

# Distribuição da porosidade textural e estrutural em solos de Terra Preta Arqueológica<sup>1</sup>

## Distribution of textural and structural porosity in soils of Archaeological Dark Earth

Katiane Raquel Mendes Barros<sup>2</sup>, Herdjanía Veras de Lima<sup>3</sup>, Sueli Rodrigues<sup>3\*</sup> e Dirse Clara Kern<sup>4</sup>

**RESUMO** - As Terras Pretas Arqueológicas (TPA) são parcelas de solos com horizonte A antrópico com alto conteúdo de carbono orgânico, de cor escura e elevada fertilidade. Pouco se sabe sobre as características físicas desses solos, principalmente com relação a sua estrutura e espaço poroso. A hipótese deste trabalho é de que a distribuição do espaço poroso estrutural e textural em solos de TPA são similares, independentemente da textura. Assim, objetivou-se avaliar o espaço poroso de solos de TPA, com diferentes classes texturais, utilizando-se um modelo duplo-exponencial. Foram amostrados quatro sítios arqueológicos com granulometria variável, nos municípios de Melgaço e Igarapé-Açu, estado do Pará. Amostras deformadas e indeformadas foram coletadas na profundidade de 0,10 m. Os solos apresentaram textura variando de franco arenosa a franco argilo arenosa. A equação duplo- exponencial permitiu a diferenciação dos poros texturais e estruturais para os sítios de TPA. Apesar da variação de classes texturais, os sítios de TPA não diferiram em relação a porosidade textural e apenas o sítio 1 (S1) apresentou maior espaço poroso estrutural. As proporções de poros texturais e estruturais não influenciaram a densidade do solo, no entanto, os poros texturais foram positivamente relacionados ao conteúdo de matéria orgânica no solo.

**Palavras-chave:** Terra preta de índio. Retenção de água no solo. Matéria orgânica.

**ABSTRACT** - Archaeological dark earth (TPA) are areas of soil with an anthropogenic A horizon of high organic carbon content, a dark colour and high fertility. Little is known about the physical characteristics of these soils, especially with respect to structure and pore space. The hypothesis of this study is that the distribution of structural and textural pore space in TPA soils is similar, regardless of texture. The aim therefore was to evaluate the pore space of TPA soils of different textural classes by employing a double-exponential model. Four archaeological sites of varying grain size were sampled in the towns of Melgaço and Igarapé-Açu, in the State of Pará, Brazil. Disturbed and undisturbed soil samples were collected at a depth of 0.10 m. Soil texture ranged from sandy loam to sandy clay loam. The double-exponential equation made it possible to differentiate between textural and structural pores of the TPA sites. Despite the variation in texture, the TPA sites did not differ as to textural porosity, with only site 1 (S1) showing greater structural pore space. The ratio of textural to structural pores did not influence soil density, however, the textural pores were positively related to the organic matter content of the soil.

**Key words:** Amazonian Dark Earth. Soil water retention. Organic matter.

\*Autor para correspondência

DOI: 10.5935/1806-6690.20160073

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 13/02/2015; aprovado em 10/02/2016

Parte da Tese de Doutorado da primeira autora apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia/UFRA

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia/UFRA, Belém,PA, Brasil, 66.077-530, katiane.barros@ufra.edu.br

<sup>3</sup>Departamento de solos, Instituto de Ciência Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia/UFRA, Avenida Tancredo Neves, 2501, Terra Firme, Belém-PA, Brasil, 66.077-530, herdjanía.lima@ufra.edu.br, rodsueli@gmail.com

<sup>4</sup>Museu Paraense Emílio Goeldi/MPEG, Belém-PA, Brasil, kern@museu-goeldi.br

## INTRODUÇÃO

Na Amazônia brasileira os solos antropogênicos, cuja formação está associada a práticas culturais de povos ameríndios, são denominados Terra Preta Arqueológica (TPA), que apresentam atributos químicos e físicos distintos dos seus solos de origem (GLASER; BIRK, 2012; LEMOS *et al.*, 2011). Em geral, os sítios de TPA possuem cerca de um hectare, no entanto, há ocorrência de áreas com até centenas de hectares (SMITH, 1980).

Estes solos apresentam estrutura granular (SANTOS *et al.*, 2013), relacionada a ação do carbono pirogênico sobre a formação e estabilização dos agregados (CUNHA *et al.*, 2007). São considerados bem drenados, com porosidade total elevada e boa aeração (CAMPOS *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2013), sendo a baixa densidade do solo outra característica comum em TPA (CAMPOS *et al.*, 2012; TEIXEIRA; MARTINS, 2003).

Os solos de TPA, em geral, apresentam horizonte A antrópico mais arenoso (SANTOS *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2009), no entanto, a textura do solo pode variar de arenosa a argilosa (LIMA *et al.*, 2002). Em sítios argilosos de TPA a infiltração de água pode ser equivalente a um solo mais arenoso (TEIXEIRA; MARTINS, 2003), porém a maior quantidade de microporos favorece a maior retenção de água e nutrientes nestes solos (KÄMPF *et al.*, 2003; LEHMANN *et al.*, 2003).

Há uma grande variação quanto ao tamanho dos macro e microporos, assim, o espaço poroso do solo pode ser avaliado considerando a distribuição bimodal, sendo os poros classificados em poros interagregados e intra-agregados, correspondentes à porosidade estrutural e textural, respectivamente (DEXTER *et al.*, 2008a). Os poros estruturais são responsáveis pelo abrigo de organismos vivos, sendo essenciais para a decomposição e ciclagem do material orgânico do solo, tendo ainda como função melhorar a aeração das raízes, condução e drenagem da água no solo. Já os poros texturais são associados a maior retenção e disponibilidade de água às plantas (DEXTER *et al.*, 2008a).

Os espaços porosos estrutural e textural são avaliados convencionalmente pelo estudo da curva característica de retenção de água no solo (CCRAS), que relaciona o conteúdo de água em função do potencial mátrico. Para o ajuste da CCRAS, Dexter *et al.* (2008a) propuseram o uso de uma equação duplo exponencial. Os autores aludem que a vantagem do modelo é a baixa interdependência dos parâmetros e a possibilidade de interpretações físicas dos mesmos. Deste modo, a equação permite avaliar adequadamente a natureza bimodal do

espaço poroso do solo (BERISSO *et al.*, 2012; DEXTER *et al.*, 2008b; DEXTER; RICHARD, 2009).

A grande variação na distribuição granulométrica entre os horizontes dos solos de TPA torna complexa a comparação de valores e a sua caracterização física. Um melhor entendimento das propriedades físicas desses solos pode fornecer informações importantes para o manejo sustentável dos solos da região Amazônica, visto que, apesar do seu uso contínuo, esses solos apresentam uma alta capacidade de resiliência. A hipótese deste trabalho é de que a distribuição do espaço poroso estrutural e textural em solos de TPA são similares, independentemente da textura. Assim, objetivou-se avaliar o espaço poroso de solos de TPA, com diferentes classes texturais, utilizando-se um modelo duplo-exponencial.

## MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de solo foram coletadas em quatro áreas com solos classificados como Latossolos Amarelos (EMBRAPA, 2006) e com horizonte A antrópico, sendo denominados de Terra Preta Arqueológica. As TPA são classificadas juntamente com o auxílio de arqueólogos e são caracterizadas pela coloração escura e presença de artigos arqueológicos como artefatos de cerâmica, ossos, etc. As áreas estão localizadas nos municípios de Melgaço, dentro da Floresta Nacional de Caxiuanã, (1°43'35" S, 51°27'36" W) e Igarapé-açu (01°06'25,26"S e 47°26'50,28" W), Estado do Pará (Tabela 1).

Em cada área foram coletadas, na profundidade de 0-0,10 m, 15 amostras deformadas e 15 amostras indeformadas, totalizando 120 amostras. Na amostragem não foi estabelecido um espaçamento padronizado, no entanto, as amostras foram coletadas de forma a abranger toda a mancha de TPA. As amostras indeformadas foram coletadas utilizando-se anéis volumétricos (0,05 m de altura x 0,05 m de diâmetro), com auxílio do amostrador de Uhland.

As amostras deformadas foram secas ao ar por 72 h, destorroadas e peneiradas em malha 2 mm para a determinação da densidade da partícula (EMBRAPA, 1997) e submetidas a pré-tratamento com peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) para remoção da matéria orgânica e determinação da distribuição do tamanho de partícula, pelo método da pipeta (GEE; BAUDER, 1986).

As amostras indeformadas foram saturadas em bandejas, durante 24 h, por meio da ascensão capilar e submetidas aos potenciais mátricos: -10; -20; -30; -40; -50; -60; -70; -80; -90; -100 hPa em mesa de tensão (LIMA; SILVA, 2008); -250; -500; -1000, -3000 e -15000 hPa em câmara de Richards com placa porosa conforme Klute

**Tabela 1** - Localização, uso e classificação dos tipo de solos das áreas de estudo

Área	Localização	Uso atual*	Tipo de solo	Referência
Sítio1(S1)	Sítio Mina II-Caxiuanã/Melgaço-PA	F. Secundária 30 anos	Latossolo Amarelo eutrófico antropogênico	(KERN, 1996)
Sítio2(S2)	Sítio Mina I - Caxiuanã/Melgaço-PA	F. Secundária 25 anos	Latossolo Amarelo eutrófico antropogênico	(KERN, 1996)
Sítio3(S3)	Sítio Manduquinha-Caxiuanã/Melgaço-PA	F. Secundária	Latossolo Amarelo distrófico antropogênico	(KERN, 1996)
Sítio4(S4)	Comunidade São Pedro/Igarapé-Açu-PA	F. Secundária 15 anos	Latossolo Amarelo distrófico antropogênico	(COSTA FILHA, 2005)

\*Floresta Secundária

(1986), até o cessamento da drenagem de água, ponto de equilíbrio. Em seguida, foram levadas à estufa a 105 °C por 24 h para determinação da umidade gravimétrica ( $\theta$ ) e da densidade do solo (Ds) (BLAKE; HARTGE, 1986).

A curva característica de retenção de água no solo (CCRAS) e a distribuição do tamanho dos poros foram ajustados pelo modelo matemático duplo exponencial proposto por Dexter *et al.* (2008a), conforme a equação 1:

$$\theta = C + A_1 e^{(-h/h_1)} + A_2 e^{(-h/h_2)} \quad (1)$$

onde  $\theta$  é a umidade gravimétrica do solo ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) que é expressa em função do potencial mátrico ( $h$ );  $C$  é a assíntota da equação e corresponde ao conteúdo de água residual;  $A_1$  e  $A_2$  descrevem o conteúdo de água referente a porosidade textural e estrutural, respectivamente; e  $h_1$  e  $h_2$  correspondem aos potenciais mátricos aplicados para esvaziar o espaço poroso textural e estrutural, respectivamente. Neste contexto,  $h_1 > h_2$ , pois o tamanho dos poros texturais são menores que os poros estruturais. A distribuição do tamanho dos poros foi calculada a partir da diferenciação do modelo duplo exponencial, equação 1, em relação ao potencial mátrico, conforme sugerido por Dexter *et al.* (2008a).

O diâmetro efetivo dos poros texturais ( $\delta_1$ ) e dos poros estruturais ( $\delta_2$ ), em  $\mu\text{m}$ , foi calculado usando a equação 2:

$$\delta = \frac{4\sigma}{h} \quad (2)$$

onde  $\sigma$  é a tensão superficial da água,  $7,29 \times 10^{-2} \text{ Nm}^{-1}$  a 20 °C e o  $h$  o potencial mátrico (hPa).

As razões de vazios equivalentes aos poros residuais ( $e_{\text{residual}}$ ), texturais ( $e_{\text{textural}}$ ) e estruturais ( $e_{\text{estrutural}}$ ) foram obtidas por meio das equações 3a, b e c, respectivamente:

$$e_{\text{residual}} = C \left[ \frac{\rho_s}{\rho_\theta} \right] \quad (3a)$$

$$e_{\text{textural}} = A_1 \left[ \frac{\rho_s}{\rho_\theta} \right] \quad (3b)$$

$$e_{\text{estrutural}} = A_2 \left[ \frac{\rho_s}{\rho_\theta} \right] \quad (3c)$$

onde  $\rho_s$  é a densidade da partícula e  $\rho_\theta$  a densidade da água.  $C$ ,  $A_1$  e  $A_2$  correspondem aos parâmetros de ajuste da equação 1.

A porosidade total (PT) foi calculada a partir da densidade do solo e da densidade da partícula. A microporosidade foi determinada considerando o potencial de -60 hPa em mesa de tensão e a macroporosidade pela diferença entre a PT e a microporosidade (EMBRAPA, 1997).

Os dados de umidade e potencial mátrico foram ajustados a equação duplo exponencial (DEXTER *et al.*, 2008a), utilizando-se o programa Origin. 8.0. Os parâmetros do ajuste do modelo da curva de retenção de água no solo e os atributos físicos do solo foram submetidos à análise de variância (teste F) ao nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classe textural dos sítios S1 e S4 foi franco arenosa, com a fração argila variando de 123 a 153  $\text{g kg}^{-1}$ . O S2 apresentou textura franca e o sítio S3 franco argilo arenosa, com 214  $\text{g kg}^{-1}$  de argila, havendo de uma maneira geral, maior proporção da fração areia em relação às frações finas do solo (Tabela 2).

Não foi observada relação entre a fração argila e MO ( $R^2 = 0,28$ ), indicando que os maiores conteúdos de MO não estão associados a efeitos da textura, corroborando com Teixeira e Martins (2003). Os valores de Ds também não obtiveram relação com a fração argila do solo ( $R^2 = 0,15$ ), mas apresentaram uma relação negativa com a MO ( $R^2 = 0,97$ ), mostrando que nos Latossolos avaliados as propriedades físicas relacionadas a esse atributo, como o espaço poroso, foram determinadas principalmente pelo conteúdo de MO e não pela textura.

**Tabela 2** - Distribuição do tamanho das partículas do solo, conteúdo de matéria orgânica (MO) e densidade do solo (Ds) nos sítios de Terra Preta Arqueológica (TPA)

Área	Areia	Silte	Argila	MO	Ds	Classe Textural
	g kg <sup>-1</sup>				Mg m <sup>-3</sup>	
Sítio1(S1)	737 a	140 c	123 c	22,24 b	1,26 ab	Franco Arenosa
Sítio2(S2)	454 c	394 a	152 b	24,87 a	1,19 b	Franca
Sítio3(S3)	539 b	247 b	214 a	25,79 a	1,20 b	Franco Argilo Arenosa
Sítio4(S4)	704 a	143 c	153 b	18,95 c	1,34 a	Franco Arenosa

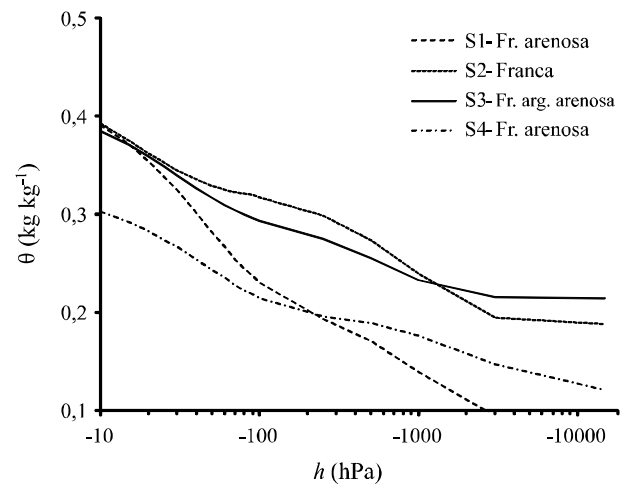
N = 15; areia: 2-0,05 mm; silte: 0,05-0,002 mm; argila: < 0,002 mm (USDA, 2015). Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si a nível de 5% de probabilidade

Os parâmetros da CCRAS ajustados pelo modelo duplo exponencial (Figura 1) foram significativamente diferentes de zero com  $p < 0,05$ , corroborando com Dexter *et al.* (2008a). Em geral as curvas apresentaram um decréscimo tênue do conteúdo de água com a diminuição do potencial, com exceção do S1, que exibiu uma redução mais acentuada. Os sítios S1, S2 e S3 obtiveram comportamento semelhante quanto à retenção de água até o potencial -20 hPa, apesar da variação no conteúdo de argila.

É possível visualizar pelas curvas que o sítio S1 foi o que apresentou a maior variação na retenção de água entre os potenciais avaliados (-10 a -15000 hPa). Os sítios S2 e S3 tiveram maior retenção de água residual (-15000 hPa), possivelmente relacionado ao efeito do conteúdo de silte+argila aliados aos maiores teores de MO (Figura 1); visto que nos potenciais mais negativos, a água está presente, principalmente na forma de finos filmes de água em torno das partículas mais finas (ativas) do solo (BRADY; WEIL, 2008).

A distribuição bimodal dos poros dos sítios de TPA é mostrada na Figura 2. As curvas correspondem à distribuição do tamanho dos poros derivada dos dados de retenção de água e mostra que, em geral, os picos correspondentes à porosidade estrutural ( $A_e$ ) foram superiores aos picos da porosidade textural ( $A_t$ ), com exceção do S2 de textura franca, que teve predomínio de poros texturais.

A inclinação mais acentuada da curva de retenção de água do S1 refletiu em picos mais elevados de distinção entre os poros texturais e estruturais (Figura 2), mostrando que o espaço poroso estrutural neste solo é maior que nos demais sítios. Esse resultado mostra que os solos com textura mais arenosa, como o S1, associados à TPA podem exibir melhor estruturação do solo, quando comparado com aqueles com maior conteúdo de argila. De fato, Lehmann *et al.* (2003) justificam que, em geral, o efeito do maior conteúdo de MO nos solos de TPA é mais acentuado em solos de textura mais arenosa, visto

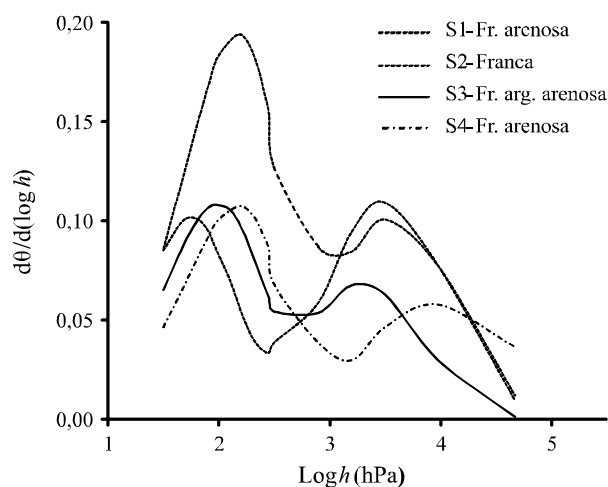
**Figura 1** - Curva de retenção de água no solo de sítios (S) de Terras Pretas Arqueológicas dos municípios de Melgaço e Igarapé-Açu, Estado do Pará, ajustadas a partir da equação duplo exponencial

que solos com textura fina, naturalmente apresentam boa capacidade e retenção de água e agregação.

A altura dos picos da curva diferencial mostra que a porosidade estrutural pode ser maior ou menor que a porosidade textural, para um mesmo tipo de solo, como os sítios S1 e S4, ambos com textura franco arenosa (Figura 2). Esses resultados possivelmente se devem ao tempo de conservação da floresta secundária dos sítios S1 e S4 de 30 e 15 anos, respectivamente, que resultou em um maior acúmulo de MO no S1 (Tabela 2), influenciando na estrutura desse solo.

A distribuição bimodal do tamanho dos poros com maior pico referente à porosidade estrutural sugere que se trata de áreas com prevalência de poros entre os microagregados, condição que favorece a melhor atividade biológica no solo e maior aeração (DEXTER *et al.*, 2008a).

**Figura 2** - Distribuição do tamanho dos poros ( $d\theta/d(\log h)$ ) em função do potencial matricial em solos de Terra Preta Arqueológica dos municípios de Melgaço e Igarapé-Açu, Estado do Pará. A equação de distribuição dos poros ( $d\theta/d(\log h)$ ) foi obtida pela diferencial da equação duplo exponencial



Em contraste Berisso *et al.* (2012) observaram, em solo não antropogênico, que prevaleceu a porosidade textural, estando relacionado ao efeito da compactação, pelo uso do solo, sobre o parâmetro  $A_2$ , o qual reduziu a porosidade estrutural. Segundo Dexter *et al.* (2008a), eventos de compactação podem remover os poros estruturais do solo e resultar em uma distribuição mono modal com a presença somente dos poros texturais.

A Tabela 3 resume os resultados dos parâmetros do modelo duplo exponencial, que permite a obtenção do conteúdo de água residual,  $C$ , positivo e diferente de zero. Os solos de textura franca (S2) e franco argilo arenosa (S3) não diferiram quanto ao parâmetro  $C$ , mas foram estatisticamente maiores que os solos franco arenosos (S1 e S4). Foi observada uma forte relação entre o parâmetro  $C$  com o conteúdo de argila + silte ( $R^2 = 0,82$ ).

Quanto ao parâmetro  $A_1$  não houve diferença estatística entre os sítios, enquanto para o  $A_2$ , apenas o S1 mostrou-se diferente dos demais (Tabela 3). A partir dos parâmetros  $h_1$  e  $h_2$  foi possível quantificar o diâmetro efetivo equivalente aos poros texturais e estruturais, mediante o potencial correspondente a cada tipo de poro. Assim, a substituição desses parâmetros na equação 2 apresentou diâmetros efetivos de 2,15 a 7,20  $\mu\text{m}$  para poros texturais ( $\delta_1$ ) e 71,77 a 184,04  $\mu\text{m}$  para poros estruturais ( $\delta_2$ ) (Tabela 3).

O  $e_{\text{textural}} + e_{\text{residual}}$  estão relacionados com a microporosidade e foi maior que o  $e_{\text{estrutural}}$  mostrando, que a maior parte da PT desses solos é composta por microporos (Tabela 4). A soma de todas as razões de vazios ( $e_{\text{total}}$ ) foi maior que uma unidade para a maioria dos sítios, com exceção do S4. Isto significa que a proporção de poros em relação aos sólidos ( $\rho_s$ ) é maior, o que é evidenciado pela  $PT > 50\%$  dessas áreas.

Um solo é considerado com estrutura ideal, com boas condições para o crescimento das plantas, quando apresenta aproximadamente 50% do volume do solo ocupado por poros (BRADY; WEIL, 2008). Assim, apesar das diferentes classes texturais dos solos de TPA, todos apresentaram uma boa estruturação ( $PT > 50\%$ ). Esses valores são comuns em área de TPA, como relatado por Santos *et al.* (2013) e Campos *et al.* (2011).

A densidade do solo ( $D_s$ ) é diretamente relacionada com o volume de poros, portanto, variações na porosidade textural ( $A_1$ ) e estrutural ( $A_2$ ) podem acarretar mudanças na  $D_s$ . O efeito dos parâmetros  $A_1$  e  $A_2$  na  $D_s$  foi avaliado pela regressão (Figura 3a) e, não foi observada uma relação significativa (ns), dada por:

$$A_1 = 0,553 - 0,353D_s; R^2=0,26; F=4,9^{ns} \quad (4)$$

$$A_2 = 0,194 - 0,045D_s; R^2= 0,11; F=0,04^{ns} \quad (5)$$

A baixa relação mostrada na Figura 3a indica que a variação nos valores de  $D_s$  não está relacionada com as

**Tabela 3** - Valores dos parâmetros ajustados da equação duplo exponencial de retenção de água obtidos de Terra Preta Arqueológica dos municípios de Melgaço e Igarapé-Açu, Estado do Pará

Área	C	$A_1$	$A_2$	$\log h_1$	$\log h_2$	$\delta_1$	$\delta_2$
	kg kg <sup>-1</sup>			hPa		μm	
S1 Fr. arenosa	0,09 b	0,13 a	0,22 a	3,03	1,64	6,80	71,77
S2 Franca	0,19 a	0,14 a	0,12 b	2,99	1,21	3,61	184,04
S3 Fr. arg. arenosa	0,22 a	0,09 a	0,12 b	2,80	1,45	7,20	104,18
S4 Fr. arenosa	0,12 b	0,08 a	0,12 b	3,41	1,66	2,15	72,72

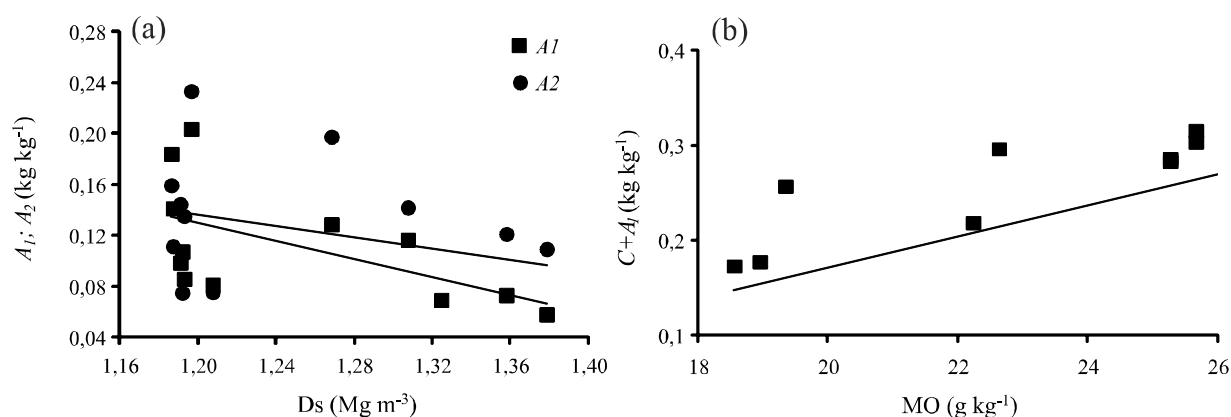
Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

**Tabela 4** - Valores médios da porosidade total (PT), macroporos, microporos e das razões de vazios equivalentes aos poros residuais ( $e_{residual}$ ), texturais ( $e_{textural}$ ), estruturais ( $e_{estrutural}$ ) e totais ( $e_{total}$ ) obtidos de Terra Preta Arqueológica dos municípios de Melgaço e Igarapé-Açu, Estado do Pará

Área	PT	Macroporos	Microporos	$e_{residual}$	$e_{textural}$	$e_{estrutural}$	$e_{total}$
	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>						
S1 Fr. arenosa	0,50 a	0,18 a	0,32 c	0,22 b	0,34 a	0,55 a	1,10 a
S2 Franca	0,51 a	0,13 b	0,38 a	0,46 a	0,35 a	0,28 b	1,09 a
S3 Fr. arg. arenosa	0,52 a	0,15 ab	0,37 ab	0,54 a	0,22 a	0,29 b	1,05 a
S4 Fr. arenosa	0,46 b	0,11 b	0,34 bc	0,30 b	0,20 a	0,31 b	0,81a

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

**Figura 3** - Variação de  $A_1$  e  $A_2$  em função da densidade do solo (Ds) (a) e  $C+A_1$  em função do conteúdo de matéria orgânica (MO) (b) para Terra Preta Arqueológica dos municípios de Melgaço e Igarapé-Açu, Estado do Pará



porosidades  $A_1$  e  $A_2$ , mas, como apresentado ( $R^2 = 0,97$ ), houve uma relação entre a Ds e a MO do solo. Portanto, a quantidade de MO presente nestes sítios influenciou mais significativamente a porosidade do solo, principalmente com relação a  $C+A_1$ , porosidade textural (Figura 3b). Essa influência pôde ser calculada por:

$$C + A_1 = -0,092 + 0,016MO; R^2 = 0,73; F = 24,9^* \quad (6)$$

O aumento do conteúdo de MO resultou em efeito positivo sobre os poros de menor diâmetro, os poros texturais (Figura 3b), assim como observado por Dexter *et al.* (2008b). Em TPA o material orgânico é considerado de melhor qualidade, mais estável e resistente à decomposição (MADARI; CUNHA; SOARES, 2011), influenciando na agregação e porosidade dos solos avaliados, principalmente nos poros intra-agregados ( $C+A_1$ ), podendo então, justificar a semelhança ocorrida entre os sítios quanto à retenção de água, ao parâmetro  $A_1$  e volume dos poros texturais ( $e_{textural}$ ).

Estudos mais detalhados sobre os atributos físicos dos solos de TPA podem auxiliar na elucidação dos

questionamentos quanto à estrutura e disponibilidade de água destes solos, além de contribuir para a adoção de um modelo de agricultura sustentável para os trópicos úmidos.

## CONCLUSÕES

1. O modelo duplo-exponencial utilizado para o ajuste da curva característica de retenção de água no solo evidenciou a diferenciação dos poros estruturais e texturais dos sítios de Terra Preta Arqueológica dos municípios de Melgaço e Igarapé-Açu, Pará;
2. Apesar da variação de classes texturais, os sítios de TPA não diferiram em relação à porosidade textural e apenas o sítio S1 apresentou maior espaço poroso estrutural;
3. As proporções de poros texturais e estruturais não influenciaram a densidade do solo, no entanto, os poros texturais foram positivamente relacionados ao conteúdo de matéria orgânica no solo.

## REFERÊNCIAS

- BERISSO, F. E. *et al.* Persistent effects of subsoil compaction on pore size distribution and gas transport in a loamy soil. **Soil & Tillage Research**, v. 122, p. 42-51, 2012.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. part 1: Physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: ASA-SSSA, 1986, cap.13, p. 363-375.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14. ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson-Prentice Hall, 2008. cap. 05, p. 173-217.
- 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. *et al.* 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.
- COSTA FILHA, C. L. **Avaliação da potencialidade das terras para determinação de zonas agroecológicas, no município de Igarapé-açu, Pará**. 2005. 118 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2005.
- 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, p. 91-98, 2007.
- DEXTER, A. R. *et al.* A user-friendly water retention function that takes account of the textural and structural pore spaces in soil. **Geoderma**, v. 143, p. 243-253, 2008a.
- DEXTER, A. R. *et al.* Complexed organic matter controls soil physical properties. **Geoderma**, v. 144, p. 620-627, 2008b.
- DEXTER, A. R.; RICHARD, G. Tillage of soils in relation to their bi-modal pore size distributions. **Soil & Tillage Research**, v. 103, p. 113-118, 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.
- 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.
- GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. part 1: Physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: ASA-SSSA, 1986, cap 15, p. 383-409.
- 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.
- KÄMPF, N. *et al.* Classification of amazonian dark earths and other ancient anthropic soils. In: LEHMANN, J. *et al.* **Amazonian Dark Earths: origin, properties, management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. cap. 5, p. 77-104.
- KERN, D. C. **Geoquímica e pedoquímica em sítios arqueológicos com terra preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel- PA)**. 1996. 140 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.
- KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. part 1: Physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: ASA-SSSA, 1986, cap. 26, p. 635-660.
- LEHMANN, J. *et al.* Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v. 249, p. 343-357, 2003.
- LEMONS, V. P. *et al.* Nutrients in Amazonian Black Earth from Caxiuanã Region. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 22, p. 772-779, 2011.
- LIMA, H. N. *et al.* 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. V. de; SILVA, A. P. da. Mesa de tensão com areia: procedimentos para montagem e validação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2209-2214, 2008.
- MADARI, B.; CUNHA, T. J. F.; SOARES, R. Organic matter of the Anthropogenic Dark Earths of Amazônia. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, v. 5, p. 21-28, 2011.
- SANTOS, L. A. C. dos. *et al.* Caracterização de Terras Pretas Arqueológicas no sul do Estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 825-836, 2013.
- SANTOS, L. A. C. dos. *et al.* Caracterização física de seis sítios de terras pretas Arqueológicas na Região de Apuí-AM. **Revista Verde**, v. 6, p. 167-174, 2011.
- SILVA, A. K. T. da. *et al.* Mineralogia e geoquímica de perfis de solo com Terra Preta Arqueológica de Bom Jesus do Tocantins, sudeste da Amazônia. **Acta amazonica**, v. 42, n. 04, p. 477-490, 2012.
- SMITH, N. J. H. Anthrosols and Human Carrying Capacity in Amazonia. **Annals of The Association of American Geographers**, v. 70, n. 04, p. 553-566, 1980.
- 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, p. 1347-1355, 2009.
- TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C. Soil Physical Characterization. In: LEHMANN, J. *et al.* **Amazonian Dark Earths: origin, properties, management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. cap. 15, p. 271-286.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE., NRCS. Soil Mechanics Level I: Module 3. USDA Textural Soil Classification. Disponível em: <<http://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/training/soilsOther/soil-USDA-textural-class.pdf>>. Acesso em: 25 maio. 2015.