabilidade dos agregados, sendo esta, maior no (P1) classificado como TPA, os demais perfis não apresentaram diferença entre si (Figura 4). Esse comportamento pode estar relacionado melhor relacionado ao conteúdo de carbono orgânico contido em maior quantidade nas duas áreas em questão, pois a correlação positiva da matéria orgânica com a estabilidade de percolação já foi comprovada como um dos fatores intrínsecos do solo que mais afeta em sua estabilidade (Mbagwu e Auerswald, 1999) uma vez que os valores de estabilidade de percolação em P3 e P4 não se diferiram significativamente.

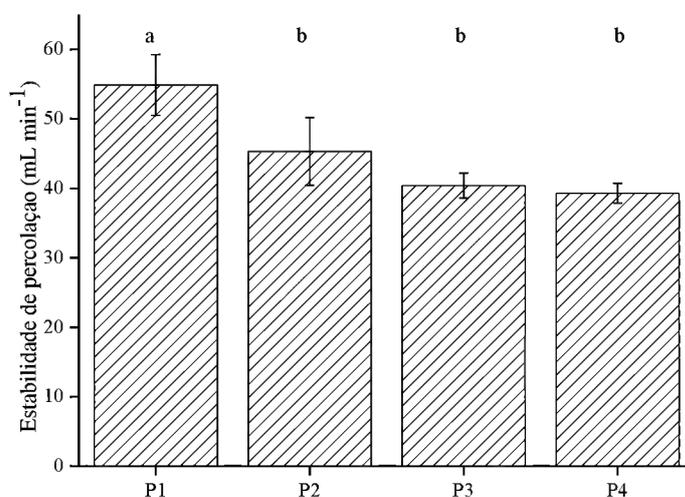


Figura 6- Estabilidade de percolação dos perfis: P1– área com incidência de TPA profunda e material arqueológico, P2 – área com incidência de TPA pouco profunda e material arqueológico; P3 – área sem ocorrência de TPA e com material arqueológico e P4 – área adjacente com vegetação de floresta nativa, localizados no Sítio Arqueológico São José, Altamira, PA.

A maior retenção de água nos solos com fragmentos cerâmicos é evidenciada pela curva de retenção de água (Figura 4) onde P1, P2 e P3 reteram mais água em todos os potenciais. A elevada concentração de artefatos cerâmicos em TPA condiciona características físico-hídricas distintas nestes solos (Teixeira et al., 2009). A maior retenção, principalmente nos menores potenciais, resulta da ligação das moléculas de água aos fragmentos cerâmicos pelo processo de adsorção (LEABEAU & KONRAD, 2010).

Ao estudarem o potencial de absorção de soluções por cerâmicas Jalali et. al, (2016) observaram que de acordo com a heterogeneidade dos poros das cerâmicas, foi possível a absorção de umidade através da ação da capilaridade fato este que poderia estar acontecendo com as cerâmicas arqueológicas, corroborando assim com estudos de Teixeira et al. (2009) e Macedo et al. (2008) que relatam que a presença desses fragmentos contribuem para aumentar a disponibilidade de água em solos com elevada concentração desses artefatos. Os poros presentes nas cerâmicas podem ser preenchidos com água no período chuvoso e, com o secamento do solo, a água por diferença de potencial se desloca para a matriz do solo.

Figura 5– Curva de retenção de água no solo e parâmetros de ajuste dos perfis (P1-Área com incidência de TPA profunda e material arqueológico, P2-Área com incidência de TPA pouco profunda e material arqueológico; P3-Área sem ocorrência de TPA e com material arqueológico) do sitio arqueológico São José, Altamira-PA.

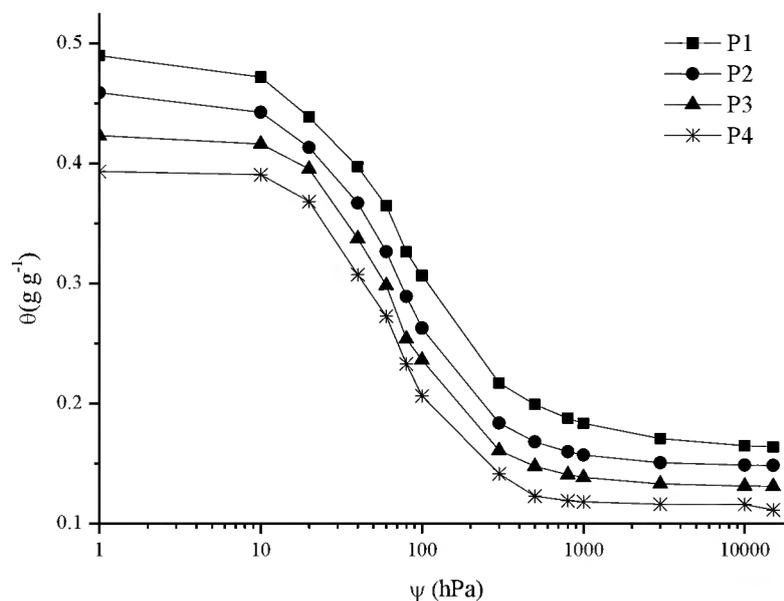


Tabela 3 - Parâmetros da Curva de retenção de água no solo ajustados pelo modelo de Van Genuchten 1980 para os quatro perfis de solo.

Perfis	θ_{sat}	θ_{res}	α	n	CC	PMP	CAD	R ²
P1	0.488 a	0.158 a	0,033 a	1,77 b	0.266	0.154	0.112	0,986
P2	0.458 b	0.147 b	0,022 ab	2.136 ab	0.244	0.134	0.109	0,967
P3	0.423 c	0,130 bc	0,024 ab	2.147 ab	0.231	0.135	0.096	0,985
P4	0.393 d	0,125 c	0,020 b	2.556 a	0.191	0.112	0.078	0,978

θ_{sat} - umidade de saturação; θ_{res} - umidade residual; α , n - parâmetros do modelo

Na saturação (θ_{sat}) o P1 apresentou maior conteúdo de água (0.488 g g⁻¹) seguido de P2 e P3 (Tabela 3) seguindo a mesma sequência crescente de quantidades de fragmentos cerâmicos encontradas nas respectivas áreas. Supondo com isso que a incorporação dos fragmentos cerâmicos eleva a porosidade do solo elevando assim o teor de umidade no solo.

Com relação a parte seca da curva, através do conteúdo de umidade residual (θ_{res}) observou-se que os maiores conteúdos de retenção de água nos perfis 1 e 2 com destaque para o perfil 3 que mesmo sem ocorrência de Terra Preta apresentou retenção de água semelhante ao perfil 2 em potenciais mais baixos, Considerando com isso uma estreita relação entre a quantidade de fragmentos cerâmicos e a retenção de água em altos potenciais. De acordo com Teixeira, (2009) este comportamento pode estar associado ao fato de a água em elevadas tensões, por diferença de potencial, deslocar-se dos poros de cerâmica em direção a matriz do solo corroborando com resultados encontrados por Macedo et al, (2008) que em estudo com amostras de solo com presença de cerâmica verificou maior retenção de água em potenciais (elevados menores que pF 3,0 \cong 1000 hPa), sendo este efeito mais pronunciado em solos de textura mais arenosa (MACEDO et al., 2008).

A importância da umidade residual está relacionada com a regulação de processos bioquímicos microbianos no solo (Moreira & Siqueira, 2006), reindução da tolerância à dessecação de sementes germinadas e plântulas sob elevado potencial matricial ($\Psi_m > 1.500$ kPa) (Rodrigues 2010). Além disso pode atuar como agente lubrificante entre agregados, quando o solo é submetido a pressões externas durante as operações mecanizadas (Dias Júnior, 2000).

6.CONCLUSÃO

Os dados de quantificação dos materiais arqueológicos dos perfis P1, P2 e P3 permitiram uma avaliação qualitativa dessas áreas. Assim, não foi possível relacionar quantitativamente a proporção de fragmentos com as propriedades físico-hídricas avaliadas. No entanto, notoriamente os resultados mostraram que a qualidade física dos quatro perfis foi melhor no solo com maior quantidade de fragmentos cerâmicos para o de menor, ou seja, $P1 > P2 > P3 > P4$. Desta forma, mais pesquisas são sugeridas para investigar essa relação, pois, estudos relacionando fragmentos cerâmicos com as propriedades químicas dos solos já estão disponíveis.

REFERÊNCIAS

- AUERSWALD, K. Percolation stability of aggregates from arable topsoil. **Soil Science, Philadelphia**, v. 159, p.142-148, 1995.
- Blake, G.R., Hartge, K.H., 1986 Bulk density. In: Klute, A., Ed. *Methods of Soil Analysis, Part 1—Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Edition, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, 363–382.
- BARROS, K.R.M.; LIMA, H.V. de; CANELLAS, L.P.; KERN, D.C. Fracionamento químico da matéria orgânica e caracterização física de Terra Preta de Índio. **Revista Ciências Agrárias**. v. 55, p. 44-51, 2012.
- BUCKMAN, H.O.; BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos**. 3rd ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1974. 69 p.
- CAMPOS, M. C. C. et al. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**, v. 70, n. 03, p. 598-609, 2011.
- CAMPOS, M.C.C. SANTOS, L.A.C. dos.; SIVA, D.M.P. da.; MANTOVANELLI, B.C.; SOARES, M.D.R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Agro@ambiente**, v. 6 , p. 102-109, 2012
- CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.701-709, 2000.
- CLAESSEN, M.E.C., 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- COSTA, M. L.; KERN, D. C.; PINTO, A. H. E.; SOUZA, J. R. T. The ceramic artifacts in archaeological black earth (terra preta) from Lower Amazon Region, Brazil: chemistry and geochemical evolution. **Acta Amazonica**. v. 34, p. 375-386, 2004.
- COSTA, J.A, KERN, D.C., COSTA, M.L., RODRIGUES, T., KAMPF, N., LEHMANN, J., FRAZÃO, F.J., 2010. Geoquímica das terras pretas amazônicas. In: Teixeira, W., Kern, D., Madari, B., Lima, H., Woods, W. (Eds.) *As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, pp. 162 e 171.
- COSTA, M.L., KERN, D.C., PINTO, A.H.E., SOUZA, J.R.T., 2004. The ceramic artifacts in Archaeological Black Earth (*Terra Preta*) from Lower Amazon Region, Brazil: chemistry and geochemical evolution. *Acta Amazon.* 34, 375–386. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672004000300004>
- CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta amazônica**, v. 37, p. 91-98, 2007.

EDEN, M.J.; BRAY, W; HERRERA, L.; MCEVAN, C. **Terra Preta Soils and their archaeological context in the Caquetá Basin of Southeast Colombia**. *American Antiquity*, 1984. 49 (1)125-140.

ERICKSON, C.L. **Archaeological methods for the study of ancient landscapes of the Llanos de Mojos in the Bolivian Amazon**. In: STAHL, P.W., ed. *Archaeology in the lowland American tropics*. Cambridge, Cambridge University Press, 1995. p.66-95.

ERICKSON, C.L. **Lomas de ocupacion in los Llanos de Mojos**. In: COIROLO, A.D. & BOKSAR, R.B., eds. *Arqueologia de tierras bajas*. Montevideo, Comision Nacional de Arqueologia, Ministerio de Educacion y Cultura, 2000. p.207-226.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos e análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 2112 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3.ed. Brasília, 2013. 353p

FALESI, I. **Soils of Brazilian Amazon**. In: WAGLEY, Ch. (Hrsg.): *Man in the Amazon*, Gainesville, 1974. p. 201-229.

FRASER, J. A.; CLEMENTE, C. R. **Dark Earths and manioc cultivation in Central Amazonia: a window on pre-Columbian agricultural systems?** *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi de Ciências Humanas*, v. 3, p. 175-194, 2008.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: p. 383-409. SSSA, 1986.

GERMAN, L. **The dynamics of Terra Preta: an integrated study of human-environmental interaction in a nutrient-poor Amazonian Ecosystem**. 2001. 336f. Doctoral (Dissertation) – University of Georgia, Athens, 2001.

GERMAN, L. A. Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: contributions to the debate on Amazonian Black Earth. **Geoderma**. v. 111, p. 307–331, 2003.

GLASER, B. et al., **The Terra Preta phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics**, *Naturwissenschaften*, 88 , 37 – 41 (2001).

GLASER B. & WOODS. W. **Amazonian Dark Earths: explorations in space and time**. Springer. Berlim. 216 p. 2004.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society B. London**. serv. v.362, p.187–196, 2007.

GLASER, B.; BIRK, J.J. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio). **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 82, p. 39-51, 2012.

GRABLE, A.R., SIEMER, E.G., 1968. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 32, 180–186. <https://doi:10.2136/sssaj1968.03615995003200020011x>

GROSSMAN, R.B.; REINSCH, T.G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C (Ed.). *Methods of analysis. IV: Physical methods*. Madison: **Soil Science society of America**, 2002. p. 201-225.

HILBERT, P. P. **A cerâmica arqueológica da região de Oriximiná**. Belém: Instituto de Antropologia e Etnologia do Pará, 1955. 76p.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. London: Academic Press, 1998. 771p.

IORANIDIS A., GARCIA-GUINEA J., KARAMITROU-MENESSIDI G, 2009. **Analytical study of ancient pottery from archeological site of Aiani northern Greece**. *Materials Characterization*, **60**: 292-302

KAMPF, N.; KERN, D.C. **O solo como registro de ocupação humana pré-histórica na Amazônia**. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E.J. (Eds.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 4, p.277-320. 2005.

KERN, D.C. & N. KÄMPF. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com Terra Preta Arqueológica na região de Oriximiná, Pará. **R.bras.Ci.Solo**, 13:219-225, 1989.

KERN, D. C. **Geoquímica e Pedogeoquímica em Sítios Arqueológicos com Terra Preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel-PA)**. 1986. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, 1996.

KERN, D. C. et al. **Distribution of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon**. In: LEHMANN, J.; KERN, D.; GLASER, B.; WOODS, W. (Eds.). *Amazonian dark earths: Origins, properties, management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003, p. 51-76.

KERN, D., KAMPF N., WOODS W., DENEVAN W., COSTA M.L., FRAZÃO F., SOMBROEK W. 2009. **As Terras Pretas de índio na Amazônia: evolução do conhecimento em terra preta de índio** In: Teixeira, W.G., Kern, D.C., Madari, B.E., Lima, H.N., Woods, W. (eds.) *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*, Manaus, EMBRAPA Amazônia Ocidental, p.73-82.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relação solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.

JALALI, J., BALGHOUTH, M., EZZAOUIA, H. Characterization of porous clay ceramics used to remove salt from the saline soils. **Applied Clay Science**, v.126, 259–267, 2016.

LEHMANN J, da Silva J P, STEINER C, Nehls T, Zech W and GLASER B 2003 **Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon basin**: fertilizer, manure and charcoal amendments *Plant and Soil* 343–57.

LIANG, B., LEHMANN, J., SOLOMON, D., KINYANGI, J., GROSSMAN, J., O'NEILL, B., SKJEMSTAD, J.O., THIES, J., LUIZAO, F.J., PETERSEN, J., NEVES, E.G., 2006. Black Carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 1719–1730. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.038>.

LIANG, B., LEHMANN, J., SOLOMON, D., SOHI, S., THIES, J.E., SKJEMSTAD, J.O., LUIZÃO, F.J., ENGELHARD, M.H., NEVES, E.G., WIRICK, S., 2008. Stability of biomass-derived black carbon in soils. *Geochim. Cosmochim. Acta* 72, 6069–6078. <https://doi:10.1016/j.gca.2008.09.028>

LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. R.; MELLO, J. W. V.; GILKES, R. J.; KER, J. C. Pedogenesis and pre-Columbian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia. *Geoderma*, v. 110, p. 1-17, 2002.

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LIMA, A. M. N. Mineralogia e química de três solos de uma toposequência da Bacia Sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 59-68, 2006.

MACEDO R. S.; TEIXEIRA W. G.; MARTINS G. C. Caracterização de dois perfis com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) no Lago do Limão – AM. In: **XI Congresso da Abequa, XII Congresso da Abequa: Estudos do quartenário e a responsabilidade sócioambiental**, Belém. ABEQUA/UFPA, 2007.

MACEDO, R.S.; TEIXEIRA, W.G.; MARTINS, G.C. Efeito da concentração de fragmentos cerâmicos na retenção de água do solo em amostras de Terra Preta de Índio na Amazônia Central - Brasil. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. Pôster apresentado no **Sixth World Archaeological Congress**, Dublin, 2008.

MBAGWU, J.S.C., AUERSWALD, K, Relationship of percolation stability of soil aggregates to land use, selected properties, structural indices and simulated rainfall erosion. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 50, p. 197-206, 1999.

MOHAMED A., JANAKI K., VELRAJ G. 2010. Microscopy porosimetry and chemical analysis to estimate the firing temperature of some archeological pottery sherd from India. *Microchemical Journal*, 95:311-314.

MYERS, T.P., DENEVAN W.M., WINKLERPRINS A., PORRO A. 2003. **Historical perspectives on Amazonian dark earth**. In Lehmann J., Kern, D.C., Glaser B. Woods W.I (eds.) *Amazonian Dark Earths. Origins properties and management*, Kluwer Academic Publisher, p. 15-28.

MUALEM, Y.A. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resource Research*, Washington, v. 12, p. 513-522, 1976.

NASCIMENTO, P. dos S. **Análise do uso da curva de retenção de água no solo determinada por diferentes métodos e planilha para manejo da irrigação**. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2009.

NEVES, E.G., PETERSEN J.B., BARTONE R.N., DA SILVA C.A. 2003. **Historical and sócio-cultural origins of Amazonian Dark Earths. Origin properties and management**. Kluwer Academic Publishers, p.29-50.

NEVES JUNIOR, A.F. **Qualidade física de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central**. 2008. 94p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) -

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

PETERSEN, J. B., E. NEVES, & M. J. HECKENBERGER. **Gift from the past: terra preta and prehistoric Amerindian occupation in Amazonia. In-Unknown Amazon: Culture in nature in ancient Brazil**, edited by C. McEwan, C. BARRETO, & E. Neves, pp. 86-105. London: The British Museum Press, 2001.

RAIJ, B. VAN, ANDRADE, J.C.DE., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., 2001. Análise química para avaliação do solo para fertilidade de solos tropicais. Campinas: Intituto Agronômico,. 285 p.

RAFFLES, H. In **Amazonia: a natural History**. Princeton: Princeton University Press, 2002.

RANZANI, G.; KINJO, T.; FREIRE, O. **Ocorrência de “Plaggen Epidedon” no Brasil. Bol. Te. Cient. Esc. Sup. Agric. “Luiz de Queiroz”**, 1962, 5: 1-11.

RAWLS, W.J.; PACHEPSKYB, Y.A.; RITCHIE, J.C.; SOBECKI, T.M.; BLOODWORTH, H. Effect of soil organic carbon on soil water retention. **Geoderma**, v. 116, p. 61– 76, 2003.

RILEY, H., POMMERECHÉ, R., ELTUN, R., HANSEN, S., KORSAETH, A., 2008. Soil structure, organic matter and earthworm activity in a comparison of cropping systems with contrasting tillage, rotations, fertilizer levels and manure use. **Agric.Ecosyst. Environ.** 124, 275–284

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, 2000. p.455-491.

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

SANTOS LAC, CAMPOS MCC, BERGAMIN AC, SILVA DMP, MENDONÇA JÚNIOR AF. Caracterização física de seis sítios de Terras Pretas Arqueológicas na região de Apuí-AM. **Rev Verde**. 2011;6:167-74.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. 2013a. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ra ed. Embrapa, Brasília, DF, 353p.

SANTOS, L.A.C.; CAMPOS, M.C.C.; AQUINO, R.E.; BERGAMIN, A.C.; SILVA, D.M.P.; MARQUES JR., J.; FRANÇA, A.B.C. 2013b. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37: 825-836.

SCHAAN, D. P. **The Camutins Chieftdom: rise and development of social complexity on Marajó Island, Brazilian Amazon**. 2004. Tese (Doutorado), Universidade de Pittsburgh, Pittsburgh, 2004.

SCHMIDT, M. J. **Reconstructing tropical nature: prehistoric and modern anthrosols (terra preta) in the Amazon rainforest, upper Xingu River, Brazil**. 2010. Dissertation (Doctoral) – Geography Department, University of Florida, Gainesville, 2010.

SCHMIDT, M. J. et al. Dark earths and the human built landscape in Amazonia: a widespread pattern of anthrosol formation. **Journal of Archaeological Science**, v. 42. p. 152-165, 2014.

SCIENTIA, 2015. Relatório parcial Sítio Arqueológico São José 1. Projeto de Arqueologia Preventiva nas áreas de intervenção da UHE Belo Monte, Rio Xingu, PA.

SIMÕES, M.F. & CORRÊA, C. G. Pesquisas arqueológicas no baixo Uatumã-Jatapu (Amazonas). **Revista de Arqueologia** 4(1):29-48. 1987.

SILVA D.M.P, CAMPOS M.C.C, FRANCISCON U, ALHO L.C, SANTOS L.A.C, PAULA NETO P, BERGAMIN AC, SOUZA ZM. Spatial Variability of Soil Properties in Archeological Dark Earth Sites under Cacao Cultivation. **Rev Bras Cienc Solo**. 2016.

SMITH, N.J.H. **Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia**. Ann. Assoc. Am. Geogr., 70:553-566, 1980.

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

SOMBROEK, W. et al. **Amazonian dark earths as carbon stores and sinks**. In: LEHMANN, J.; KERN, D.; GLASER, B.; WOODS, W. (Eds.). Amazonian dark earths: Origins, properties, management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 125-140.

SOUZA, L.C; LIMA.H.V; RODRIGUES. R; KERN, D.C; SILVA, A.P; PICCININ, J.L. Chemical and physical properties of an anthropogenic dark earth soil from Bragança, Para, Eastern Amazon. **Acta Amazônica**, 2016 - <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201505663>.

TEIXEIRA, W.G.; MARTINS, G.C.; MACEDO, R.S.; NEVES JUNIOR, A.F.; MOREIRA, A.; BENITES, V.de M.; STEINER, C. As Propriedades Físicas e Hídricas dos Horizontes Antrópicos das Terras Pretas de Índio na Amazônia Central. As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. 421p.

VAKALI, C.; ZALLER,J.G.; KOPKE, U.Reduced tillage effects on soil properties and growth of cereals and associated weeds under organics farming. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.111, p 133-141, 2011.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

WALKLEY, A. and I. A. BLACK. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Sci**. 37: 29-37.

WOODS, W.I., TEIXEIRA, W.G., LEHMANN, J., STEINER, C., WINKLERPRINS, A.M.G.A., REBELLATO, L., 2009. Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's vision Berlin, Springer.