

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM  
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA - CVRM  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE - IEAA  
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREA  
DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB USO DE PASTAGEM NA REGIÃO  
DE MANICORÉ, AM.

Bolsista: Bruno Campos Mantovanelli, FAPEAM

HUMAITÁ/AM

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM  
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA- CVRM  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE - IEAA  
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC

RELATÓRIO FINAL  
PIB-A/0011/2013-2014  
VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREA  
DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB USO DE PASTAGEM NA REGIÃO  
DE MANICORÉ, AM.

Bolsista: Bruno Campos Mantovanelli, FAPEAM.

Orientador: Dr. Milton César Costa Campos

HUMAITÁ/AM

2014

**RESUMO:** As Terras Pretas Arqueológicas (TPA) são unidades de solo que apresentam como característica marcante a coloração escura e a presença de fragmentos de cerâmica e/ou líticos e artefatos indígenas incorporados à matriz dos horizontes superficiais do solo. Desta forma objetivou-se com este trabalho identificar a variabilidade espacial de atributos físicos do solo em uma área de terra preta arqueológica sob uso e pastagem na região de Manicoré, AM. A área de estudo localiza-se ao sul do Estado do Amazonas, nas imediações da comunidade Santo Antônio de Matupi, às margens da BR 319, rodovia Transamazônica, município de Manicoré. Foi realizado o mapeamento de uma área de TPA com uso atual de pastagem, nesta foi demarcada uma malha de 80 m x 64 m com espaçamento regular de 8 m entre os pontos amostrais perfazendo um total de 88 pontos amostrais. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS e em seguida coletadas amostras de solos nas profundidades 0,0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Realizou-se as seguintes análises físicas: textura, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, resistência do solo a penetração, densidade do solo e umidade volumétrica do solo. A partir dos dados obtidos foi realizada a análise geoestatística para exploração dos dados. A partir dos mapas de krigagem elaborados para as variáveis texturais e físico-hídricas, pode-se fazer uma inferência sobre a distribuição espacial destas variáveis pela área de estudo e a relação espacial entre eles.

**Palavras-chave:** geoestatística; Santo Antônio do Matupi; TPA.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1 Atributos do solo em áreas de TPAs.....	7
2.2 Variabilidade espacial dos atributos do solo .....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	9
3.1 Caracterização do meio físico .....	9
3.2 Metodologia de Campo e Laboratório.....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	12
4.1 Textura.....	12
4.2 Densidade do solo, resistência do solo a penetração, macroporosidade, microporosidade, volume total de poros e umidade volumétrica do solo. ....	17
5. CONCLUSÕES .....	26
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	26
7. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO .....	34

## 1. INTRODUÇÃO

As Terras Pretas Arqueológicas (TPA) são unidades de solo que apresentam como característica marcante a coloração escura e a presença de fragmentos de cerâmica e/ou líticos e artefatos indígenas incorporados à matriz dos horizontes superficiais do solo (Kampf & Kern, 2005). Em virtude da coloração escura da camada superficial e presença de artefatos arqueológicos esses solos são conhecidos por designações como Terra Preta de Índio, Terra Preta Antropogênica e Terra Preta Arqueológica, além de uma variante menos divulgada, a Terra Mulata (Kämpf & Kern, 2005). As mesmas são caracterizadas por apresentar elevada fertilidade natural resultante de prolongada ocupação antrópica, sendo encontradas em meio à vasta extensão de terras, na grande maioria extremamente pobre em nutrientes (Corrêa, 2007).

A formação das TPAs ainda não é bem explicada, sendo motivo de controvérsias entre os pesquisadores, a grande maioria relaciona o seu aparecimento à atividade humana (Smith, 1980), provavelmente por populações pré-colombianas. Embora aceita, esta relação ainda gera uma série de dúvidas, entre as quais o questionamento da formação intencional ou como mera consequência da ocupação humana (Neves et al., 2003).

As terras pretas arqueológicas apresentam horizontes bem drenados, com textura variando de arenosa a muito argilosa, o horizonte A das TPAs são extremamente profundos variando de 30 a 60 centímetros de profundidade (Neves, 2008). A elevada fertilidade e principalmente a sustentabilidade da fertilidade das áreas de TPA é atribuída ao elevado nível de matéria orgânica e as suas propriedades físico-químicas como, a elevada reatividade das frações húmicas (Cunha et al., 2009). Os vegetais são os principais responsáveis pela adição ao solo de compostos orgânicos primários sintetizados no processo de fotossíntese, que dependendo da quantidade de resíduos depositados no solo poderá resultar em aumento no teor de carbono orgânico (CO) do solo (Faria et al., 2008).

O conhecimento da variabilidade das propriedades do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado, o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (Grego &

Vieira, 2005). A análise geoestatística permite detectar a existência da variabilidade e distribuição espacial de variáveis do solo, constituindo assim uma importante ferramenta na análise e descrição detalhada dos atributos do solo (Campos et al. 2007). Além disso, o estudo da dependência espacial apresenta-se como uma alternativa não só para reduzir os efeitos da variação do solo na produção das culturas, mas também, para estimar respostas das propriedades do solo em função de determinadas práticas de manejo, permitindo a redução dos efeitos da variabilidade horizontal e vertical do solo, em muitos casos, pode influenciar na interpretação de seus efeitos (Souza et al., 2004).

Souza et al. (2007) ressalta a importância em conhecer a variabilidade espacial dos atributos do solo em unidades de mapeamentos de solo, principalmente para estimar a amostragem ideal em levantamentos de solos para agricultura de precisão. Esses conceitos são fundamentais para áreas com predominância de solos altamente intemperizados, como é o caso do Brasil, que apresenta vasto potencial agrícola com presença destes solos, sendo muita das vezes, sub-explorados.

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo subsidia a tomada de decisão para adoção de diferentes sistemas de manejo, além de outras aplicações como em mapeamento de ambientes homogêneos, entendimento dos processos pedogenéticos e estimativas de densidade amostral dentre outros (Souza Neto et al., 2008). Dessa forma as associações entre os modelos de paisagem e os mapas de variabilidade espacial podem figurar como importantes ferramentas para visualização e entendimento das relações de causa e efeito da distribuição espacial dos atributos do solo (Hammer et al., 1995).

Desta forma objetivou-se com este trabalho identificar a variabilidade espacial de atributos físicos do solo em uma área de terra preta arqueológica sob uso e pastagem na região de Manicoré, AM.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Atributos do solo em áreas de TPAs**

Atualmente inúmeras instituições e grupos de pesquisa, situados no Brasil e em outros países, estão envolvidos com a temática das TPAs (Madari et al., 2003). Na área de solos, além das publicações existentes, várias pesquisas vêm sendo conduzidas com temas voltados à caracterização da fertilidade das TPAs, pelo fato de ser uma das propriedades mais intrigantes. Assim, de uma maneira geral, pode-se dizer que as TPAs oferecem condições químicas favoráveis ao crescimento de plantas, baseado nos elevados teores de matéria orgânica e nas altas produtividades obtidas nas culturas principalmente quando comparadas aos solos adjacentes. No entanto, deve-se ressaltar que os aspectos químicos e biológicos do solo, considerados de forma isolada, podem estar comprometidos sem a adequada quantificação das condições físicas do solo (Dexter, 2004).

De acordo com Lehmann et al. (2003), a matéria orgânica desempenha um importante papel na retenção de água das TPI, principalmente nos horizontes mais arenosos. Geralmente, teores elevados de matéria orgânica aumentam o conteúdo de água disponível, ao melhorarem a agregação e pela criação de mesoporos (0,2 – 10 µm de diâmetro). As TPAs apresentam uma elevada porosidade estrutural, condicionando principalmente teores de água mais elevados na capacidade de campo. A presença da porosidade estrutural é relacionada a uma qualidade física do solo adequada ao crescimento de plantas, enquanto os solos que possuem apenas a porosidade textural estão relacionados a condições físicas inadequadas (Dexter, 2004). Assim, em relação à disponibilidade de água, os resultados indicam que plantas cultivadas nas TPI estão menos sujeitas a enfrentar condições de estresse hídrico do que àquelas cultivadas nos solos adjacentes, favorecidas pelas melhores condições do solo.

Comparando com solos não antrópicos, em geral, as Terras Pretas apresentam uma clara tendência de ter maiores teores de carbono orgânico, cálcio e magnésio, maior pH e saturação por bases e menor teor de alumínio trocável, propriedades que são responsáveis pela melhor qualidade das Terras Pretas, em relação à sua fertilidade e potencial produtivo. Assim, embora exista

alguma sobreposição entre as Terras Pretas e solos não antrópicos, a fertilidade das Terras Pretas é, em geral, maior que a fertilidade dos solos adjacentes sem horizonte A antrópico (Madari et al., 2003). A capacidade do solo adsorver nutrientes (cálcio + magnésio, saturação por bases), a diminuição da toxidez por alumínio e a estabilização do pH são propriedades e processos cujo controle em solos tropicais fundamentalmente depende da matéria orgânica do solo. Pabst (1992), investigando as principais diferenças entre Terras Pretas e Latossolos, do mesmo modo, verificou que os atributos associados, principalmente, à matéria orgânica, como o pH, teor de matéria orgânica, “estrutura do húmus” (estabilidade à decomposição microbiana), nitrogênio, saturação por bases, capacidade de troca de cátions e teor de fósforo, são que melhor separam as duas classes de solo. Embora a maior quantidade de matéria orgânica em Terras Pretas seja um fator relevante, pesquisas têm mostrado que a composição e as características da matéria orgânica em Terras Pretas também contribuem para o aumento do grau de fertilidade desses solos.

## **2.2 Variabilidade espacial dos atributos do solo**

A variabilidade espacial dos atributos dos solos é resultado de processos pedogenéticos e pode ser demonstrada por resultados dos levantamentos e análises dos solos, bem como pelas diferenças encontradas nas produções das plantas (Silva et al., 2010).

A caracterização da variabilidade espacial de atributos do solo no campo pode ser realizada por meio de amostragem e análise de solo, o que exige muito tempo e apresenta custo elevado. Corrêa, Tavares e Unibe-Opazo (2009) destacam que até recentemente, pesquisadores da área agrônômica estudavam a variabilidade dos atributos do solo por meio da estatística clássica, a qual pressupõe que as observações de um dado atributo são independentes entre si, desconsiderando sua localização na área. Neste caso, os experimentos foram conduzidos para minimizar o impacto da variabilidade espacial, sendo ignorado o fato de que as observações podem ser espacialmente dependentes.

Dentro deste contexto a geoestatística é uma ferramenta eficaz para o estudo da variabilidade espacial dos solos. Para isto, é conveniente que seja

feita uma amostragem representativa da área, para que se possa obter dados com valores que, realmente, correspondam à realidade da parcela. Diversos estudos demonstram que a variabilidade da densidade do solo, resistência do solo à penetração e o teor de água no solo, não ocorrem ao acaso, mas apresentam correlação ou dependência espacial (Roque et al., 2008; Schaffrath et al., 2008). Para diferentes condições de teores de água no solo, distintos comportamentos da variabilidade espacial da resistência do solo à penetração, foram observados por Souza et al. (2006).

Nesse sentido, Simões et al. (2006) ressalta que, dentre outros, os atributos físicos do solo influenciam diretamente o crescimento e desenvolvimento das culturas. Desta maneira, a avaliação da variabilidade espacial desses atributos é importante ferramenta na determinação de estratégias de manejo do solo que procuram aumentar a produtividade agrícola.

O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo tem a sua principal importância atribuída à aplicação de fertilizantes e corretivos em taxas variáveis. Silva et al. (2007), avaliando os atributos químicos do solo sob a cultura do cafeeiro, concluíram que a variabilidade espacial encontrada nos atributos químicos justifica a aplicação diferenciada e localizada de fertilizantes na lavoura de café. A variabilidade espacial dos teores de nutrientes no solo pode não ser igual entre si, ou seja, alguns nutrientes necessitam de número maior de amostras que outros, para que se possa descrever o seu comportamento numa determinada área.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização do meio físico**

A área de estudo localiza-se ao sul do Estado do Amazonas, nas imediações da comunidade Santo Antônio de Matupi, às margens da BR 319, rodovia Transamazônica, município de Manicoré. As coordenadas geográficas são 07° 59' 77,1" S e 61° 39' 51,2" W, com altitude média de 109 metros acima do nível do mar.

O material de origem é proveniente da alteração de granitos Rondonianos, do Pré-Cambriano Superior, sedimentos coluviais, depositados nas partes mais baixas da paisagem, e coberturas terciárias (Brasil, 1978). O

clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso, com um período seco de pequena duração (Am), e temperaturas variando entre 25 °C e 27 °C, e com precipitações pluviais entre 2.250 e 2.750 mm, com chuvas concentradas no período de outubro a junho (Brasil, 1978).

O relevo é constituído por platôs com superfícies planas, sendo a zona de borda marcada por colinas e cristas alinhadas e localmente escarpadas, enquanto as áreas planas têm como principal característica a presença de uma superfície pediplanada (CPRM, 2001). A vegetação característica desta região é a Floresta Tropical Densa constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre 20 e 50 metros de altura (Zee-am, 2008).

### **3.2 Metodologia de Campo e Laboratório**

Foi realizado o mapeamento de uma área de TPA com uso atual de pastagem, nesta foi demarcada uma malha de 80 m x 64 m com espaçamento regular de 8 m entre os pontos amostrais, os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento da malha, perfazendo um total de 88 pontos amostrais. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS e em seguida coletadas amostras de solos nas profundidades 0,0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

A textura do solo foi determinada pelo método da pipeta, após dispersão da amostra com NaOH 1,0 mol L<sup>-1</sup> e agitação rápida (6.000 rpm), por 15 minutos (EMBRAPA, 1997). A determinação da densidade do solo foi realizada pelo método do anel volumétrico, sendo coletadas amostras indeformadas, em cilindros com volume médio de 313,9 cm<sup>3</sup>. A porosidade total foi obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco em estufa a 105°C durante 24 horas. A microporosidade do solo foi determinada pelo método da mesa de tensão. Pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade foi obtido a macroporosidade. A determinação da umidade foi obtida pela diferença entre a massa do solo úmido e a massa do solo seco em estufa a 105°C durante 24 horas (EMBRAPA, 1997).

Para a determinação da resistência do solo à penetração foram utilizadas as mesmas amostras coletadas para avaliação de densidade e de porosidade do solo, as mesmas foram determinadas em laboratório utilizando um penetrômetro eletrônico modelo MA-933, marca Marconi, com velocidade

constante de 0,1667 mm s<sup>-1</sup>, equipado com uma célula de carga de 200 N, haste com cone de 4 mm de diâmetro de base e semi-ângulo de 30°, receptor e interface acoplado a um microcomputador, para registro das leituras por meio de um software próprio do equipamento. As determinações foram realizadas em amostras com estrutura preservada com tensão de água no solo próximo à capacidade de campo (DALCHIAVON et al., 2011). Para cada amostra foram obtidos 290 valores, eliminando-se os 30 valores iniciais e 30 finais.

A variabilidade do solo foi primeiramente, avaliada pela análise exploratória dos dados, calculando-se a média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose. A hipótese de normalidade dos dados será testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, no software estatístico Minitab 14 (Minitab, 2000).

Para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística. Sob teoria da hipótese intrínseca o semivariograma experimental foi estimado pela Eq. (1).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Sendo:  $\gamma(h)$  - valor da semivariância para uma distância  $h$ ;  $N(h)$  - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância;  $Z(x_i)$  - valor do atributo  $Z$  na posição  $x_i$ ;  $Z(x_i+h)$  - valor do atributo  $Z$  separado por uma distância  $h$  da posição  $x_i$ .

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de  $\hat{\gamma}(h)$  são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita,  $C_0$ ; patamar,  $C_1$ ; variância estrutural,  $C_0 + C_1$ ; e o alcance,  $a$ ). O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; o alcance é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas.

Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizou-se o exame de semivariogramas, por meio do programa GS+ (Robertson, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou o melhor R<sup>2</sup> (coeficiente de determinação).

Na elaboração dos mapas de distribuição espacial das variáveis foi utilizado o programa Surfer 8.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

##### **4.1 Textura**

A partir dos valores médios encontrados para as variáveis granulométricas (Tabela 1), observa-se dominância da fração areia, tendendo estes solos uma textura arenosa. A maior concentração de areia entre as frações granulométricas é uma característica comum das TPAs (SMITH, 1980), que pode ser atribuída à formação de material organomineral estável de tamanho equivalente à areia, o qual resulta da combinação da prática do uso do fogo e do depósito de material orgânico pelos ameríndios que ocupavam essas localidades (TEIXEIRA et al., 2009). Em estudo realizado por Barros et al. (2012) determinando o Fracionamento químico da matéria orgânica e caracterização física de Terra Preta de Índio, encontrarão valores granulométricos similares ao deste estudo com teores de areia da ordem de  $720 \text{ g kg}^{-1}$ . De acordo com Campos et al. (2011), caracterizando e classificando terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira, afirmam que a textura mais arenosa provavelmente se deve à influência de materiais coluviais, provenientes das partes mais altas do terreno.

Os resultados referentes a análise descritiva para as variáveis granulométricas na profundidade de 0,0-0,05 m são apresentados na (Tabela 1). Observa-se, que os valores das medidas de tendência central (média, mediana) são semelhantes para todas as variáveis, o que prova que a distribuição é simétrica para esses atributos do solo, o que pode ser confirmado pelos valores de assimetria e curtose próximos de zero, a exceção da areia que apresentou valor de assimetria de 1,17 e curtose de 6,97 e silte com valor de curtose de 4,95. As medidas de dispersão, próximas de 0 e 3 para assimetria e curtose, respectivamente, mostram distribuição normal, conforme FARIAS (1999).

**Tabela 1:** Estatística descritiva da textura do solo na profundidade de 0,0-0,05 em área de TPA sob o uso de pastagem no município de Manicoré, AM.

Estatística Descritiva	Areia	Silte	Argila
	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
-----Profundidade 0,0-0,05 m-----			
Média	712,30	237,67	50,03
Mediana	711,87	237,94	49,12
Máximo	929,02	362,75	117,36
Mínimo	602,85	49,90	1,28
<sup>1</sup> DP	42,36	42,07	20,38
Variância	1794,71	1770,19	415,23
<sup>2</sup> CV%	5,95	17,70	40,73
Assimetria	1,17	- 0,66	0,43
Curtose	6,93	4,95	0,68
<sup>3</sup> d	0,08*	0,07*	0,06*

<sup>1</sup>DP: desvio padrão; <sup>2</sup>CV: coeficiente de variação; <sup>3</sup>d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov; \*significativo a 5 % de probabilidade.

Com relação ao teste de normalidade dos dados submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov (Tabela 1), o qual mede a distância máxima entre os resultados de uma distribuição a ser testada e os resultados associados à distribuição hipoteticamente verdadeira (GONÇALVES et al., 2001), verificou-se que todas as variáveis foram significativas ao nível de 5% de probabilidade. A normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, entretanto é conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, as quais são baseadas nos valores médios (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989).

Pelos limites de coeficiente de variação (Tabela 2) propostos por Warrick & Nielsen (1980) para a classificação de variáveis do solo (CV < 12 %), (12 % < CV < 60 %) e (CV > 60 %) para baixa, média e alta variabilidade, respectivamente, diz-se que os atributos texturais apresentaram baixa variabilidade para areia e moderada variabilidade para silte e argila. Segundo Nogueira (2007), um coeficiente de variação maior que 35% revela que a série é heterogênea e a média tem pouco significado; se for maior que 65%, a série é muito heterogênea e a média não tem significado algum, porém se for menor que 35% a série é homogênea e a média tem significado, podendo ser utilizada como representativa da série de onde foi obtida. Desta forma, pode-se dizer

que a areia apresentou série de dados homogêneos e a média apresentando significado, contradizendo as demais variáveis que apresentaram série de dados heterogêneas.

Respectivamente na (Tabela 2) são apresentados os parâmetros dos semivariogramas ajustados aos modelos teóricos que melhor descrevem o comportamento da variabilidade espacial dos atributos granulométricos do solo. Os resultados da validação cruzada (VC) foram superiores a 0,65 para todas as variáveis, o que assegura bom desempenho da interpolação pela krigagem ordinária. Esses resultados são corroborados com os coeficientes de determinação  $R^2$  acima 0,6 significando que os semivariogramas estão bem ajustados. Conforme a classificação dada por Azevedo (2004), esses resultados mostram, em geral, ajustes dos semivariogramas que possibilitam a obtenção dos mapas da distribuição espacial dos atributos de forma confiável.

Os resultados da análise geoestatística mostram que quase todos os atributos analisados apresentaram estrutura de dependência espacial. Para tais variáveis com estrutura de dependência, ajustaram-se unanimemente o modelo esférico, concordando com vários outros resultados que indicam este modelo como o que melhor se ajusta a esses atributos do solo (SOUZA et al., 2004; LÓPEZ et al., 2008). A variável de argila não apresentou estrutura de dependência espacial, conferindo a este atributo a condição de efeito pepita puro (EPP), significando que as amostras são independentes para distâncias maiores que a menor distância entre as amostras utilizadas nesse estudo.

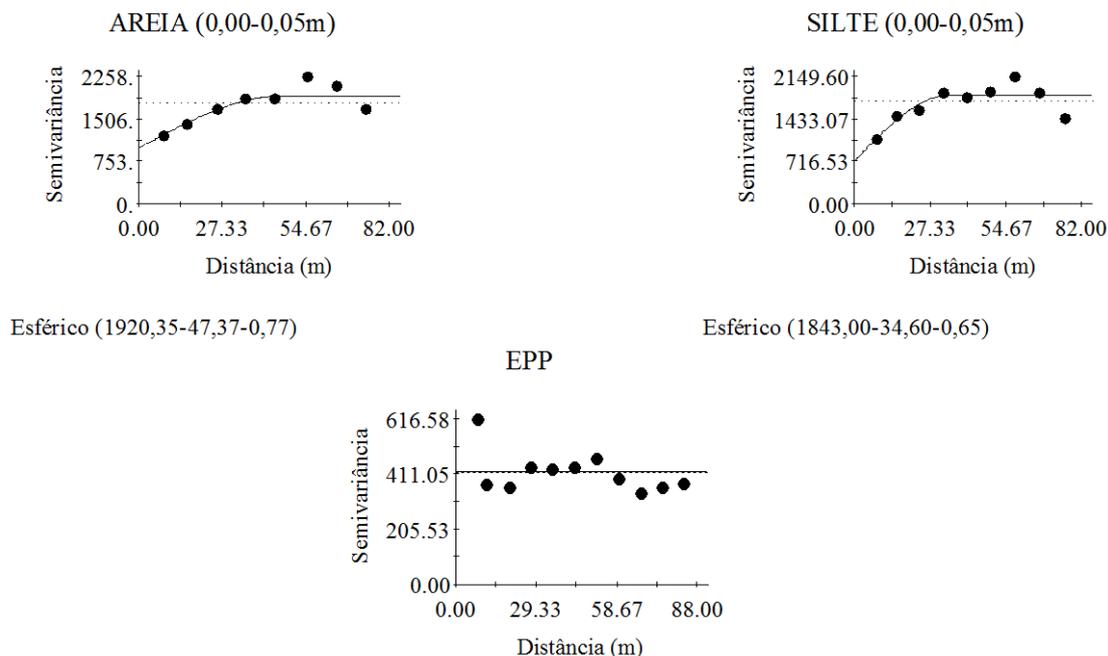
A análise do grau de dependência espacial (GDE) proposto por Cambardella et al. (1994), que avalia em termos proporcionais o efeito pepita sobre o patamar ( $C0/(C0+C1).100$ ), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um  $GDE \leq 25\%$  do patamar; dependência espacial moderada, quando o GDE está entre 25 e 75%, e dependência fraca, quando o GDE é  $> 75\%$  do patamar. Verificou-se que a areia e silte apresentaram GDE moderada.

**Tabela 2:** Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais dos atributos granulométricos do solo em área de TPA sob uso de pastagem na região de Manicoré, AM.

Parâmetros	Parâmetro dos Semivariogramas		
	Areia	Silte	Argila
	Profundidade 0,0-0,05 m		
Modelo	Esf.	Esf.	Lin.
Efeito Pepita ( $C^0$ )	991	727	-
Patamar ( $C^0 + C^1$ )	1920,3	1843	-
Alcance (a)	47,2	34,6	-
GDE %	48	60	EPP
$R^2$	0,77	0,65	-
VC	0,89	0,91	-

Esf: Esférico; Lin: Linear; EPP: efeito pepita puro;  $R^2$ : coeficiente de determinação; GDE%: grau de dependência espacial e; VC: validação cruzada.

O alcance estabelece o limite de dependência espacial entre as amostras, isto é, para distâncias iguais ou menores que o alcance, diz-se que os valores vizinhos de uma variável estão espacialmente correlacionados e podem ser utilizados para se estimar valores em qualquer ponto entre eles (Reichardt, 1985; Trangmar et al., 1985). O valor do alcance nos semivariogramas têm uma importância considerável na determinação do limite da dependência espacial, o que pode ser também um indicativo do intervalo entre unidades de mapeamento de solos (WEBSTER, 2000). As variáveis de silte e argila estudadas apresentaram diferentes alcances de dependência espacial (Figura 1 e 2), respectivamente (34 e 47 m), mostrando assim que estes valores de alcance estão dentro dos limites estipulados pela malha amostral de 88m, indicando assim que não a continuidade destes atributos na área de estudo.



**Figura 1.** Semivariograma das variáveis de areia, silte e argila na profundidade de 0,0-0,05m em área de TPA sob uso de pastagem na região de Manicoré, Am. Esf; ( $C_0$ ;  $a$ ;  $R^2$ ), Esf = modelo esférico.  $C_0$  = efeito pepita;  $a$  = alcance;  $R^2$  = Coeficiente de regressão; EPP = Efeito pepita puro

Cruzando as informações dos semivariogramas e os mapas de krigagem (Figura 2), observa-se que a área apresenta um relevo com forma linear e declividade homogênea apresentando variabilidade menor para as variáveis em estudo, tais informações equiparam-se ao estudo realizado por (Souza et al., 2004). Marques Júnior & Lepsch (2000), afirmam que a posição topográfica dos solos na paisagem, é um dos principais fatores condicionantes da variabilidade espacial dos solos.

Todavia, a partir dos mapas de krigagem para a variável areia pode-se observar que os teores mais elevados desta fração estão localizados na parte inferior da paisagem, havendo assim deposição destes sedimentos, muito relacionado com as precipitações que arrastam estas partículas para as partes mais rebaixadas do terreno.

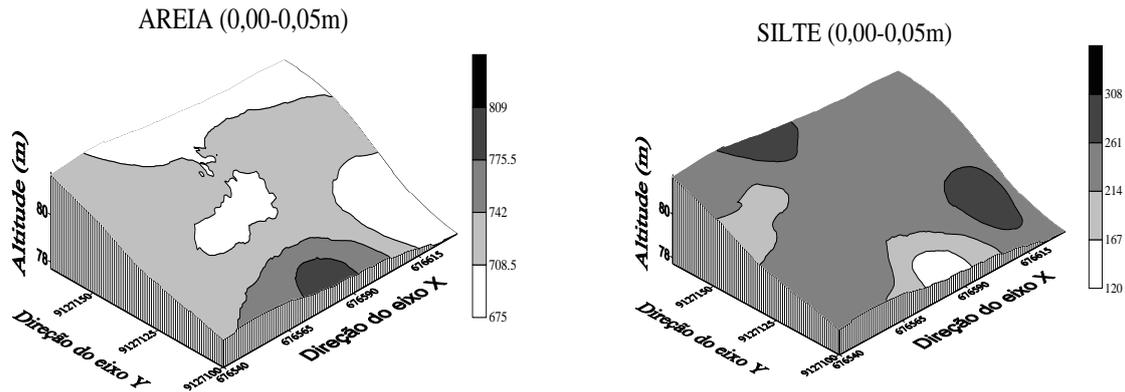


Figura 2: Mapas de krigagem das variáveis de areia e silte na profundidade de 0,0-0,05 m em área de TPA sob uso de pastagem na região de Manicoré, Am.

#### 4.2 Densidade do solo, resistência do solo a penetração, macroporosidade, microporosidade, volume total de poros e umidade volumétrica do solo.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da análise descritiva dos atributos físicos do solo. Os valores dos atributos em estudo foram de média e mediana semelhante, mostrando distribuição simétrica; conforme Little & Hills (1978), quando os valores da média e mediana são semelhantes, os dados apresentam ou se aproximam da distribuição normal. Outro indicativo da normalidade são os valores de coeficiente de assimetria próximos de zero. Moreira (2007) ao analisar atributos do solo em solos antropogênicos na Amazônia Ocidental, relatou normalidade para a maioria das variáveis estudadas.

Considerando o valor limite de RP de 2,0 MPa, conforme Tavares Filho & Tessier (2009), verificou-se nas profundidades em estudo, apenas a superficial, apresentou RP, acima deste. Kaiser et al. (2009), valores acima de 2,0 MPa podem representar nível de compactação significativo, o que pode restringir o crescimento radicular das plantas. Os valores obtidos foram 2,10, 1,37, 0,78 e 0,57, (Tabela 3) respectivamente às profundidades 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30m. Em áreas de pastagens, segundo Miguel et al., (2009), o manejo inadequado de animais deteriora os atributos físicos do solo, da mesma forma que Pires et al., (2012), afirmam que o efeito compactante do pisoteio animal, na camada superficial do solo, pode resultar em alteração da estrutura, selamento superficial e compactação.

Para Silveira et al. (2010), a redução do conteúdo de água no solo promove o aumento da coesão entre as partículas minerais, tornando-as mais difíceis de ser separadas por forças externas, o que resulta no aumento da RP; observa-se que na profundidade 0,00-0,05m, um fator que possivelmente contribui para obtenção de valores mais elevados de RP, foi a menor umidade do solo ( $0,33 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ ), quando comparado com as profundidades mais profundas ( $0,35 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  para 0,10-0,20m e  $0,37 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  para 0,20-0,30m). Cabe ressaltar, que uma das atribuições para a elevada (RP), possivelmente pode ser à presença de fragmentos cerâmicos na área de TPA.

O maior valor de Ds foi para profundidade 0,00-0,05m de  $1,26 \text{ Mg m}^{-3}$  e menor  $1,16 \text{ Mg m}^{-3}$  para profundidade 0,20-0,30m. Os maiores valores da Ds foram observados nas profundidades superficiais, segundo Peterson (1970), isso ocorre provavelmente devido ao pisoteio de animais (bovinos) que apresentam peso corpóreo muito grande e a área da pata pequena, que, ao caminharem pelos pastos, imprimem sobre o solo elevadas pressões, compactando-o até 10 a 15 cm de profundidade.

De maneira geral, os valores de Ds foram considerados baixos, uma vez que estes resultados são características de ambientes com TPA, corroborando com Campos et al., (2012), em trabalho com caracterização de TPAs na região de Manicoré, AM. Para Steinbeiss et al. (2009), este comportamento é resultante dos elevados teores de carbono orgânico e de intensa atividade biológica (fauna e raízes), que constrói canais, cavidades e galerias. Resultados semelhantes relatou Barros et al., (2012), em estudos com caracterização física de terra preta de índio.

De acordo com Kern e Kampf (1989) os menores valores da Ds estão associados com ao alto conteúdo de matéria orgânica encontrada nos solos de TPA, o que, segundo os autores, favoreceu a redução da compactação decorrente do pisoteio dos povos indígenas que habitavam essas localidades. Lima et al. (2006) afirmam que a dentre os atributos físicos utilizados para avaliar a qualidade física do solo, a densidade do solo e a resistência do solo à penetração têm sido priorizadas atualmente para avaliar sistemas de uso e manejo, por serem atributos diretamente relacionados ao crescimento das plantas e de fácil determinação.

**Tabela 3:** Estatística descritiva dos atributos físicos do solo em diferentes profundidades em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.

Estatística Descritiva	RP	Ds	Us (vol)	Macro	Micro	PT
	MPa	Mg m <sup>-3</sup>	-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			
0,0-0,05 m						
Média	2,10	1,29	0,33	0,11	0,27	0,39
Mediana	2,08	1,30	0,33	0,11	0,27	0,39
Máximo	3,49	1,53	0,48	0,20	0,39	0,48
Mínimo	0,8	0,95	0,17	0,06	0,15	0,26
<sup>1</sup> DP	0,55	0,11	0,05	0,03	0,03	0,03
Variância	0,30	0,01	0,31	0,09	0,09	0,11
<sup>2</sup> CV%	26,29	9,03	16,67	26,38	11,27	8,72
Assimetria	0,17	-0,39	0,21	0,76	-0,14	-0,41
Curtose	-0,30	-0,01	0,20	0,62	3,74	1,74
0,05-0,10 m						
Média	1,37	1,25	0,33	0,16	0,26	0,43
Mediana	1,38	1,25	0,34	0,16	0,26	0,42
Máximo	3,8	1,42	0,43	0,25	0,31	0,55
Mínimo	0,32	1,01	0,27	0,05	0,23	0,35
<sup>1</sup> DP	0,55	0,095	0,03	0,03	0,01	0,03
Variância	0,30	0,009	0,15	0,15	0,03	0,15
<sup>2</sup> CV%	40,09	7,61	11,71	23,83	6,91	9,09
Assimetria	0,98	-0,24	0,61	0,03	0,70	0,58
Curtose	3,16	-0,85	-0,13	0,32	0,33	0,79
0,10-0,20 m						
Média	0,78	1,17	0,35	0,20	0,26	0,46
Mediana	0,75	1,16	0,35	0,20	0,26	0,46
Máximo	1,77	1,50	0,56	0,32	0,39	0,58
Mínimo	0,24	0,94	0,19	0,08	0,16	0,38
<sup>1</sup> DP	0,26	0,10	0,06	0,04	0,03	0,04
Variância	0,07	0,01	0,46	0,17	0,14	0,17
<sup>2</sup> CV%	33,82	9,29	19,03	21,19	14,27	9,06
Assimetria	0,97	0,30	0,17	-0,28	0,08	0,43
Curtose	1,65	0,16	0,86	0,31	2,26	0,04
0,20-0,30 m						
Média	0,57	1,16	0,37	0,18	0,27	0,46
Mediana	0,51	1,16	0,38	0,17	0,28	0,46
Máximo	1,38	1,39	0,60	0,31	0,39	0,55
Mínimo	0,24	0,96	0,20	0,09	0,16	0,39
<sup>1</sup> DP	0,21	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03
Variância	0,04	0,008	0,49	0,27	0,20	0,10
<sup>2</sup> CV%	38,07	7,84	18,75	28,10	16,15	7,00
Assimetria	0,97	-0,17	0,09	0,49	-0,48	0,30
Curtose	1,65	-0,20	1,16	-0,29	0,64	0,30

RP: resistência do solo à penetração; Ds: densidade do solo; Us (vol.): umidade volumétrica do solo; Macro: macroporosidade do solo; Micro: microporosidade do solo; PT: volume total de poros; <sup>1</sup>DP: desvio padrão; <sup>2</sup>CV: coeficiente de variação.

Para a Macro foram observados valores superiores a  $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  (Tabela 3) apresentando valores entre  $0,11 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  e  $0,20 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  nas profundidades amostradas, segundo Kiehl (1979) a maioria das plantas desenvolve satisfatoriamente seu sistema radicular quando o volume de macroporos está acima de  $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ . Esse valor é considerado limite para a adequação difusão de oxigênio, demonstrando que se garante, então, uma boa aeração para o desenvolvimento do sistema radicular e às atividades dos microorganismos. Por outro lado, conforme Megda et al. (2008), o crescimento das raízes pode ser prejudicado quando a macroporosidade do solo é reduzida a valor inferior a  $0,15 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ . O valor obtido de  $0,11 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  na camada superficial, provavelmente deve-se ao manejo do solo, e ao pisoteio animal.

Conforme o limite proposto por Brady e Weil (2008) como um solo ideal deve os valores de PT ser acima de  $0,50 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ , considerado satisfatório para o crescimento adequado das plantas, segundo Kiehl (1979), distribuídos em 1/3 macroporos e 2/3 microporos. Relacionando as informações, neste estudo, a porosidade total variou entre  $0,39 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  a  $0,46 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ , e a microporosidade, apresentou valores variando entre  $0,26 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  e  $0,27 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ . Campos et al. (2011), observou a elevada porosidade total em estudos com classificação de terras pretas arqueológicas, fato justificável devido aos elevados teores de matéria orgânica e à intensa atividade biológica (fauna e raízes).

O Coeficiente de Variação (CV) foi classificado conforme Warrick e Nielsen (1980). Pelos valores de coeficiente de variação, verifica-se que a Ds e PT apresentaram CV de caráter baixo ( $\text{CV} < 12\%$ ), Amaro Filho et al. (2007) e Ramirez-López et al. (2008), também encontraram CV baixo para essas variáveis; os demais atributos apresentaram valores de CV classificados como média variação ( $12\% < \text{CV} < 60\%$ ). Grego et al. (2012), analisando a variabilidade espacial dos atributos do solo em ambiente de pastagem, observou baixo CV para a Ds, e médio CV para a RP. Em estudo com variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, Kamimura et al. (2013),

verificou baixo CV para Ds, PT e médio CV para RP, Macro e Micro. Siqueira et al. (2008), confirmam coeficientes de variação semelhantes para umidade.

Valores elevados de CV podem ser considerados como os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados; já os baixos valores para o CV demonstram menor heterogeneidade das variáveis para a área de estudo. Apesar de os coeficientes de variação permitir comparar a variabilidade entre amostras com unidades diferentes, o seu emprego não deve ser generalizado, devendo-se apreciar esses resultados segundo as finalidades a que se destina o trabalho.

Na Tabela 4 são apresentados os modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas. Para análise de estrutura da dependência espacial, a qual só é possível por meio da geoestatística, em especial do semivariograma, todos os atributos apresentaram dependência espacial, exceto para RP na profundidade 0,05-0,10 e Umidade na profundidade 0,20-0,30m, sendo considerados como efeito pepita puro, indicando que para essas variáveis a distância de amostragem não foi capaz de exibir toda a variância dos dados e, provavelmente existe tendência nos dados em seguir determinada direção. Carvalho et al. (2011) e Souza et al. (2001), verificaram em seus trabalhos, efeito pepita puro para umidade. Segundo Cruz et al. (2010), os dados com essas características têm distribuição completamente aleatória na zona de estudo e independência espacial.

A seleção dos modelos deu-se por meio do maior coeficiente de variação e maior valor da validação cruzada. Os dois modelos teóricos de semivariograma selecionados foram o esférico e exponencial. Concordando com Santos et al. (2012) e Cavalcante et al. (2011) indicando os modelos exponencial e esférico como os de maior ocorrência para atributos do solo.

**Tabela 4:** Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas dos atributos físicos do solo em diferentes profundidades em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.

Parâmetros	RP	Ds	Us (vol)	Macro	Micro	PT
	0,0-0,05 m					
Modelo	Exp	Exp	Esf	Esf	Esf	Esf
<sup>1</sup> (C <sub>0</sub> )	0,03	0,0014	0,89	5,37	0,27	0,38

<sup>2</sup> (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	0,27	0,0117	25,56	9,24	6,77	9,14
<sup>3</sup> a (m)	20,40	25,20	15,30	37,60	15,20	13,30
<sup>4</sup> R <sup>2</sup>	0,94	0,91	0,83	0,83	0,70	0,82
<sup>5</sup> GDE (%)	11	1	3	58	4	4
<sup>6</sup> VC%	0,80	0,98	0,95	0,93	0,99	0,90
0,05-0,10 m						
Modelo	-	Exp	Exp	Esf	Exp	Exp
<sup>1</sup> (C <sub>0</sub> )	-	0,0010	1,93	5,69	0,80	1,13
<sup>2</sup> (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	-	0,0086	14,52	14,97	3,00	10,76
<sup>3</sup> a (m)	-	24,90	33,90	33,10	37,50	20,70
<sup>4</sup> R <sup>2</sup>	-	0,94	0,92	0,87	0,92	0,85
<sup>5</sup> GDE (%)	-	11	13	38	26	10
<sup>6</sup> VC%	-	0,96	0,98	0,99	0,91	0,92
0,10-0,20 m						
Modelo	Exp	Exp	Esf	Exp	Esf	Exp
<sup>1</sup> (C <sub>0</sub> )	0,04	0,0012	19,57	2,01	5,39	1,85
<sup>2</sup> (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	0,07	0,010	40,16	14,41	12,01	15,18
<sup>3</sup> a (m)	71,13	21,90	52,90	27,60	68,81	21,00
<sup>4</sup> R <sup>2</sup>	0,74	0,82	0,92	0,73	0,96	0,82
<sup>5</sup> GDE (%)	57	12	48	14	45	12
<sup>6</sup> VC%	0,73	0,99	0,96	0,97	0,93	0,83
0,20-0,30 m						
Modelo	Esf	Exp	-	Exp	Esf	Exp
<sup>1</sup> (C <sub>0</sub> )	0,02	0,0008	-	2,72	8,66	1,22
<sup>2</sup> (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	0,04	0,008	-	23,75	17,33	8,96
<sup>3</sup> a (m)	50,90	20,70	-	18,30	50,00	22,50
<sup>4</sup> R <sup>2</sup>	0,92	0,87	-	0,89	0,92	0,82
<sup>5</sup> GDE (%)	50	10	-	11	50	13
<sup>6</sup> VC%	0,74	0,89	-	0,93	0,91	0,86

RP: resistência do solo a penetração; Ds: densidade do solo; Us (vol): umidade volumétrica do solo; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; PT: porosidade total; Esf.: Esférico; Exp.: Exponencial; <sup>1</sup>C<sub>0</sub>: efeito pepita; <sup>2</sup>C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>: patamar; <sup>3</sup>a: alcance (m); <sup>4</sup>R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; <sup>5</sup>GDE%: grau de dependência espacial e; <sup>6</sup>VC: validação cruzada.

Para analisar o grau da dependência espacial dos atributos físicos em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), considerada dependência espacial forte em semivariogramas que têm efeito pepita a 25% do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca se maior que 75%. A variabilidade dos atributos físicos do solo pode ser de origem intrínseca ou extrínseca. A variabilidade intrínseca possui forte dependência espacial, sendo causada por alterações naturais no solo, notadamente aquelas de origem pedogenética, como material de origem, intemperismo de minerais, acúmulo de matéria orgânica e outros. A variabilidade extrínseca possui menor

dependência espacial, sendo causada por alterações no uso do solo, como práticas culturais, espécie vegetal explorada, erosão, compactação etc.

Com base nos valores do grau de dependência espacial sugeridos por Cambardella et al. (1994), verificou-se que há forte dependência espacial para a Ds em todas as profundidades, enquanto os demais atributos apresentaram moderada e forte dependência espacial.

De acordo com Campos et al. (2008), o alcance indica o limite da dependência espacial da variável, isto é, determinações realizadas a distâncias maiores que o alcance, tem distribuição espacial aleatória; por outro lado, determinações realizadas em distâncias menores que o alcance são correlacionadas umas às outras, o que permite que se façam interpolações para espaçamentos menores que os amostrados.

Neste sentido, os maiores valores da continuidade espacial foram para RP e Micro na profundidade 0,10-0,20m, respectivamente com valores de 71,13 e 68,81 m; porém os demais atributos apresentaram alcance entre 13,30 e 52,90 m (Tabela 4). As variáveis físicas em estudo apresentaram alcances maiores que o estabelecido na malha amostral, podendo salientar que a continuidade espacial variou de variável para variável.

Com relação aos valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e validação cruzada (VC), apresentaram-se satisfatório, variando entre 0,70 a 0,96 para o ( $R^2$ ), e 0,73 a 0,99 para (VC). Conforme Azevedo (2004), tais resultados mostram, em geral, ajustes dos semivariogramas que possibilitam a obtenção dos mapas da distribuição espacial dos atributos de forma confiável.

Os mapas da (Figura 3) ilustram os resultados demonstrados na Tabela 2.4 dos parâmetros dos semivariogramas ajustados, os quais foram utilizados para estimar valores em locais não amostrados por meio da krigagem.

A distribuição espacial da RP na (Figura 3), indicou predominância na região inferior do mapa. Constatou-se, que os valores variaram entre 1,1 e 3,1 MPa, sendo de modo geral valor de 2,0 MPa, conforme Tormena et al. (1998) como impeditivo ao crescimento radicular. Uma possível explicação para esses valores em ambientes de TPAs, segundo Kern & Costa (1997) é por conta da presença de fragmentos cerâmicos. Cabe ressaltar, que a RP é influenciada por vários fatores, sendo a densidade e a umidade os principais.

Os valores de densidade do solo variaram entre 1,04 e 1,44 Mg m<sup>-3</sup>, (Figura 3) havendo o decréscimo em profundidade com valores oscilando entre 0,98 e 1,34 Mg m<sup>-3</sup>. Observa-se nos mapas de Ds, que este tem relação inversamente proporcional à PT, uma vez que, quanto mais denso é o solo menor é sua porosidade; logo, se este apresentar densidade regular ou baixa, sua porosidade será maior. Cruz et al. (2010), confirma esta relação.

Os valores da Macro (Figura 3) variaram entre 0,9 e 0,16 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>, no qual os maiores valores localizam-se na região direita inferior da área. Já na (Figura 4), a Macro apresentou seus maiores valores região central da área, coincidindo com os maiores valores de PT, e com os menores valores de Micro. Houve acréscimo com os valores, quando comparados com a, oscilando entre 0,10 e 0,30 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup> (Figura 6). Kiehl (1979) relata que valores inferiores a 0,10 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup> prejudicam o desenvolvimento das raízes, a infiltração e aeração do solo.

A Us apresentou-se uma boa distribuição espacial, que apresentaram as maiores continuidades espaciais, que por sua vez proporcionaram uma melhor visualização desta variável, de maneira que, confrontando-a com os valores de Ds e PT, observa-se a relação entre as mesmas, com predomínio de maiores valores para um, onde há menores valores para outro. Nos mapas temáticos correspondentes observou-se comportamento inverso entre a Micro e a Macro nas (Figuras 3); já para a Macro e PT notou-se que a região que possui índices baixos foi a mesma para os dois atributos e regiões com altos índices foi para ambas variáveis.

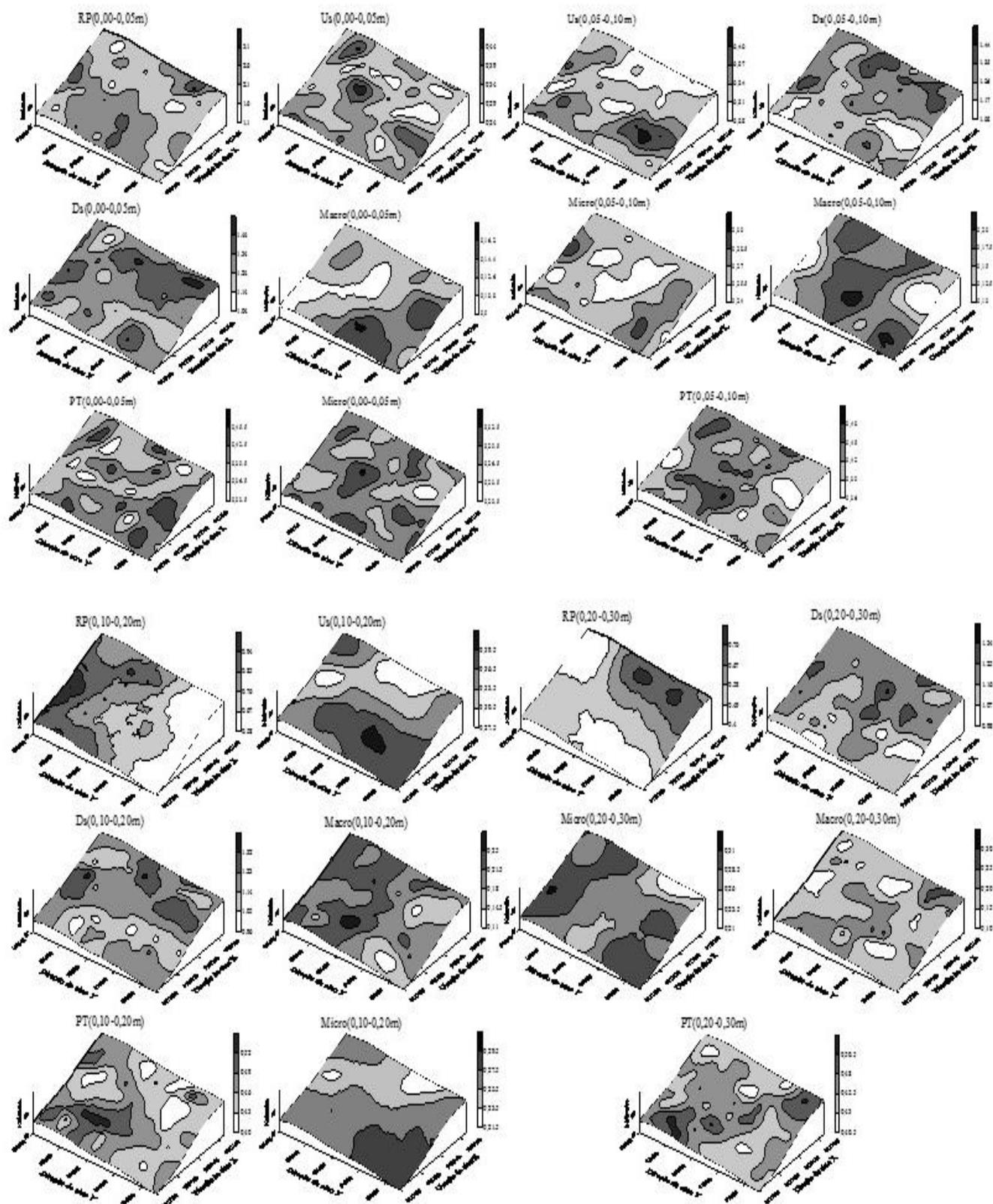


Figura 3. Mapas de Krigagem da distribuição espacial dos atributos físicos.

## 5. CONCLUSÕES

1. A partir dos mapas de krigagem elaborados para as variáveis texturais e físico-hídricas, pode-se fazer uma inferência sobre a distribuição espacial destas variáveis pela área de estudo e a relação espacial entre eles.

2. As variáveis texturais apresentaram estrutura de dependência espacial, com exceção da argila que indicou efeito pepita puro.

3. Os atributos físico-hídricos apresentaram diferentes valores de alcance de ordem de 20,00 a 72,00 m, estando dentro do limite estabelecido pela malha de estudo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F. D.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.3, p.415-422, 2007.

AZEVEDO, E. C. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no Estado de Mato Grosso**. 2004. 132 f. Tese (Doutorado em Água e Solo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BARROS, K. R. M.; LIMA, H. V.; CANELLAS, L. P.; KERN, D. C. Fracionamento químico da matéria orgânica e caracterização física de Terra Preta de Índio. **Revista Ciências Agrárias**, Belém-PA, v. 55, n. 1, p. 44-51, 2012

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The Nature and Properties of Soils**. 14th ed. Pearson-Prentice Hall: Upper Saddle River, 2008. 990 p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil**, folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978. 561 p.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 58, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, C.C.M.; SANTOS, L.A.C; SILVA, D.M.P; 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**, Boa Vista-RR, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M. Aplicação de adubo e corretivo após o corte da cana-planta utilizando técnicas geoestatísticas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, p.974-980, 2008.

CAMPOS, M.C.C.; RIBEIRO, M.R.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R.V.C.C.; ALMEIDA, M.C. Caracterização e Classificação de Terras Pretas Arqueológicas na região do Médio Rio Madeira. **Bragantia** (São Paulo, SP. Impresso), v. 70, p. 18-27, 2011.

CAMPOS, M.C.C; SANTOS, L.A.C; BERGAMIN, A.C; SILVA, D.M.P; MENDONÇA JÚNIOR, A.F. Caracterização física de seis sítios de terras pretas arqueológicas na região de Apuí-AM. **Revista Verde**, Mossoró-RN v.6, n.4, p. 167-174, 2011.

CARVALHO, L. A.; MEURER, I.; JÚNIOR, C. A. S.; CAVALIERI, K. M. V.; SANTOS, C. F. B. Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar, sob colheita mecanizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 9, p. 940-949, 2011.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 237-243, 2011.

CORRÊA, A. N.; TAVARES, M. H. F.; URIBE-OPAZO, M. A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 01, p. 81-94, 2009.

CORRÊA, G.R. **Caracterização pedológica de arqueo-antropossolos no Brasil: sambaquis da Região dos Lagos (RJ) e Terras pretas de índio na região do baixo rio Negro/Solimões (AM)**. 2007, 115f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

CPRM. Centro de Pesquisa de Recursos Minerais. **Hidroclimatologia, geologia, recursos minerais, geomorfologia e unidades de paisagens**. Manaus, 2001. 93p. (Relatório Técnico).

CRUZ, J. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N. A.; MATIAS, S. S. R.; CAMACHO-TAMAYO, J.H. & TAVARES, R. C. Análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.271-278, 2010.

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, nº 1, p. 91-98, 2009.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; NOGUEIRA, D.C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F.L.; ASSIS, J.T.; OLIVEIRA, M.S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, p.8-19, 2011.

DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 3, p. 201-214, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FARIAS, M.S.S. de. **Diagnóstico da necessidade de drenagem no perímetro irrigado de São Gonçalo**. Campina Grande: UFPB, 1999. 75p. Dissertação Mestrado

GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V.; MATA, J.D.V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**, Maringá-PR v. 23, n. 5, p. 1149-1157, 2001.

GRECO, C.R.; VIEIRA, R.S. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.29, n.2, p.169-177, 2005.

GREGO, C. R.; RODRIGUES, C. A. G.; NOGUEIRA, S. F.; GIMENES, F. M. A.; OLIVEIRA, A.; ALMEIDA, C. G. F.; FURTADO, A. L. S.; DEMARCHI, J. J. A.

Variabilidade espacial do solo e da biomassa epígea de pastagem, identificada por meio de geoestatística. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n.9, p. 1404-1412, 2012.

HAMMER, R. D.; YOUNG, N. C.; WOLENHAUPT, T. L.; BARNEY T. L.; HAITHCOATE, T. W. Slope Class Maps Form Soil Survey and Digital Elevation Models. **Soil Science Society American Journal**. Madison, v.59, p.509-519, 1995.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; COLLAGES, G. L. & KUNS, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 33:845- 855, 2009.

KAMIMURA, K. M.; SANTOS, G. R.; OLIVEIRA, M. S.; JÚNIOR, M. S. D. GUIMARÃES, P. T. G. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo vermelho- Amarelo, sob Lavoura Cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 37, p.877-888,2013.

KÄMPF, N.; KERN, D.C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, O.P; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E.J. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.6, p. 277-320, 2005.

KERN, D.C. & KÄMPF, N. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com Terra Preta Arqueológicas na Região de Oriximiná, Pará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 13:219-225, 1989.

KERN, D.C.; COSTA, M.L. Composição química de solos antropogênicos desenvolvidos em Latossolo Amarelo derivados de lateritos. **Geociências**, São Paulo, v.16, n.1, p.157-175, 1997.

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

LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GERMAN, L.; MCCANN, J.M.; MARTINS, G.C.; MOREIRA, A. (2003) Soil fertility and production potential. In: LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. Amazonian dark earths; **origin**,

**properties and management.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 105–124.

LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. C.; LEÃO, T. P. Estimativa da capacidade de suporte de carga do solo a partir da avaliação da resistência à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.217-223, 2006.

LITTLE, T.M. & HILLS, F.J. **Agricultural experimentation.** New York, John Wiley & Sons, 1978. 350p.

LÓPEZ, L.R.; SÁNCHEZ, A.R.; TAMAYO, J.H.C. Variabilidade espacial de atributos físicos de un typic haplustox de los llanos orientales de colômbia. **Engenharia Agrícola.** Jaboticabal-SP, v.28, n.1, p.55-63, 2008.

MADARI, B., BENITES, V.M., CUNHA, T.J.F. The effect of management on the fertility of Amazonian dark earths. In Lehmann, J., Kern, D.C., Glaser, B., Woods, W.I. (eds) Amazonian dark earths. **Origin, properties, management.** Kluwer:Dordrecht. 2003. pp. 407-432.

MEGDA, M. M.; CARVALHO, M. P.; VIEIRA, M. X.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, E. C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e a porosidade de um Latossolo Vermelho de Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.781-788, 2008.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, p.1513-1519, 2009.

MINITAB Release 14.1, **Statistical Software.** US/Canada. 2000.

MOREIRA, A. Fertilidade, Matéria Orgânica e Substâncias Húmicas em solos Antropogênicos da Amazônia Ocidental. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p.307-315, 2007.

NEVES JUNIOR, A. F. **Qualidade física de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central.** Piracicaba, 2008, 94f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

NEVES, E.G.; PETERSON, J.B.; BARTONE, R.N.; SILVA, C.A. Historical and socio-cultural origins of Amazonian dark earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.;

- GLASER, B.; WOODS, W. I. **Amazonian dark earths; origin, properties and management**, 1. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p.29-50.
- NOGUEIRA, M. C. S. **Experimentação agrônômica I**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2007. 463p.
- PABST, E. Terra Preta do Índio - **Chemische Kennzeichnung und ökologische Bedeutung einer brasilianischen Indianerschwarzerde**. 21p.Tese (Doutorado) - University of Bayreuth, Germany, 1992.
- PETERSON, R. A. O fator água. In: **Fundamentos de manejo de pastagens**. São Paulo: Instituto de Zootecnia da Secretaria da Agricultura, 1970. p.63-75.
- PIRES, B. S.; DIAS JUNIOR, M. de S.; ROCHA, W. W.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; CARVALHO, R. de C. R. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.635-642, 2012.
- RAMIREZ-LÓPEZ, L.; REINA-SÁNCHEZ, A.; CAMACHO-TAMAYO, J.H. Variabilidade espacial de atributos físicos de un typic haplustox de los llanos orientales de Colômbia. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.55-63, 2008.
- REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 445p.
- ROQUE, W.R.; MATSURA, E.E.; SOUZA, Z.M.; BIZARI, D.R.; SOUZA, A.L. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1827-1835, 2008.
- SANTOS, D.; SOUZA, E. G.; NÓBREGA, L. H. P.; BAZZI, C. L.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n.8, p. 843-848, 2012.
- SCHAFFRATH, V.R.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; GONÇALVES, A. C.A. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1369-1377, 2008.
- SILVA, F.M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e da produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, n.37, p.401-407, 2007.

SILVA, S.A. et al. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 01, p. 1-8, 2010.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 659-667, 2010.

SIMÕES, W.L.; SILVA, E.L.; LIMA, D.M.; OLIVEIRA, M.S. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.30, p.1061-1068, 2006.

SIQUEIRA, G. M.; VIEIRA, S. R.; CEDDIA, M. B. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. **Bragantia**, Campinas, v.67, p.203-211, 2008.

SMITH, N.J.H. **Anthrosol and human carrying capacity in Amazonia**. In: ANNALS OF THE ASSOCIATION OF AMERICAN GEOGRAPHERS, 70. 1980, Durham, Anais. Durham, 1980. p. 553-566.

SOUSA NETO, E.L.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.43, n.2, p.255-260, 2008.

SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um latossolo vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n. 3, p.699-707, 2001.

SOUZA, Z.M.; BARBIERI, D.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; CAMPOS, M. C. C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo na aplicação de insumos para cultura de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, p. 371-377, 2007.

SOUZA, Z.M.; CAMPOS, M.C.C.; CAVALCANTE, I.H.L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v.36, p.128-134, 2006.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; MOREIRA, L.F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1763-1771, 2004.

STEINBEISS, S.; GLEIXNER, G.; ANTONIETTI, M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v.41, p.1301-1310, 2009.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Compressibility of oxisol aggregates under no-till in response to soil water potential. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.1525-1533, 2009.

TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C.; MACEDO, R. S.; NEVES JUNIOR, A. F.; MOREIRA, A.; BENITES, V. M.; STEINER, C. As propriedades físicas e hídricas dos Horizontes Antrópicos das Terras Pretas de Índio na Amazônia Central. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 242-250.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.573- 581, 1998.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Adv. Agron.**, New York, v.38, n.1, p.45-93, 1985.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D. (Ed.). Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980. cap. 2, p.319-344.

WEBSTER, R. Is soil variation random? **Geoderma**, Amsterdam, v.97, n.1-2, p.149-163, 2000.

ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO SUL-SUDESTE DO AMAZONAS – ZEE, AM. **Zoneamento Ecológico Econômico do Sul-Sudeste do Amazonas**. IPAAM, 2008. 53p.

