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

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS EM ÁREAS DE TERRAS PRETAS ARQUEOLÓGICAS SOB USOS COM CACAU, CAFÉ E PASTAGEM NA REGIÃO SUL DO AMAZONAS

Bolsista: Wildson Benedito Mendes Brito, CNPq

HUMAITÁ/AM
2015

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

RELATÓRIO FINAL

PIB-A/0007/2014

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS EM ÁREAS DE TERRAS PRETAS ARQUEOLÓGICAS SOB USOS COM CACAU, CAFÉ E PASTAGEM NA REGIÃO SUL DO AMAZONAS

Bolsista: Wildson Benedito Mendes Brito, CNPq
Orientador: Dr. Milton César Costa Campos

HUMAITÁ/AM
2015

RESUMO: As Terras Pretas de Índio são solos que exibem coloração escura, horizonte antrópico com presença de artefatos líticos e/ou cerâmicos além de elevada fertilidade. O presente trabalho tem como objetivo investigar o comportamento espacial dos atributos físicos do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica sob uso de pastagem, cacau e café na região Sul do Amazonas. Será realizado o mapeamento de três áreas de TPA, nestas serão estabelecida uma malha de 88 m x 64 m com espaçamento regular de 8 m entre os pontos amostrais, os solos serão amostrados nos pontos de cruzamento da malha, perfazendo um total de 88 pontos amostrais. Esses pontos serão georreferenciados com um equipamento de GPS para construção do MDE (Modelo Digital de Elevação) e em seguida coletadas amostras de solos nas profundidades 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Serão realizadas análises físicas como: textura, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, umidade volumétrica, resistência do solo a penetração e estabilidade de agregados. Os dados serão analisados utilizando-se técnicas estatísticas descritivas e geoestatística.

Palavras chave: geoestatística, Amazônia, solos antrópicos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1

2. REVISÃO DE LITERATURA..... 3

2.1 Atributos do solo em áreas de TPAs 3

2.2 Variabilidade espacial dos atributos do solo..... 4

3. MATERIAL E MÉTODOS 5

3.1 Caracterização do Meio Físico 5

3.2 Metodologia de Campo e Laboratório 6

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 9

4.1 Terra Preta de Índio Sob Cultivo de Cacau 9

4.1.1 Textura: 9

4.1.2 Densidade do solo, resistência do solo à penetração, macroporosidade, microporosidade, volume total de poros e umidade volumétrica do solo: 11

4.1.3 Estabilidade de agregados do solo:..... 18

4.2 Terra Preta de Índio Sob Cultivo de Café 22

4.2.1 Textura: 22

4.2.2 Densidade do solo, resistência do solo à penetração, macroporosidade, microporosidade, volume total de poros e umidade volumétrica do solo: 25

4.2.3 Estabilidade de agregados do solo:..... 32

4.3 Terra Preta de Índio Sob Cultivo de Pastagem 36

4.3.1 Textura: 36

4.3.2 Densidade do solo, resistência do solo a penetração, macroporosidade, microporosidade, volume total de poros e umidade volumétrica do solo: 41

5. CONCLUSÕES 51

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 51

7. CRONOGRAMA DE EXCUÇÃO 56

1. INTRODUÇÃO

As terras pretas arqueológicas (TPA) ou Terras Pretas de Índio compreendem solos caracteristicamente de coloração escura e fragmentos de cerâmica e/ou líticos incorporados aos seus horizontes mais superficiais (Kampf e Kern, 2005). De acordo com Glaser (2007), estes solos normalmente apresentam elevada fertilidade natural, com elevados teores de P, Ca, Mg e matéria orgânica estável, além de maior atividade biológica, quando comparados aos solos adjacentes. Segundo Cunha et al. (2007), a fertilidade desses solos é fortemente relacionada com as características moleculares da fração alcalino-solúvel do carbono orgânico, as substâncias húmicas.

Diversos estudos apontam que as TPAs são de origem antrópica a partir de povos Pré-Colombianos; ou seja, seria resultado de antigos assentamentos indígenas. As evidências da passagem do ser humano por essas áreas são os próprios elementos que faziam parte do cotidiano dos povos indígenas da Amazônia. A matéria orgânica que formou as TPAs, segundo Kern (1996) é composta principalmente por folhas que serviam para a cobertura de casas, além de sementes, cipós e restos de animais (ossos, carapaças, conchas, fezes, urina, etc.). 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).

Quanto à distribuição geográfica, German (2003) afirmou que estes solos distribuem-se na forma de manchas descontínuas por toda a Amazônia, estando normalmente associados aos cursos de água e a ambientes bem drenados ou em locais com posição topográfica que permitia boa visualização do terreno. Segundo Sombroek et al. (2003), as TPAs ocupam de 0,1% a 0,3% da bacia Amazônica, e as informações a respeito do tamanho dos sítios variam de menos de um hectare, em terraços elevados, paralelos aos rios, a 400 hectares. Estas maiores extensões de TPA apoiam a concepção de grandes sítios de assentamentos pré-históricos ocupados por longo tempo (Kampf e Kern, 2005). Atualmente estas áreas de TPAs por não apresentarem grande extensão, o seu uso atual se restringe principalmente a agricultura de subsistência por

agricultores familiares, na qual estes solos são ocupados principalmente por atividades voltadas para o cultivo de: Hortaliças, café, cacau, mandioca, milho, frutíferas e algum destaque com áreas de pastagens.

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 TPAs (Teixeira et al., 2010) com textura variando entre arenosa e muito argilosa (Lima et al., 2002), apresentam 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). Smith (1980), afirma que as TPAs possuem horizonte A antrópico que varia a sua espessura de 36 a 73 cm, no entanto pode ser encontrados solos com horizontes mais profundo do que o mencionado.

As TPAs comumente apresentam uma menor densidade do solo, em comparação aos solos adjacentes. Em estudo realizado por Neves Júnior (2008) em ambientes de Terras Pretas Arqueológicas manejadas com cultivo, o autor constatou baixos valores de densidade do solo nos horizontes antropogênicos e aumento da densidade com a profundidade, os menores valores de densidade do solo são devido aos altos teores de matéria orgânica nos horizontes A antrópico.

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.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Atributos do solo em áreas de TPAs

Pela alta fertilidade apresentada, as TPAs são frequentemente procuradas pelas populações locais para cultivos de subsistência, tais como mandioca, banana, milho, mamão etc. No fim do século XIX, a fertilidade desses solos já chamava a atenção de pesquisadores como Hartt e Katzer, entre outros. Porém, apenas no final do século XX é que as TPAs têm despertado relevante interesse da comunidade científica, Kern et al (2001).

Atualmente estão sendo realizadas pesquisas multi e interdisciplinares por cientistas nacionais e de outros países, de diversas áreas do conhecimento como geógrafos, pedólogos, geólogos, geoquímicos, geoarqueólogos, arqueólogos, antropólogos, biólogos etc., gerando elevado número de artigos científicos. Mostrando assim, importância das pesquisas sobre TPAs, tanto para o desenvolvimento agrícola, quanto para o conhecimento da pré-história da Amazônia e da mudança global do clima atual, Kern et al (2001).

A característica mais marcante nas TPAs é sua alta fertilidade natural formada através de um intenso uso contínuo por povos antigos. Sua coloração escura, assim como os elevados teores de C orgânico, P, Ca, Mg, Zn e Mn deve-se ao fato destes solos possuírem material orgânico decomposto na forma de carvão residual, materiais líticos e dejetos humanos incorporados na matriz do solo. Por isso, a fertilidade desses solos apresentam significativas condições de uso para um melhor crescimento de plantas comparando sua produtividade à de

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).

Lehmann et al. (2003), afirma que 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. 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.

Segundo Pabst (1992), comparando TPAs com Latossolos, os atributos físicos das TPAs 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 do solo é estudada pela geoestatística. Trata-se de um conjunto de técnicas aplicadas a variáveis regionalizadas, que definem a estrutura de dependência espacial de cada variável (Zanão Júnior et al., 2007; Marins et al., 2008). Além disso, ainda proporciona meios para que sejam efetuados os respectivos mapeamentos da área estudada através da krigagem, uma vez que o modelo da dependência espacial seja conhecido por meio do semivariograma (SILVA et al., 2010).

Nas TPAs, 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 agronômica 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 atributos físicos dos solos. Para isto, é conveniente que seja feita uma amostragem representativa da área, para que se possam 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.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do Meio Físico

As áreas de estudo localizam-se ao Sul do Estado do Amazonas, respectivamente nos municípios de Apuí e Manicoré. As coordenadas

geográficas são 07º 59' 77,1" S e 61º 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

Será realizado o mapeamento de três áreas de TPA com uso atual de pastagem, café e cacau, nestas será estabelecida uma malha de 88 m x 64 m com espaçamento regular de 8m entre os pontos amostrais, os solos serão amostrados nos pontos de cruzamento da malha, perfazendo um total de 88 pontos amostrais. Esses pontos serão georreferenciados com um equipamento de GPS para construção do Modelo Digital de Elevação (MDE), 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.

Será realizada análise granulométrica, utilizando-se o método da pipeta, com solução de NaOH 1 mol como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 minutos, seguindo metodologia proposta pela (Embrapa, 1997). A fração argila será separada por sedimentação, a areia grossa e fina por tamisação e o silte calculado por diferença.

Para as determinações da macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e porosidade total, serão coletadas amostras indeformadas utilizando-se

anéis volumétricos na profundidade de 0,0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Em seguida as amostras serão envoltas em filme de PVC transparente e acondicionadas em formas de isopor. No laboratório, as amostras serão preparadas retirando-se o excesso de solo das suas extremidades, em seguida saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água numa bandeja de alumínio, até atingir cerca de 2/3 da altura das amostras.

A porosidade total será obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco em estufa a 105ºC durante 24 horas. A microporosidade do solo será determinada pelo método da mesa de tensão. Pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade será obtido a macroporosidade. A determinação da umidade será obtida pela diferença entre a massa do solo úmido e a massa do solo seco em estufa a 105ºC durante 24 horas. A densidade do solo será determinada pelo método do anel volumétrico, sendo coletadas amostras indeformadas, em cilindros com volume médio de 313,9 cm^3. (Embrapa, 1997).

A resistência do solo à penetração será determinada em laboratório nas amostras coletadas com os cilindros volumétricos, utilizando um penetrômetro eletrônico modelo MA-933, marca Marconi, com velocidade constante de 0, 1667 mm s^{-1}, equipado com uma célula de carga de 200 N, haste com cone de 4 mm de diâmetro de base e semiângulo de 30º, receptor e interface acoplado a um microcomputador, para registro das leituras por meio de um software próprio do equipamento (DALCHIAVON et al., 2011).

Nos pontos de cruzamento das malhas, serão coletadas amostras indeformadas nas respectivas profundidades citadas anteriormente para determinação da estabilidade dos agregados do solo. A determinação dos atributos DMG, agregados na classe >2 mm e agregados na classe 2-1 mm. As amostras serão levemente destorroadas, de forma manual, e passadas em peneira de 9,51 mm de diâmetro de malha, secadas à sombra, para as análises relativas à agregação. A separação e estabilidade dos agregados serão determinadas segundo Kemper & Chepil (1965), com modificações, nas seguintes classes de diâmetro: >2,0; 2,0-1,0; 1,0-0,25; 0,25-0,10; 0,10-0,05 e <0,05 mm. Os agregados serão colocados em contato com a água sob a peneira de 4,76 mm por quinze minutos, a massa do material retido em cada peneira,

será colocada em estufa a 105ºC. Os resultados serão expressos em percentual dos agregados retidos nas peneiras >2 mm, <2 mm, diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP).

A variabilidade do solo será 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 Release 14 (Minitab, 2000).

Para a caracterização da variabilidade espacial, será 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: γ(h) - valor da semivariância para uma distância h; N(h) - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; Z(xi) - valor do atributo Z na posição xi; Z(xi+h) - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição xi.

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de γˆ (h) são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C0; patamar, C1; variância estrutural, C0 + C1; 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, utilizar-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 R2 (coeficiente de determinação). Na elaboração dos mapas de distribuição espacial das variáveis será utilizado o programa Surfer 8.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Terra Preta de Índio Sob Cultivo de Cacau

4.1.1 Textura:

A tabela 1 apresenta os resultados da analise descritiva dos atributos texturais. Observa-se a dominância da fração silte que correspondendo a mais da metade da composição granulométrica, com valor de 572,83 g kg^{-1}, enquanto que a areia apresentou valor de 221,10 g kg^{-1} e argila 204,52 g kg^{-1}, corroborando com resultados de autores como Santos et al. (2013) e Aquino et al. (2014) em estudos com TPAs e solos não-antropogênicos.

Verifica-se que o coeficiente de variação foi menor para o silte e maior para a areia com valor de 5,59 e 22,43 respectivamente. Warrick & Nielson (1980) propõem limites para classificar a variabilidade de variáveis do solo através do CV (%), na qual têm se CV < 12%, 12 < CV < 60%, e CV > 60% para baixa, média e alta variabilidade, respectivamente. Assim como também Nogueira (2007) menciona que CV menores que 35% indicam que a série é homogênea e a média tem significado; já CV entre 35% e 60% revelam que a série amostral é heterogênea e a média possui pouco significado; e CV acima de 60% significam que a série é heterogênea e a média não possui significado algum. Relacionando esses métodos classificatórios, diz-se então que, somente o silte apresentou baixa variabilidade, a areia e argila apresentaram moderada variabilidade, e todas as variáveis foram menores que 35%, revelando que a série é homogênea e a média possui boa representatividade.

O coeficiente de assimetria é utilizado para indicar o quanto e como a distribuição de frequências se afasta do eixo de simetria (Lopes et al., 2013). A tabela 1 mostra que os valores foram muito próximos de zero, com valor de 0,37 para areia, -054 para silte e, -0,03 para argila. Deste modo, a areia está assimétrico à direita, enquanto que o silte e argila estão assimétricos à esquerda. A curtose indica o grau de achatamento ou alongamento de uma distribuição em relação à distribuição normal e deve se aproximar de 3 para assumir que os dados seguem uma distribuição normal (Lopes et al., 2013). Logo, todas as variáveis apresentaram valores próximos de zero, indicando que a distribuição está um pouco mais achatada que o de uma distribuição normal.

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

[1]DP: desvio padrão; [2]CV: coeficiente de variação; [3]d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov; *significativo a 5 % de probabilidade.

Adiante na tabela 2 são mostrados os parâmetros dos semivariogramas ajustados que descrevem o comportamento da distribuição espacial dos atributos texturais. Os valores de coeficiente de determinação (R^2) e validação cruzada (VC) foram superiores a 0,65 para todas as variáveis, assegurando bom desempenho na confecção dos mapas de distribuição espacial na interpolação de dados pela krigagem.

Estatística Descritiva	Areia	Silte	Argila
	----------g kg^{-1}----------		
	----------Profundidade 0,0-0,05 m----------		
Média	221,10	572,83	204,52
Mediana	217,50	577,00	205,50
Máximo	350,00	654,00	343,00
Mínimo	115,00	465,00	104,00
[1]DP	49,59	32,01	44,06
Variância	2458,92	1024,53	1941,31
[2]CV%	22,43	5,59	21,54
Assimetria	0,37	-0,54	-0.03
Curtose	-0,30	1,18	0,10
[3]d	0,10	0,09*	0,08*

O alcance é o valor limite da dependência espacial entre os pontos correlacionados. Entre as variáveis, a areia se destacou com maior alcance de dependência com um valor de 42,00m, enquanto que o silte apresentou valor de 23,48m e, argila 28,50m. O alcance da dependência espacial é um parâmetro importante do semivariograma uma vez que indica a zona de influência de uma amostra, ou seja, define a distância máxima até onde o valor de uma variável possui relação de dependência espacial com seus vizinhos (Aquino et al., 2014).

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

Parâmetro dos Semivariogramas			
	Areia	Silte	Argila
Parâmetros	Profundidade 0,0-0,05 m		
Modelo	Exp.	Exp.	Exp.
Efeito Pepita (C^0)	1,00	1,00	1,00
Patamar ($C^0 + C^1$)	2515,00	887,90	1893,00
Alcance (a)	42,00	23,48	28,50
[1]GDE %	0,04	0,11	0,05
[2]R^2	0,895	0,893	0,906
[3]VC	1,000	1,000	1,000

Exp.: Exponencial; [1]GDE%: grau de dependência espacial; [2]R^2: coeficiente de determinação; [3]VC: validação cruzada.

O grau de dependência espacial (GDE), de acordo com a tabela 2, está situado entre 0,04 e 0,11 % do patamar. Cambardella et al. (1994) propondo limites para classificar o grau de dependência espacial conclui que, semivariogramas que possuem: GDE ≤ 25%, 25% < GDE < 75%, e GDE >75% do patamar são considerados como de dependência espacial forte, moderada e fraca, respectivamente. Através deste método, as variáveis apresentaram forte dependência espacial para areia, silte e argila, com valores próximos de zero, significando que estes atributos estão fortemente correlacionados espacialmente e que seus atributos estão juntamente envolvidos em troca dinâmica de propriedades mecânicas.

4.1.2 Densidade do solo, resistência do solo à penetração, macroporosidade, microporosidade, volume total de poros e umidade volumétrica do solo:

Seguindo na tabela 3, são apresentados os atributos físicos: resistência à penetração de raízes (RP), densidade (Ds), umidade volumétrica (Us), macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT) do solo. Os valores da média e mediana estão bem próximos um do outro, assim como os valores de assimetria e curtose estão próximos de zero, com exceção para densidade na camada de 0,10-0,20m e 0,20-0,30m, significando que os dados seguem distribuição normal.

Em relação à resistência à penetração (RP), Andrade et al. (2013) estimando RP, baseando-se no índice de qualidade física do solo e no estresse efetivo, conclui que valores de RP ≤ 1,26 Mpa indicam ausência de restrição à penetração do solo pelas raízes, e valores de RP ≥1,9 Mpa são indicadores de solos compactados. Utilizando-se desses dados, considera-se que a RP apresentou ótima condição física com um impedimento mínimo para produção agrícola, visto que em todas as profundidades os valores variaram de 0,88 Mpa a 1,13Mpa.

A densidade do solo (Ds) variou pouco com o aprofundamento no solo, apresentando valores situados entre 0,90 Mg m^{-3} e 0,98 Mg m^{-3}, concordando com resultados obtidos por Neves Júnior (2008), Campos et al. (2012) e Santos et al. (2013). Estes valores baixos de Ds enfatizam o fato de que TPAs ostentam melhores condições de compactação do solo, o que propicia aumento nos teores de macro e micro poros necessários para uma boa drenagem e, consequentemente, desenvolvimento radicular de plantas.

Estes valores de RP e Ds são importantes atributos físicos que influenciam diretamente o crescimento das raízes e, consequentemente, a parte aérea das plantas. Quando se aumenta a RP, o sistema radicular apresenta desenvolvimento reduzido, podendo comprometer a produtividade da área. A Ds além de ser um indicador de qualidade física do solo, também é utilizada para determinar a quantidade de água e de nutrientes que existiam no perfil do solo com base no volume (Mendes et al., 2006).

A Umidade volumétrica do solo (Us) apresentou valores variando de 41,92 m^3m^{-3} para 49,01 m^3m^{-3}, e verifica-se que estes valores foram diminuindo de acordo com o aumento da profundidade. Teixeira et al. (2009) estudando propriedades físicas e hídricas de TPAs, argumenta que o conteúdo de água no solo (θ) juntamente com energia de potencial da água no solo (φ), a temperatura, porosidade e a resistência à penetração são os fatores que afetam diretamente o crescimento de plantas. Através do θ e do φ pode-se determinar a curva de retenção da água no solo (CRA), que é um indicador direto e indireto do comportamento de outras propriedades do solo, tais como a drenagem, aeração, infiltração, padrão radicular, distribuição do tamanho dos poros e índices de qualidade física do solo. Estes valores altos de Us (tabela 3) permitem a

realização de curvas de retenção com bom desempenho. Entretanto, nem toda a água presente no solo está disponível para as plantas, apenas a água que está na solução do solo é suprível pelas plantas. Assim, é necessário que haja boa quantidade de água no solo para que possa aumentar o θ e a φ. Notadamente este fato ocorre, visto que estes altos valores de Us estão coerentes e justificam os valores baixos de Ds, RP e PT do solo.

Na macroporosidade os valores variaram de 19,40 m^3 m^{-3} para 22,38 m^3 m^{-3}. A camada 0,10-0,20m apresentou aumento no valor de 19,40 para 22,38 m^3 m^{-3} devido queda no valor de Ds, fazendo com que haja menor quantidade de sólidos e aumento de porosidade nesta camada. O valor mínimo do espaço ocupado pelo ar deve ser de 0,10 m^3 m^{-3} para que haja um desenvolvimento satisfatório do sistema radicular (Baver, 1972; Kiehl, 1979). Nota-se que os valores estão acima das condições ideais, isto é, 0,10-0,16 m^3 m^{-3}.

A microporosidade variou de 41,98 para 49,05 m^3 m^{-3} e apresentou redução dos valores com o aumento da profundidade. Isto ocorre pela razão de a densidade aumentar também com o aprofundamento no solo. Já a porosidade total variou de 69,01 para 63,63 m^3 m^{-3}, e também houve redução de seus valores com o aumento da profundidade.

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

Estatística Descritiva	RP	Ds	Us (vol)	Macro	Micro	PT
	MPa	Mg m^{-3}	----------m^3 m^{-3} ----------			
			0,00-0,05 m			
Média	1,13	0,90	49,01	19,96	49,05	69,01
Mediana	1,12	0,89	48,89	19,44	49,17	68,54
Máximo	1,99	1,15	59,47	32,78	59,47	85,05
Mínimo	0,45	0,69	33,58	10,20	33,58	56,94
[1]DP	0,37	0,10	4,39	5,63	4,40	4,77
Variância	0,13	0,01	8,96	31,79	19,33	22,75
[2]CV%	32,63	11,76	8,96	28,24	8,96	6,91
Assimetria	0,34	0,45	-0,72	0,38	-0,74	0,16
Curtose	-0,48	0,16	1,53	-0,54	1,54	0,91
[3]d	0,08*	0,09*	0,09*	0,07*	0,09*	0,07*
			0,05-0,10 m			
Média	1,12	0,95	46,76	19,40	46,76	66,16
Mediana	1,10	0,95	47,01	18,78	47,01	65,47

Máximo	1,79	1,18	59,13	34,12	59,13	80,98
Mínimo	0,35	0,73	29,22	10,23	29,22	47,30
[1]DP	0,33	0,09	4,84	5,30	4,82	4,36
Variância	0,11	0,008	23,40	28,10	23,28	18,99
[2]CV%	30,03	9,34	10,35	27,32	10,32	6,59
Assimetria	-0,12	0,22	-0,30	0,65	-0,30	-0,23
Curtose	-0,54	0,44	1,32	0,18	1,36	4,18
[3]d	0,07*	0,07*	0,06*	0,07*	0,07*	0,10
			0,10-0,20 m			
Média	0,88	0,93	43,37	22,38	43,37	65,75
Mediana	0,84	0,94	42,72	22,41	42,72	66,42
Máximo	1,89	1,25	53,21	34,13	53,21	76,03
Mínimo	0,25	0,00	29,71	10,63	29,71	53,05
[1]DP	0,37	0,14	3,83	5,25	3,83	4,31
Variância	0,13	0,02	14,70	27,54	14,70	18,59
[2]CV%	41,62	15,17	8,84	23,45	8,84	6,56
Assimetria	0,52	-3,03	-0,04	-0,29	-0,04	-0,69
Curtose	-0,48	21,07	1,18	-0,33	1,18	0,70
[3]d	0,07*	0,15	0,08*	0,07*	0,08*	0,07*
			0,20-0,30 m			
Média	0,91	0,98	41,92	21,65	41,98	63,63
Mediana	0,85	0,97	41,73	21,36	41,73	63,95
Máximo	1,82	1,27	53,62	31,98	53,62	73,36
Mínimo	0,23	0,26	33,78	10,27	33,78	52,88
[1]DP	0,35	0,13	3,63	4,79	3,60	4,11
Variância	0,12	0,01	13,23	22,95	12,98	16,92
[2]CV%	38,96	13,46	8,68	22,13	8,58	6,46
Assimetria	0,42	-1,48	0,39	-0,03	0,37	-0,21
Curtose	-0,34	9,26	0,63	-0,26	0,73	-0,04
[3]d	0,07*	0,09*	0,05*	0,05*	0,05*	0,06*

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; [1]DP: desvio padrão; [2]CV: coeficiente de variação; [3]d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov; * significativo a 5% de probabilidade.

Estes valores de Macro, Micro e PT (apesar da PT estar acima do mencionado por Kiehl (1979), na qual o autor considera como ideal para produção agrícola um solo que contêm 0,50 m^3 m^{-3} para distribuição da porosidade total), estão de acordo e corroboram com Kiehl (1979) ao apresentar matematicamente 2/3 de microporos e 1/3 de macroporos em relação à porosidade total tal como o autor cita. Além do mais, somando Macro com Micro tem-se corretamente o valor de PT, apresentado na tabela 9, para todas as camadas.

Utilizando-se o método de classificação de variáveis do solo através do coeficiente de variação (CV%) proposto por Warrick & Nielson (1980), de modo que CV < 12% para baixa, CV entre 12% e 60% para média e, CV >60% para alta variabilidade, respectivamente. Sendo que os valores de CV variaram de 6,46% para 41,62%, da camada de 0,20-0,30m na PT e da camada de 0,10-0,20m na RP respectivamente, diz-se que as variáveis apresentaram média variabilidade para RP e macroporosidade; e baixa variabilidade para Us, Macro, Micro e PT; e o atributo Ds apresentou baixa variabilidade para as primeiras duas camadas e média variabilidade para as ultimas duas camadas.

A curtose apresentou valores variando entre -0,54 e 1,54 (tabela 3) para a maioria das variáveis, com exceção da PT na camada de 0,05-0,10m e da Ds na camada de 0,10-0,30m. Em estudo com normalidade de dados estatísticos de variáveis do solo, Lopes et al. (2013) argumenta que a curtose significa o grau de achatamento de uma distribuição em relação à distribuição normal e seu valor deve se aproximar de 3 para assumir que os dados seguem distribuição normal. Deste modo, a maioria dos atributos apresentaram distribuição de dados mais achatada do que o normal, enquanto que as exceções (PT e Ds) apresentaram-se em forma de distribuição mais alongada que o normal, indicando a discrepância destas anomalias.

O coeficiente de assimetria variou de -3,03 para 0,65. Para os atributos apresentaram coeficiente negativo, diz-se que a distribuição é assimétrica à esquerda, e para os que apresentaram coeficiente positivo diz-se que a distribuição é assimétrica à direita. O coeficiente de assimetria é utilizado para indicar o quanto e como a distribuição de frequências se afasta da simetria, valores iguais a zero indicam que a distribuição é simétrica (Lopes et al., 2013). No presente trabalho, a variável que mais se aproximou de uma distribuição simétrica foi a macroporosidade na camada de 0,20-0,30m.

Em relação ao teste de normalidade, as variáveis foram significativas ao teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de probabilidade, isto é, com grau de confiança de 95%, com exceção da PT na camada de 0,05-0,10m e de Ds na camada de 0,10-0,20m que apresentaram valores de 0,10 e 0,15 respectivamente.

Seguindo na tabela 4, onde são mostrados os resultados da análise geoestatística dos atributos estudados, obtêm-se os parâmetros estimados pelo ajuste do semivariograma. Cambardella et al. (1994) propondo limites para classificação do grau de dependência espacial (GDE) conclui que, variáveis que apresentam GDE ≤ 25%; 25% ≤ GDE ≤ 75% e; GDE > 75% são considerados como de dependência espacial forte, moderada e fraca, respectivamente. A partir desta análise observa-se que para todos os atributos estudados o GDE não ultrapassou o valor de 1%, significando o forte grau de dependência que estes atributos possuem espacialmente, com exceção para Us e Micro na camada de 0,10-0,20m os quais foram considerados como efeito pepita puros (EPP), indicando que não houve dependência espacial.

Esta dependência espacial ocorre de forma contínua por toda a área de alcance que foi determinada pelo ajuste do semivariograma, de maneira que, os pontos amostrais estejam espacialmente correlacionados uns com os outros de ponto para ponto, na qual há interação entre as propriedades de atributo para atributo a fim de unificar as diversas formas de partículas minerais, não minerais, húmus, microrganismos, entre outros, com suas propriedades físicas e químicas, formando o que é conhecido como “solo”. No caso dos atributos que apresentaram EPP, as variáveis são independentes para distâncias menores que o espaçamento utilizado como espaçamento para de coleta amostral, que no presente estudo foi de 8m. Isso significa que há variabilidade não explicada, considerando a distância da amostragem utilizada, no qual a aplicação da geoestatística não foi eficaz (Aquino et al., 2014).

O menor valor de alcance foi observado para Macro na camada 0,05-0,10m com valor de 9,5m e o maior alcance foi notado para Ds na camada 0,10-0,20m. O alcance da dependência espacial é um parâmetro importante do semivariograma uma vez que indica a zona de influência de uma amostra, ou seja, define a distância máxima até onde o valor de uma variável possui relação de dependência espacial com seus vizinhos (Aquino et al., 2014). Souza et al. (2004) estudando a variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar, argumenta que o alcance é uma medida importante para o planejamento e avaliação experimental,

haja vista que auxilia na definição de procedimento de amostragem representativas.

Os valores de coeficiente de determinação (R^2 %) e de validação cruzada (VC %) foram superiores a 0,650 com única exceção para Micro na camada de 0,00-0,05m que apresentou VC com valor de 0,624, permitindo a obtenção de mapas da distribuição espacial dos atributos com qualidade. Carvalho et al. (2010) em estudo com geoestatística de atributos físicos e químicos do solo, menciona que a validação cruzada é uma ferramenta destinada a avaliar modelos alternativos de semivariogramas que efetuarão a krigagem para predizer valores em locais não amostrados e para otimizar malhas de amostragem. Citando ainda Faraco et al. (2008), o autor argumenta que dentre vários métodos de avaliação dos ajustes estudados, o da Validação Cruzada foi o mais adequado para escolha do melhor ajuste do modelo de variabilidade espacial, proporcionando assim, mapas temáticos mais acurados.

A seleção dos modelos se deu através do maior valor de VC e de R^2, corroborando com Faraco et al 2008, na qual foi estimado o modelo exponencial para todas as variáveis, com exceção das que apresentaram efeito pepita puro, uma vez que para essas variáveis, o modelo esférico apresentava valor de R^2 maior e de VC menor, enquanto que no modelo exponencial o valor de R^2 se saia menor e de VC maior, ocorrendo a optação por este modelo para todas as variáveis justamente pela fator acuracidade ser maior.

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

Parâmetros	RP	Ds	Us (vol)	Macro	Micro	PT
			0,0-0,05 m			
Modelo	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.
[1](C_0)	0,0001	0,00001	0,01	0,01	0,01	0,01
[2](C_0+C_1)	0,1302	0,0099	20,60	28,88	16,02	23,50
[3]a (m)	18,10	12,00	11,50	13,00	12,50	13,00
[4]R^2	0,79	0,92	0,905	0,965	0,965	0,876
[5]GDE (%)	0,07	0,10	0,04	0,03	0,06	0,04
[6]VC%	1,000	0,998	0,719	0,984	0,624	0,933
			0,05-0,10 m			

Modelo	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.
[1](C_0)	0,0001	0,00001	0,01	0,20	0,01	0,01
[2](C_0+C_1)	0,877	0,00616	21,40	19,90	17,80	10,99
[3]a (m)	14,05	18,10	10,80	9,50	13,00	11,50
[4]R^2	0,877	0,943	0,937	0,719	0,847	0,862
[5]GDE (%)	0,01	0,16	0,04	1	0,05	0,09
[6]VC%	1,000	1,000	0,926	0,884	0,651	0,990
			0,10-0,20 m			
Modelo	Exp.	Exp.	EPP	Exp.	EPP	Exp.
[1](C_0)	0,0001	0,00001	-	0,01	-	0,01
[2](C_0+C_1)	0,1102	0,0094	-	23,23	-	16,72
[3]a (m)	20,10	25,50	-	13,50	-	20,80
[4]R^2	0,777	0,983	-	0,921	-	0,928
[5]GDE (%)	0,09	0,10	-	0,04	-	0,06
[6]VC%	1,000	1,000	-	0,885	-	1,000
			0,20-0,30 m			
Modelo	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.
[1](C_0)	0,0001	0,00001	0,01	0,10	0,01	0,01
[2](C_0+C_1)	0,0992	0,00616	22,50	22,00	17,50	12,14
[3]a (m)	13,30	18,10	10,50	10,00	12,80	12,45
[4]R^2	0,859	0,943	0,922	0,706	0,849	0,831
[5]GDE (%)	0,1	0,16	0,04	0,45	0,05	0,08
[6]VC%	0,941	1,000	1,000	0,847	0,659	1,000

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; [1]C_0: efeito pepita; [2]C_0+C_1: patamar; [3]a: alcance (m); [4]R^2: coeficiente de determinação; [5]GDE%: grau de dependência espacial e; [6] VC: validação cruzada.

4.1.3 Estabilidade de agregados do solo:

Na tabela 5 são amostrados os resultados da análise de estatística descritiva dos atributos da estabilidade de agregados. Através das medidas de tendência centrais (média e mediana) observa-se a proximidade destes valores, indicando a sua aproximação para uma distribuição normal de dados, o qual pode ser confirmado pelos valores de assimetria próximos de zero.

Os valores de DMG variaram entre 2,50 e 2,67mm e houve redução de acordo com o aumento da profundidade. Já o DMP variou de 2,50 a 3,12mm para a camada 0,10-0,20m e 0,00-0,05m respectivamente. Os valores de agregados na classe >2mm variaram de 72,94 à 88,84% e também houve redução dos valores de acordo com o aumento da profundidade. Já os valores de agregados na classe <2mm variaram de 11,15 à 27,06% e houve, ao contrário

de DMG e classe >2mm, aumento dos valores de acordo com o aumento da profundidade.

Através do CV% da tabela 5, e utilizando-se do método de classificação de variáveis do solo proposto por Warrick & Nielson (1980), pode-se fazer uma inferência sobre a variabilidade de agregados do solo. Nota-se que o DMG apresenta valores de CV% em torno de 16,85 e 18,87mm, o DMP têm valores variando entre 8,05 e 19,96mm, a classe de agregados >2mm está variando em torno de 8,87 e 16,32% e, a classe de agregados <2mm apresenta valores entre 35,57 e 74,69%. Portanto, diz-se assim que, DMG apresenta moderada variabilidade, DMP e classe >2mm têm baixa e média variabilidade, e a classe <2mm mostra-se com alta e média variabilidade.

Através do método classificatório proposto por Nogueira (2007), conforme citado anteriormente, na qual se permite classificar a representatividade de atributos através do CV%, pode-se afirmar que os atributos DMG, DMP e classe de agregados >2mm apresentaram série homogênea com média podendo ser utilizada como representativa da série de onde foi obtida. No entanto, a classe de agregados <2mm apresentou série de dados de heterogênea à muito heterogênea com pouca ou nenhuma representatividade pela média, respectivamente.

Tabela 5: Estatística descritiva dos atributos da estabilidade de agregados em várias profundidades em área de TPA sob cacau na região de Manicoré, AM.

Estatística Descritiva	DMG	DMP	>2mm	<2mm
	---------- mm ----------		---------- % ----------	
	---------- Profundidade 0,00-0,05 m ----------			
Média	2,67	3,12	88,84	11,15
Mediana	2,67	3,14	90,52	9,48
Máximo	3,90	3,82	99,93	44,96
Mínimo	1,32	2,08	55,03	0,07
[1]DP	0,50	0,25	7,88	7,88
Variância	0,25	0,06	62,08	62,08
[2]CV%	18,87	8,05	8,87	70,64
Assimetria	-0,34	-1,14	-1,70	1,70
Curtose	0,91	4,10	4,09	4,09
[3]d	0,08*	0,15	0,15	0,15
	---------- Profundidade 0,05-0,10 m ----------			
Média	2,55	2,99	84,11	15,89
Mediana	2,54	3,04	86,66	13,34
Máximo	3,92	3,50	99,29	94,77

Mínimo	1,25	1,58	5,23	0,71
[1]DP	0,44	0,26	11,87	11,87
Variância	0,20	0,06	140,80	140,80
[2]CV%	17,51	8,66	14,11	74,69
Assimetria	0,02	-2,09	-3,71	3,71
Curtose	0,61	9,18	21,85	21,85
[3]d	0,05*	0,11	0,16	0,16
	---------- Profundidade 0,10-0,20 m ----------			
Média	2,57	2,50	75,57	24,43
Mediana	2,63	2,61	75,36	24,64
Máximo	3,52	3,98	98,81	96,57
Mínimo	1,28	1,26	3,43	1,19
[1]DP	0,43	0,50	12,33	12,33
Variância	0,18	0,25	152,04	152,04
[2]CV%	16,85	19,96	16,32	50,48
Assimetria	-0,65	-0,36	-2,24	2,24
Curtose	0,06	0,34	12,46	12,46
[3]d	0,10	0,09*	0,12	0,12
	---------- Profundidade 0,20-0,30 m ----------			
Média	2,50	2,53	72,94	27,06
Mediana	2,57	2,62	72,56	27,44
Máximo	3,75	3,89	95,43	63,50
Mínimo	1,15	1,39	36,51	4,57
[1]DP	0,45	0,46	9,63	9,63
Variância	0,20	0,21	92,68	92,68
[2]CV%	18,15	18,22	13,20	35,57
Assimetria	-0,25	-0,20	-0,42	0,42
Curtose	0,23	-0,04	1,81	1,81
[3]d	0,09*	0,10	0,05*	0,05*

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; porcentagem dos agregados retidos nos tamanhos de classe >2mm e na classe <2mm; [1]DP: desvio padrão; [2]CV: coeficiente de variação; [3]d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov; *significativo a 5 % de probabilidade.

Em relação à normalidade dos dados, os atributos foram significativos ao teste de Kolmogorov-Smirnov, indicando normalidade para todos os atributos estudados. A curtose variou de -0,04 para 21,85, indicando que a distribuição de dados encontra-se mais achatada do que o normal para o DMG, uma vez que autores asseguram que um valor ideal de curtose é 3, e o DMP, classe de agregados >2mm e <2mm apresentam oscilando entre uma distribuição mais afunilada e mais achatada de acordo com a camada. A assimetria dos dados mostra-se próxima de zero, indicando uma distribuição de dados próxima à de uma normal. A classe de agregados <2mm apresentou assimetria forte à direita,

enquanto que a classe de agregados >2mm, DMG e DMP apresentaram assimetria à esquerda (negativa) com exceção do DMG na camada de 0,05-0,10m que apresentou valor de coeficiente 0,02, indicando uma distribuição quase simétrica dos dados para esta camada.

Seguindo na tabela 6, têm-se os resultados da analise geoestatística. Os resultados dos valores de coeficiente de determinação (R^2 %) e validação cruzada (VC %) foram muito superiores a 0,650, indicando que os ajustes dos modelos estão acurados e que a obtenção dos mapas de distribuição espacial por meio da krigagem será feita de forma confiável.

Os valores do grau de dependência espacial (GDE) variaram todos em torno de zero com exceção unanime da classe de agregados na camada de 0,20-0,30m que apresentou valor de 15,33%. Cambardella et al. (1994) propõe seu método de análise do GDE através da razão de porcentagem entre o efeito pepita e o patamar (C0/(C0+C1).100), na qual são considerados de dependência espacial fraca quando GDE é > 75%, dependência espacial moderada para GDE entre 25 e 75% e, dependência espacial forte para GDE ≤ 25% do patamar. Deste mesmo modo, todas variáveis apresentaram estrutura de dependência espacial forte.

Tabela 6: Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas dos atributos da estabilidade de agregados em diferentes profundidades em uma área de TPA sob cacau na região de Manicoré, AM.

Parâmetros	DMG (mm)	DMP (mm)	>2mm (%)	<2mm (%)
	0,00-0,05 m			
Modelo	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.
[1](C_0)	0,0001	0,0001	0,10	0,10
[2](C_0+C_1)	0,20	0,051	48,50	47,20
[3]a (m)	14,80	12,20	14,00	13,00
[4]R^2	0,947	0,845	0,875	0,871
[5]GDE (%)	0,05	0,20	0,20	0,21
[6]VC%	0,957	0,950	0,949	0,955
	0,05-0,10 m			
Modelo	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.
[1](C_0)	0,0001	0,0001	0,10	0,10
[2](C_0+C_1)	0,1742	0,0397	53,00	50,31
[3]a (m)	23,50	24,20	15,00	13,80

[4]R^2	0,908	0,984	0,959	0,974
[5]GDE (%)	0,05	0,25	0,18	0,19
[6]VC%	1,000	1,000	0,851	0,873
		0,10-0,20 m		
Modelo	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.
[1](C_0)	0,0001	0,001	0,10	0,10
[2](C_0+C_1)	0,2122	0,1866	70,00	74,30
[3]a (m)	53,10	38,00	11,00	11,00
[4]R^2	0,969	0,769	0,870	0,867
[5]GDE (%)	0,04	0,53	0,14	0,13
[6]VC%	0,989	0,969	0,793	0,914
		0,20-0,30 m		
Modelo	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.
[1](C_0)	0,0001	0,0001	11,50	0,10
[2](C_0+C_1)	0,1762	0,040	75,00	75,17
[3]a (m)	20,70	16,20	13,20	22,00
[4]R^2	0,924	0,898	0,848	0,955
[5]GDE (%)	0,05	0,25	15,33	0,13
[6]VC%	1,000	1,000	1,000	1,000

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Exp.: Exponencial; [1]C_0: efeito pepita; [2]C_0+C_1: patamar; [3]a: alcance (m); [4]R^2: coeficiente de determinação; [5]GDE%: grau de dependência espacial; [6] VC: validação cruzada.

O alcance apresentou diferentes valores entre os atributos, estando em torno de 11,00 e 53,10m. Estes valores dos alcances relativos aos 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 (Souza et al., 2004).

4.2 Terra Preta de Índio Sob Cultivo de Café

4.2.1 Textura:

Através dos resultados da análise descritiva (tabela 7), da fração granulométrica, verifica-se a dominância da fração silte muito superior à da fração areia, apresentando uma textura siltosa. Santos et al. (2013) realizando caracterização de TPAs no sul do Amazonas obtiveram resultados semelhantes, na qual todos os perfis de P2 à P7 apresentaram dominância da fração silte no horizonte antrópico com exceção da trincheira P1 que apresentou maior fração de areia. Isto ocorre provavelmente devido ao alto grau de intemperização e uso contínuo do solo. Corroborando também com Aquino et al. (2014) que obtém

dominância da fração silte e argila em solo antropogênico em estudo com variabilidade espacial de solos antropogênicos e não-antropogênicos no sul do

Estatística Descritiva	Areia	Silte	Argila
	----------g kg^{-1}----------		
	----------Profundidade 0,00-0,05 m----------		
Média	364,65	617,37	17,98
Mediana	367,44	614,87	17,13
Máximo	442,39	706,30	78,60
Mínimo	276,63	515,55	11,36
[1]DP	34,70	35,03	6,99
Variância	1204,10	1227,09	48,82
[2]CV%	9,52	5,67	38,86
Assimetria	-0,13	-0,09	7,67
Curtose	-0,08	0,29	66,72
[3]d	0,05*	0,05*	0,26

Amazonas.

Através dos limites de coeficiente de variação propostos por Warrick & Nielsen (1980), que propõe um padrão para classificação de variáveis do solo, diz-se que estes atributos texturais apresentaram baixa variabilidade para areia e silte, e média para argila. Assim, de acordo com Nogueira (2007), os atributos texturais areia e silte apresentam série homogênea indicando que esta é representativa de onde foi obtida. Já a argila apresenta série heterogênea com pouca representatividade uma vez que apresentou CV% acima de 35%.

O coeficiente de assimetria é usado para indicar quanto e como a distribuição de frequências se afasta da simetria. Valores de assimetria iguais a zero indicam que a distribuição é simétrica; se for positivo, a distribuição é assimétrica à direita e se for negativo, é assimétrica à esquerda (Lopes et al., 2013). Visto isso, os atributos texturais areia e silte apresentaram assimetria à esquerda, enquanto que a argila apresenta forte assimetria à direita com valor acima de 7.

Tabela 7: Estatística descritiva da textura do solo na profundidade de 0,0-0,05 em área de TPA sob o uso de café no município de Manicoré, AM.

[1]DP: desvio padrão; [2]CV: coeficiente de variação; [3]d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov; *significativo a 5 % de probabilidade.

A curtose significa o grau de achatamento de uma distribuição em relação à distribuição normal. O valor de curtose deve se aproximar de 3 para assumir que os dados seguem uma distribuição normal. Logo, as variáveis areia e silte apresentaram distribuição de dados mais achatada do que uma distribuição normal, apesar de os coeficientes de assimetria estarem próximos de zero. Já a argila apresenta um valor anômalo de curtose, com valor de 66, 72 indicando distribuição de dados muito mais alongada que o normal.

Quanto ao teste de normalidade (K-S) dos dados, que fornece o parâmetro valor de prova (valor-p, p-value ou significância), foram realizados com grau de confiança de 95%, isto é, a maioria das variáveis são significativas ao nível de 5% de probabilidade, estando coerentes com os valores de assimetria e curtose e, significando que a distribuição dos dados das variáveis texturais estão normais (Lopes et al., 2013).

Na tabela 8 são apresentados os parâmetros dos semivariogramas ajustados que melhor descrevem a distribuição espacial dos atributos texturais. Os valores de validação cruzada (VC) e coeficiente de determinação (R^2) são superiores a 0,8 para as variáveis, com exceção da argila que apresentou valor do R^2 de 0,418, indicando a acuracidade do ajuste dos semivariogramas e interpolação dos dados pela krigagem resultam em ótimos mapas de distribuição dos atributos texturais.

Em relação ao grau de dependência espacial (GDE), todas as variáveis se situam entre 0 a 25% do patamar (Cambardella et al., 1994), apresentando GDE forte com valores próximos do zero absoluto. Todas as variáveis se sobressaíram melhor no modelo exponencial haja vista que no modelo esférico o R^2 aumenta, no entanto, a VC diminui e vice-versa.

O alcance (*a*) é o marco da dependência espacial entre os pontos amostrais. Portanto, na tabela 8, a variável com maior alcance de dependência espacial é a areia com valor de 26,25m. Isto significa que todas as amostras estão correlacionadas e dependentes umas das outras a cada 26,25m de

distância. Assim, este valor será utilizado como intervalo de distância entre as unidades de solos a serem mapeadas (WEBSTER, 2000).

Tabela 8: Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais dos atributos granulométricos do solo em área de TPA sob uso de café na região de Manicoré, AM.

Parâmetros	Parâmetro dos Semivariogramas		
	Areia	Silte	Argila
	Profundidade 0,00-0,05 m		
Modelo	Exp.	Exp.	Exp.
Efeito Pepita (C^0)	0,05	0,05	0,01
Patamar ($C^0 + C^1$)	1163	1314	6,46
Alcance (a)	26,25	18,75	17,2
[1]GDE %	0,004	0,003	0,15
[2]R^2	0,89	0,98	0,418
[3]VC	1,000	1,000	1,000

Exp.: Exponencial; [1]GDE%: grau de dependência espacial; [2]R^2: coeficiente de determinação; [3]VC: validação cruzada.

4.2.2 Densidade do solo, resistência do solo à penetração, macroporosidade, microporosidade, volume total de poros e umidade volumétrica do solo:

A estatística descritiva dos atributos físicos do solo são apresentados na tabela 9, estes valores indicam que as medidas de tendência central estão bem próximos um do outro, apresentando-se ou aproximando-se de uma distribuição normal (Little & Hills, 1978). Assim como também na primeira profundidade observa-se normalidade indicada também pela assimetria próxima de zero.

A resistência do solo à penetração (RP) integra os efeitos da densidade e da umidade nas condições físicas do solo necessárias para o crescimento das raízes (Tormena et al., 2002). Andrade et al. (2013) estimando a resistência do solo à penetração baseada no índice S (qualidade física do solo) e no estresse efetivo, assegura que valores de RP ≤ 1,26 Mpa indicam ausência de restrição à penetração do solo pelas raízes, e valores de RP ≥1,9 Mpa são indicadores de

solos compactados. Deste modo, todas as profundidades estudadas apresentam boa condição de penetração do solo pelas raízes visto que o maior valor encontrado foi de 1,53 Mpa (tabela 9), situado na camada mais profunda de 0,20-0,30m. Este maior valor ocorre devido ao aumento da compactação do solo (Ds), diminuição da umidade (Us) e de volume de macroporos em função da profundidade.

Campos et al. (2012) caracterizando física e quimicamente TPAs e SNA argumenta que os valores de densidade do solo (Ds) tendem a aumentar com a profundidade, fato que se comprova na tabela 9, pois os valores aumentam de 1,10 para 1,11; 1,20 e; 1,27 Mg m^{-3}, respectivamente com o aumento da profundidade. Resultados semelhantes também foram encontrados por Santos et al. (2013) caracterizando TPAs no sul do estado do Amazonas, na qual encontra valores baixos de Ds e observa seu aumento de acordo com o aumento da profundidade. Estes menores valores da densidade do solo podem ser atribuídos ao intenso revolvimento do solo, à incorporação dos resíduos culturais (materiais cerâmicos) e ao alto conteúdo de matéria orgânica (Hill, 1990).

Na umidade volumétrica do solo foram verificados que este variou de 3,77 m^3m^{-3} para 5,47 m^3m^{-3}, havendo redução desta de acordo com o aumento da profundidade. Segundo Teixeira et al. (2009) a água é a variável mais intensamente estudada uma vez que a variação da umidade pode reduzir o crescimento de plantas através da porosidade de aeração (PA) ou por valores elevados de RP (escassez de água). Notou-se que em todas as profundidades os valores estão próximos um do outro, não interferindo na análise de RP que é altamente influenciada pela umidade (Souza et al., 2004).

Os valores da macroporosidade apresentados na tabela 9 são muito superiores a 0,10 m^3 m^{-3} que é o considerado o mínimo adequado para desenvolvimento satisfatório do sistema radicular de plantas. Assim, os valores encontrados estão muito altos para as todas as profundidades, significando que há ótima condição para desenvolvimento para de raízes neste solo.

Quanto à microporosidade, para Kiehl (1979) um solo ideal é aquele que apresenta 2/3 de microporos (66%) e 1/3 para macroporos em relação à porosidade total, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho,

em que todas as profundidades o valor de micro está representando 2/3 da parcela correspondente a 2/3 da porosidade total com exceção da camada 0,10-0,20m que não está representando totalmente esta parcela.

A porosidade total (PT) variou entre 53,74 m^3m^{-3} e 59,64 $m^3 m^{-3}$ estando muito acima do mínimo necessário para bom desenvolvimento radicular. Observa-se também que houve redução da PT com o aumento da profundidade como mostra a tabela 9, comportamento esperado pelo fato do adensamento do solo aumentar também com a profundidade e redução de poros no solo.

Estes valores estão muito acima do mencionado por Kiehl (1979) que diz que a porosidade ideal para uma produção agrícola seja de 0,50 m^3 m^{-3}, podendo-se dizer então que este solo é bastante poroso a fim de promover diferentes efeitos sobre a dinâmica de variadas espécies de sistemas radiculares. Estes poros, provavelmente, são provenientes de restos de ossos humanos e de animais além de fragmentos cerâmicos, resultando em mais intensa atividade biológica e elevados teores de matéria orgânica.

Tabela 9: Estatística descritiva dos atributos físicos do solo em diferentes profundidades em uma área de TPA sob café na região de Manicoré, AM.

Estatística Descritiva	RP	Ds	Us (vol)	Macro	Micro	PT
	MPa	Mg m^{-3}	---------- m^3m^{-3} ----------			
			0,00-0,05 m			
Média	1,19	1,10	5,47	22,16	37,47	59,64
Mediana	1,09	1,09	4,96	22,58	37,47	59,74
Máximo	2,40	1,42	14,70	29,83	48,22	68,99
Mínimo	0,41	0,80	2,70	11,77	23,87	47,59
[1]DP	0,44	0,12	2,07	4,62	2,97	4,56
Variância	0,19	0,01	4,28	21,38	8,83	20,79
[2]CV%	37,07	10,90	37,84	20,86	7,93	7,65
Assimetria	0,55	0,21	1,95	-0,41	-0,31	-0,37
Curtose	-0,12	0,47	5,38	-0,50	6,10	-0,22
[3]d	0,09*	0,06*	0,14	0,07*	0,10	0,09*
			0,05-0,10 m			
Média	1,16	1,11	4,22	18,84	38,92	57,77
Mediana	1,12	1,17	3,99	18,85	38,19	57,60
Máximo	3,05	1,43	14,70	28,90	49,59	75,39
Mínimo	0,00	0,00	0,67	6,38	33,16	48,19
[1]DP	0,44	0,27	1,67	5,08	3,79	4,90
Variância	0,20	0,07	2,77	25,84	14,39	24,09

[2]CV%	38,70	24,60	39,44	26,97	9,75	8,50
Assimetria	1,24	-3,04	2,99	-0,15	1,10	0,58
Curtose	4,14	10,50	17,34	-0,45	0,88	0,76
[3]d	0,12	0,22	0,15	0,07*	0,14	0,08*
			0,10-0,20 m			
Média	1,29	1,20	4,11	22,16	38,42	55,03
Mediana	1,27	1,23	3,84	22,58	38,20	54,73
Máximo	2,21	1,45	12,38	29,83	49,40	69,58
Mínimo	0,48	0,00	0,00	11,77	33,77	47,01
[1]DP	0,43	0,23	1,84	4,62	2,82	4,63
Variância	0,19	0,05	3,37	21,38	7,97	21,44
[2]CV%	34,01	19,10	44,63	20,86	7,35	8,41
Assimetria	0,19	-3,36	1,05	-0,41	1,16	0,45
Curtose	-0,74	15,82	6,70	-0,50	2,58	0,01
[3]d	0,09*	0,15	0,14	0,07*	0,09*	0,06*
			0,20-0,30 m			
Média	1,53	1,27	3,77	13,89	39,85	53,74
Mediana	1,47	1,31	3,35	12,63	39,35	52,48
Máximo	3,52	1,53	14,78	26,65	74,42	83,32
Mínimo	0,24	0,00	0,00	5,57	33,21	43,96
[1]DP	0,60	0,18	2,18	5,07	4,93	5,36
Variância	0,36	0,03	4,75	25,80	24,31	28,73
[2]CV%	39,15	14,84	57,81	36,57	12,37	9,97
Assimetria	0,76	-3,62	0,75	0,75	4,06	2,21
Curtose	0,81	22,80	12,46	-0,10	27,13	9,67
[3]d	0,07*	0,12	0,22	0,10	0,14	0,13

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; [1]DP: desvio padrão; [2]CV: coeficiente de variação; [3]d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov; *significativo a 5 % de probabilidade.

Conforme classificação do coeficiente de variação (CV%) proposto por Warrick & Nielsen (1980), notou-se que as variáveis apresentaram baixa variabilidade apenas para microporosidade e porosidade total, que variou de 7,35 para 12,37 m^3 m^{-3} na microporosidade, e 7,75 para 9,97 m^3 m^{-3} na porosidade total. E média variabilidade para as demais variáveis físicas do solo. Observa-se também que a resistência à penetração de raízes (RP) e umidade volumétrica do solo (Us) apresentaram em quase todas as profundidades CV% acima de 35%, na qual Nogueira (2007) propõe que um coeficiente de variação acima de 35% revela que série é heterogênea e sua média é pouco representatividade. Enquanto que a densidade do solo (Ds), Macro, Micro e PT apresentaram CV% abaixo de 35%, com exceção para Macro na profundidade

de 0,20-0,30m, indicando que a série amostral é homogênea e média é significativa.

Quanto ao teste de normalidade, todas as variáveis foram significativas ao teste de Kolmogorov-Smirnov. Os valores estão coerentes com os de assimetria e curtose indicando uma distribuição de dados próximos à de uma distribuição normal.

A tabela 10 apresenta os resultados da análise geoestatística dos atributos físicos do solo. A partir da análise do grau de dependência espacial proposta por Cambardella et al. (1994), na qual se consiste da razão de porcentagem entre o efeito pepita e o patamar dos semivariogramas ajustados, verifica-se que todas as variáveis apresentaram estrutura de dependência espacial forte (≤25%), variando entre 0,03 e 6,66. Souza et al. (2001) sugere que quando a dependência espacial for forte, deve-se utilizar o alcance destes atributos para as futuras amostragens, citando McBratney & Webster (1983) o autor indaga ainda que o alcance é importante na definição da ótima intensidade de amostragem, visando reduzir o esforço de trabalho e o erro-padrão da média, além de aumentar a representatividade da amostra.

A umidade volumétrica do solo (Us) apresentou em sua camada mais profunda (0,20-0,30m) coeficiente de determinação (R^2) e de regressão (VC) muito abaixo de 0,500, o que o torna inadequado para interpolação de dados pela krigagem e não representativo como semivariograma ajustado, sendo considerado então, como efeito pepita puro (EPP). Deste modo, não há dependência espacial para Us, ou seja, as amostras não apresentam continuidade espacial para alcances menores que o espaçamento utilizado neste estudo, no caso 8 m.

O alcance variou (tabela 10) entre 9,22m e 43,0m sendo superior ao valor de espaçamento utilizado nas malhas amostrais na qual foram de 8m, indicando que as amostras estão correlacionadas espacialmente e que há continuidade espacial dentro do alcance destas variáveis de ponto para ponto. Relacionando os valores do alcance da dependência espacial em ordem crescente na camada mais superficial verificam-se os seguintes valores para os atributos físicos do solo: microporosidade, 11,00m; umidade volumétrica do solo, 11,92m;

resistência à penetração, 33,00m; macroporosidade, 35,00m; densidade do solo, 40,00m e; porosidade total, 43,00m. Valores assim estão de acordo com pesquisas de Souza et al. (2001), Mendes et al. (2008), Marasca et al. (2011) e Aquino et al. (2014) em estudos com TPAs e SNA.

O alcance fornece ainda informações que poderão ser usadas para aplicações de técnicas de manejo mais específicas e de maior precisão nestes ambientes, assim como a possibilidade de fazer uma leitura mais detalhada do comportamento das propriedades do solo conforme o uso. Desta maneira, pode favorecer o melhor uso do solo e a sua melhor sustentabilidade para a manutenção e conservação destes ambientes Aquino et al. (2014).

Em relação aos valores do coeficiente de determinação (R^2) observa-se uma grande variação da acuracidade deste parâmetro geoestatístico, que está entre 0,445 para umidade volumétrica (Us) na profundidade de 0,20 à 0,30m e 0,935 para resistência à penetração na profundidade 0,00 à 0,05m. Valores baixos de R^2 menores que 0,600 para Us e Ds na 3ª profundidade são de baixa confiança para garantia de uma interpolação de dados que possam gerar mapas de krigagem de boa qualidade, apesar de possuírem bom coeficiente de regressão representado pela validação cruzada (VC). As demais variáveis apresentam valor de R^2 maior que 0,650, possibilitando a obtenção de mapas de distribuição espacial dos atributos com qualidade.

Tabela 10: Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas dos atributos físicos do solo em diferentes profundidades em uma área de terra preta arqueológica sob café na região de Manicoré, AM.

Parâmetros	RP	Ds	Us (vol)	Macro	Micro	PT
			0,00-0,05 m			
Modelo	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.	Esp.
[1](C_0)	0,01	0,00034	0,01	0,05	0,009	0,09
[2](C_0+C_1)	0,19	0,013	2,30	21,20	5,22	21,22
[3]a (m)	33,00	40,00	11,92	35,00	11,00	43,00
[4]R^2	0,935	0,686	0,694	0,848	0,863	0,719
[5]GDE (%)	5,26	2,61	0,43	0,23	0,17	0,42
[6]VC%	0,943	0,876	1,000	0,826	0,793	0,736
			0,05-0,10 m			
Modelo	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.
[1](C_0)	0,005	0,0003	0,010	0,009	0,01	0,01
[2](C_0+C_1)	0,17	0,015	1,33	25,77	11,34	18,72

[3]a (m)	36,00	17,40	25,60	20,20	33,50	14,20
[4]R^2	0,709	0,923	0,848	0,893	0,731	0,844
[5]GDE (%)	2,94	2,02	0,75	0,03	0,08	0,05
[6]VC%	0,756	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
			0,10-0,20 m			
Modelo	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.
[1](C_0)	0,0009	0,0001	0,001	0,01	0,09	0,01
[2](C_0+C_1)	0,16	0,02	1,67	23,75	6,80	17,22
[3]a (m)	9,22	11,50	13,70	15,35	15,30	14,30
[4]R^2	0,445	0,613	0,927	0,819	0,771	0,854
[5]GDE (%)	0,55	0,54	0,05	0,04	1,32	0,05
[6]VC%	1,000	0,755	1,000	1,000	0,700	1,000
			0,20-0,30 m			
Modelo	Exp.	Exp.	EPP	Exp.	Exp.	Exp.
[1](C_0)	0,01	0,001	-	0,01	0,50	0,01
[2](C_0+C_1)	0,23	0,015	-	22,26	9,99	17,57
[3]a (m)	12,45	11,62	-	14,80	35,00	25,35
[4]R^2	0,819	0,732	-	0,771	0,832	0,884
[5]GDE (%)	4,34	6,66	-	0,04	5,00	0,05
[6]VC%	0,819	0,732	-	1,000	0,751	1,000

RP: resistência do solo a penetração; Ds: densidade do solo; Us (vol): umidade volumétrica do solo; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; PT: porosidade total; Exp.: Exponencial; EPP: efeito pepita puro; [1]C_0: efeito pepita; [2]C_0+C_1: patamar; [3]a: alcance (m); [4]R^2: coeficiente de determinação; [5]GDE%: grau de dependência espacial; [6] VC: validação cruzada.

Os valores da validação cruzada (VC) estão variando entre 0,700 e 1,000 para Micro e demais variáveis respectivamente, apresentando-se ajustados satisfatoriamente para os semivariogramas e geração de mapas de krigagem de forma confiável. A umidade do solo foi a única variável a apresentar nível de acuracidade (VC) com 100% de precisão (0,100) com o aprofundamento do solo, com exceção da ultima profundidade de 0,20m à 0,30m em que foi considerada como efeito pepita puro (EPP).

Em geral o modelo matemático ajustado aos semivariogramas para a maioria das variáveis foi o exponencial, com exceção para Us na profundidade 0,20-0,30m que apresentou EPP. Fato que ocorre devido ao modelo se sobressair melhor em relação à validação cruzada do que o esférico, apesar de que o esférico se sobressaia melhor em relação ao coeficiente de determinação.

Estes resultados são importantes para se fazer um planejamento experimental em área a ser estudada, levando-se em consideração nas propostas de manejo, estes valores encontrados, corroborando na determinação

do número de pontos que devem ser amostrados para se atingir melhor representatividade.

4.2.3 Estabilidade de agregados do solo:

Conforme a tabela 11, observa-se que os resultados da estatística descritiva para os atributos da estabilidade de agregados DMG, DMP, >2mm e <2mm mostraram-se eficientes de acordo com as medidas de tendências centrais e de dispersão. A média e mediana apresentam-se bem próximos para DMG e DMP, o que significa que os dados apresentam ou se aproximam de uma distribuição normal. Enquanto que para >2mm e <2mm já se observa valores um pouco mais distantes como, por exemplo, 11,96% para média e 9,78% para mediana na profundidade 0,05 à 0,10m. Assim como também 76,94% para média e 81,59% para mediana na profundidade 0,20 à 0,30m. Resultados assim indicam a baixa representatividade das amostras coletadas em campo para essas duas variáveis, fato que se comprova pelos altos valores de coeficiente de variação.

Os valores de DMG e DMP variaram entre 2 e 3, e DMP apresentou valores maiores que DMG para todas as profundidades, isto se deve provavelmente por que o DMG apresenta uma estimativa da classe de agregados de maior ocorrência, enquanto que o DMP aumenta de acordo com o aumento da porcentagem de agregados grandes.

Em relação ao CV, na tabela 11 observa-se que os valores variaram entre 6,27 para DMP e 21,90 para DMG na camada 0,10-0,20m e 0,20-0,30m respectivamente. Já as classes de agregados >2mm e <2mm apresentaram CV variando entre 9,91 para >2mm na camada 0,00-0,05m, e 73,72 para <2mm na camada 0,05-0,10m. Verifica-se também que a classe <2mm apresentou os maiores CV em todas as profundidades. Warrick & Nielson (1980) estabelecem limites para classificação das variáveis do solo, de modo que, CV < 12% para baixa, CV entre 12% e 60% para média e, CV >60% para alta variabilidade, respectivamente. Deste modo, pode-se dizer que os atributos apresentaram baixa variabilidade para DMP com exceção da ultima profundidade, moderada

variabilidade para DMG, baixa e moderada variabilidade para a classe >2mm e, alta variabilidade para a classe <2mm.

De acordo com estudo realizado por Nogueira (2007), na qual o autor conclui valores para classificar a representatividade de atributos, pode-se mencionar que as variáveis DMG, DMP, e classe >2mm apresentaram-se homogêneos com média bem representativa da série de onde foi extraída. Mas a classe <2mm apresentou-se muito heterogênea com significado algum da série, com exceção da camada 0,10-0,20 que mostrou-se heterogênea e média com pouca representatividade. Essa classificação permite a decisão de utilizar ou não a série de dados, visto a capacidade da média de cada atributo físico de representar ou não sua distribuição através de limites propostos pelo coeficiente de variação.

Tabela 11: Estatística descritiva dos atributos da estabilidade de agregados em diferentes profundidades em área de TPA sob café na região de Manicoré, AM.

Estatística Descritiva	DMG	DMP	>2mm	<2mm
	---------- mm ----------		---------- % ----------	
	---------- Profundidade 0,00-0,05 m ----------			
Média	2,74	3,10	90,03	7,38
Mediana	2,78	3,13	91,26	6,09
Máximo	4,03	3,46	102,63	30,58
Mínimo	0,15	1,07	29,60	1,21
[1]DP	0,49	0,27	8,96	4,88
Variância	0,24	0,07	80,29	23,83
[2]CV%	17,85	8,75	9,95	66,13
Assimetria	-1,92	-5,20	-4,15	1,75
Curtose	9,20	36,48	24,71	5,05
[3]d	0,14	0,21	0,19	0,13
	---------- Profundidade 0,05-0,10 m ----------			
Média	2,67	3,04	86,49	11,96
Mediana	2,71	3,07	87,83	9,78
Máximo	4,17	3,37	98,13	52,19
Mínimo	1,26	2,06	44,06	1,72
[1]DP	0,40	0,21	9,01	8,82
Variância	0,16	0,04	81,25	77,78
[2]CV%	14,96	6,87	10,42	73,72
Assimetria	-0,25	-1,98	-2,25	2,22
Curtose	3,13	5,80	6,68	6,09

[3]d	0,09*	0,12	0,16	0,18
	---------- Profundidade 0,10-0,20 m ----------			
Média	2,23	2,88	80,76	15,31
Mediana	2,21	2,91	81,91	13,41
Máximo	3,86	3,31	94,78	64,05
Mínimo	1,31	2,21	50,87	2,01
[1]DP	0,39	0,18	8,00	9,57
Variância	0,15	0,03	64,09	91,54
[2]CV%	17,37	6,27	9,91	62,49
Assimetria	1,40	-0,92	-1,02	2,03
Curtose	5,17	1,86	1,70	7,13
[3]d	0,11	0,08*	0,09*	0,13
	---------- Profundidade 0,20-0,30 m ----------			
Média	2,34	2,83	76,94	20,41
Mediana	2,94	2,94	81,59	16,37
Máximo	3,37	3,25	95,52	71,98
Mínimo	0,05	0,26	4,66	3,88
[1]DP	0,51	0,42	16,52	14,33
Variância	0,26	0,17	272,84	205,32
[2]CV%	21,90	14,90	21,47	70,19
Assimetria	-1,63	-3,39	-2,27	2,04
Curtose	4,37	15,83	5,50	3,99
[3]d	0,14	0,25	0,22	0,20

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; porcentagem dos agregados retidos nos tamanhos de classe >2mm e na classe <2mm; [1]DP: desvio padrão; [2]CV: coeficiente de variação; [3]d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov; *significativo a 5 % de probabilidade.

Quanto à normalidade dos dados, todas as variáveis se saíram significativas ao teste de Kolmogorov-Smirnov, revelando uma distribuição próxima à de uma normal. A curtose apresentou-se variando entre 1,70 e 36,48, isto indica que a distribuição encontra-se nas oscilando em achatada e alongada, visto que um valor ideal de curtose é próximo de 3. Já a assimetria dos atributos não é simétrica para nenhuma das variáveis, mostrando distribuição simétrica à esquerda e pouco simétrica à direita.

Os resultados da análise geoestatística (tabela 12) descrevem o comportamento dos atributos e classes de agregados do solo por meio dos modelos ajustados. Os resultados da validação cruzada foram superiores a 0,65, o que garantem boa interpolação de dados pela krigagem ordinária. Os valores dos coeficientes de determinação também se encontram superiores a

0,65, corroborando esses parâmetros a indicar que os semivariogramas estão bem ajustados, possibilitando bom desempenho na confecção dos mapas de distribuição espacial.

Como se pode observar na tabela 12, todas as variáveis apresentaram dependência espacial com exceção para DMP, >2mm e <2mm na camada 0,20-0,30m que apresentaram condição de EPP (efeito pepita puro), significando que as amostras são independentes para distancias menores que a utilizada neste estudo. Para todas as variáveis se ajustou unicamente o modelo exponencial como o melhor para expressar o comportamento destes atributos.

Utilizando-se da análise do grau de dependência espacial de Cambardella et al. (1994), na qual considera-se como dependência espacial forte os semivariogramas que têm um GDE ≤ 25% do patamar; dependência espacial moderada, quando o GDE está entre 25% e 75%, e dependência fraca, quando o GDE é > 75% do patamar. Portanto, verifica-se que todas as variáveis apresentaram GDE forte (<25%).

Tabela 12: Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas dos atributos da estabilidade de agregados em diferentes profundidades em uma área de TPA sob café na região de Manicoré, AM.

Parâmetros	DMG (mm)	DMP (mm)	>2mm (%)	<2mm (%)
	0,00-0,05 m			
Modelo	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.
[1](C_0)	0,0001	0,00001	0,097	0,01
[2](C_0+C_1)	0,123	0,01782	20,00	13,19
[3]a (m)	13,40	12,30	11,80	21,50
[4]R^2	0,756	0,850	0,924	0,852
[5]GDE (%)	0,08	0,05	0,48	0,07
[6]VC%	1,000	0,895	0,965	1,000
	0,05-0,10 m			
Modelo	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.
[1](C_0)	0,0096	0,003	0,10	0,05
[2](C_0+C_1)	0,1352	0,044	19,39	13,19
[3]a (m)	15,40	16,10	15,00	15,75
[4]R^2	0,904	0,891	0,880	0,930
[5]GDE (%)	7,10	6,81	0,51	0,37
[6]VC%	0,977	1,000	0,975	1,000

		0,10-0,20 m		
Modelo	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.
[1](C_0)	0,009	0,0015	0,08	0,05
[2](C_0+C_1)	0,33	0,026	52,85	59,50
[3]a (m)	13,00	15,80	14,55	12,55
[4]R^2	0,890	0,719	0,835	0,717
[5]GDE (%)	2,72	5,76	0,15	0,08
[6]VC%	0,800	1,000	1,000	1,000
		0,20-0,30 m		
Modelo	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.
[1](C_0)	0,003	-	-	-
[2](C_0+C_1)	0,42	-	-	-
[3]a (m)	28,50	-	-	-
[4]R^2	0,700	-	-	-
[5]GDE (%)	0,71	-	-	-
[6]VC%	0,745	-	-	-

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; porcentagem dos agregados retidos nos tamanhos de classe >2mm e na classe <2mm; Exp.: Exponencial; [1]C_0: efeito pepita; [2]C_0+C_1: patamar; [3]a: alcance (m); [4]R^2: coeficiente de determinação; [5]GDE%: grau de dependência espacial; [6] VC: validação cruzada.

O alcance (tabela 12) variou entre 11,80m e 28,50m estando maior que o espaçamento entre pontos amostrais, e menores que o comprimento máximo limitado pela análise geoestatística, justificando assim o seu grau de dependência espacial. Isto também diz que os pontos estão correlacionados por suas respectivas áreas de alcance, resultando na caracterizando dos atributos físicos. WEBSTER (2000) menciona que estes valores de alcance serão utilizados como intervalo de distancia entre as unidades de solo a serem mapeadas.

4.3 Terra Preta de Índio Sob Cultivo de Pastagem

4.3.1 Textura:

A partir dos valores médios encontrados para as variáveis granulométricas (Tabela 13), 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, encontraram valores granulométricos similares ao deste estudo com teores de areia da ordem de 720 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

Estatística Descritiva	Areia	Silte	Argila
	----------g kg^{-1}----------		
	----------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
[1]DP	42,36	42,07	20,38
Variância	1794,71	1770,19	415,23
[2]CV%	5,95	17,70	40,73
Assimetria	1,17	- 0,66	0,43
Curtose	6,93	4,95	0,68
[3]d	0,08*	0,07*	0,06*

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 13). 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 13: 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.

[1]DP: desvio padrão; [2]CV: coeficiente de variação; [3]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 13), 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 13) 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 14) 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 ≤ 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 14: 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.

	Parâmetro dos Semivariogramas		
	Areia	Silte	Argila
Parâmetros	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	-
[1]GDE %	48	60	EPP
[2]R^2	0,77	0,65	-
[3]VC	0,89	0,91	-

Esf: Esférico; Lin: Linear; EPP: efeito pepita puro; [1]GDE%: grau de dependência espacial; [2]R^2: coeficiente de determinação; [3]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 tem 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.

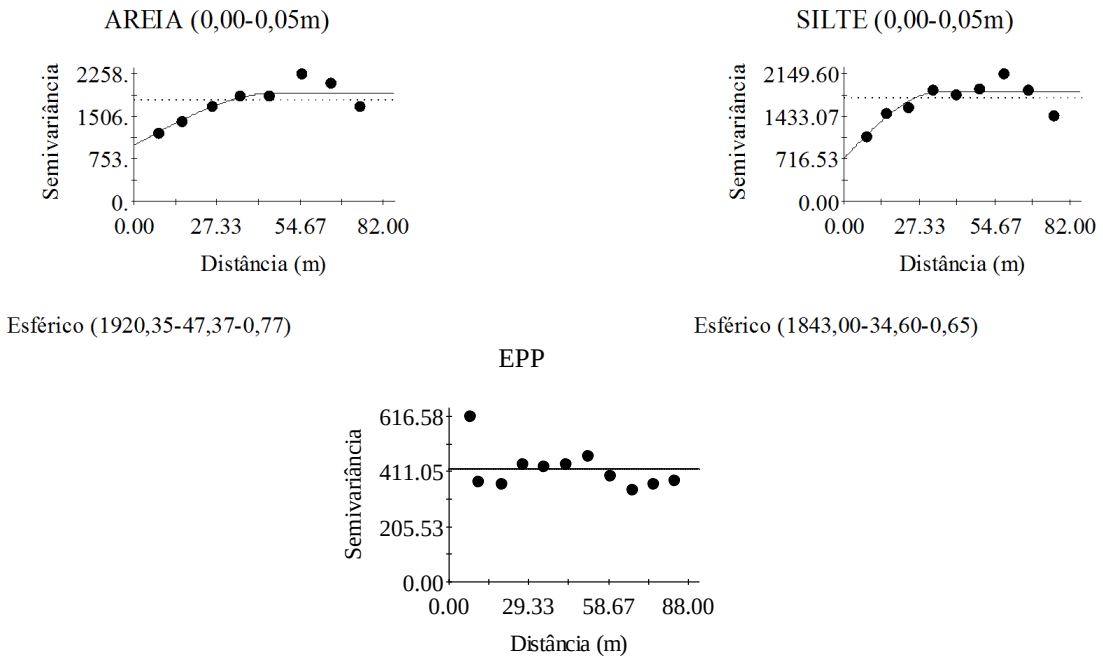

Figura 1. Semivariograma das variáveis de areia, silte e argila na profundidade de 0,0-0,05m em área de TPA sob uso de pastagem na região de Manicoré, Am. Esf; (C_0; a; R^2), Esf = modelo esférico. C_0 = efeito pepita; a = alcance; R^2 = Coeficiente de regressão; EPP = Efeito pepita puro.

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.

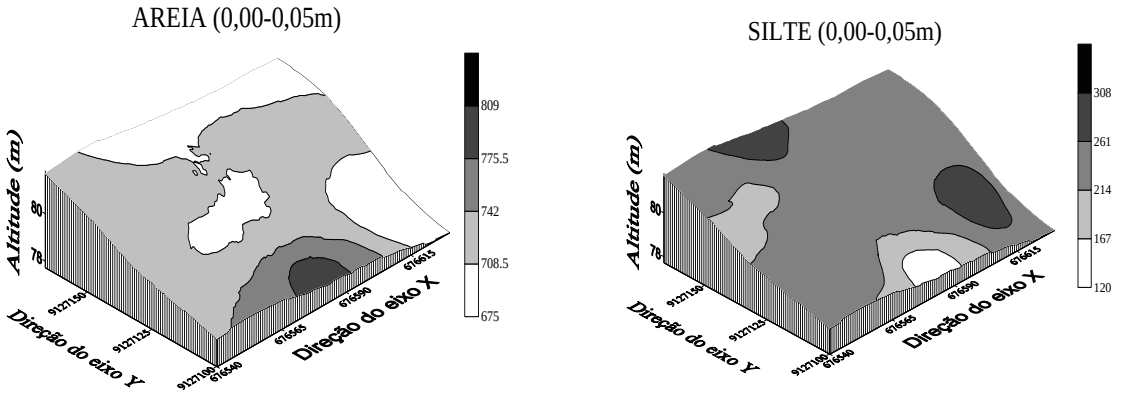

Figura 2: Mapas de krigagem das variáveis de areia e silte na profundidade de 0,0-0,05 m em área de TPA sob uso de pastagem na região de Manicoré, Am.

4.3.2 Densidade do solo, resistência do solo a penetração, macroporosidade, microporosidade, volume total de poros e umidade volumétrica do solo:

Na Tabela 15 são apresentados os resultados da análise descritiva dos atributos físicos do solo. Os valores dos atributos em estudo foram de média e mediana semelhança, 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 15) 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 m^3m^{-3}), quando comparado com as profundidades mais profundas (0,35 m^3m^{-3} para 0,10-0,20m e 0,37 m^3m^{-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 Mg m^{-3} e menor 1,16 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 15: 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^{-3}	----------m^3m^{-3} ----------			
			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
[1]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
[2]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
[1]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
[2]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
[1]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
[2]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
[1]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
[2]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; [1]DP: desvio padrão; [2]CV: coeficiente de variação.

Para a Macro foram observados valores superiores a 0,10 m^3m^{-3} (Tabela 15) apresentando valores entre 0,11 m^3m^{-3} e 0,20 m^3m^{-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 m^3m^{-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 microrganismos. 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 m^3m^{-3}. O valor obtido de 0,11 m^3m^{-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 m^3m^{-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 m^3m^{-3} a 0,46 m^3m^{-3}, e a microporosidade, apresentou valores variando entre 0,26 m^3m^{-3} e 0,27 m^3m^{-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 & Nielsen (1980). Pelos valores de coeficiente de variação, verifica-se que a Ds e PT apresentaram CV de caráter baixo (CV < 12%), Amaro Filho et al. (2007) e Ramirez-Lópes et al. (2008), também encontraram CV baixo para essas variáveis; os demais atributos apresentaram valores de CV classificados como média variação (12%<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 16 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 determinação 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 16: 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
[1](C_0)	0,03	0,0014	0,89	5,37	0,27	0,38
[2](C_0+C_1)	0,27	0,0117	25,56	9,24	6,77	9,14
[3]a (m)	20,40	25,20	15,30	37,60	15,20	13,30
[4]R^2	0,94	0,91	0,83	0,83	0,70	0,82
[5]GDE (%)	11	12	3	58	4	4
[6]VC%	0,80	0,98	0,95	0,93	0,99	0,90
			0,05-0,10 m			
Modelo	-	Exp	Exp	Esf	Exp	Exp
[1](C_0)	-	0,0010	1,93	5,69	0,80	1,13
[2](C_0+C_1)	-	0,0086	14,52	14,97	3,00	10,76
[3]a (m)	-	24,90	33,90	33,10	37,50	20,70
[4]R^2	-	0,94	0,92	0,87	0,92	0,85
[5]GDE (%)	-	11	13	38	26	10
[6]VC%	-	0,96	0,98	0,99	0,91	0,92
			0,10-0,20 m			
Modelo	Exp	Exp	Esf	Exp	Esf	Exp
[1](C_0)	0,04	0,0012	19,57	2,01	5,39	1,85
[2](C_0+C_1)	0,07	0,010	40,16	14,41	12,01	15,18
[3]a (m)	71,13	21,90	52,90	27,60	68,81	21,00
[4]R^2	0,74	0,82	0,92	0,73	0,96	0,82
[5]GDE (%)	57	12	48	14	45	12
[6]VC%	0,73	0,99	0,96	0,97	0,93	0,83
			0,20-0,30 m			
Modelo	Esf	Exp	-	Exp	Esf	Exp
[1](C_0)	0,02	0,0008	-	2,72	8,66	1,22
[2](C_0+C_1)	0,04	0,008	-	23,75	17,33	8,96
[3]a (m)	50,90	20,70	-	18,30	50,00	22,50
[4]R^2	0,92	0,87	-	0,89	0,92	0,82
[5]GDE (%)	50	10	-	11	50	13
[6]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; [1]C_0: efeito pepita; [2]C_0+C_1: patamar; [3]a: alcance (m); [4]R^2: coeficiente de determinação; [5]GDE%: grau de dependência espacial e; [6] 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 sentindo, 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 16). 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^{-3}, (Figura 3) havendo o decréscimo em profundidade com valores oscilando entre 0,98 e 1,34 Mg m^{-3}. 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^3m^{-3}, 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^3m^{-3} (Figura 6). Kiehl (1979) relata que valores inferiores a 0,10 m^3m^{-3} 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.

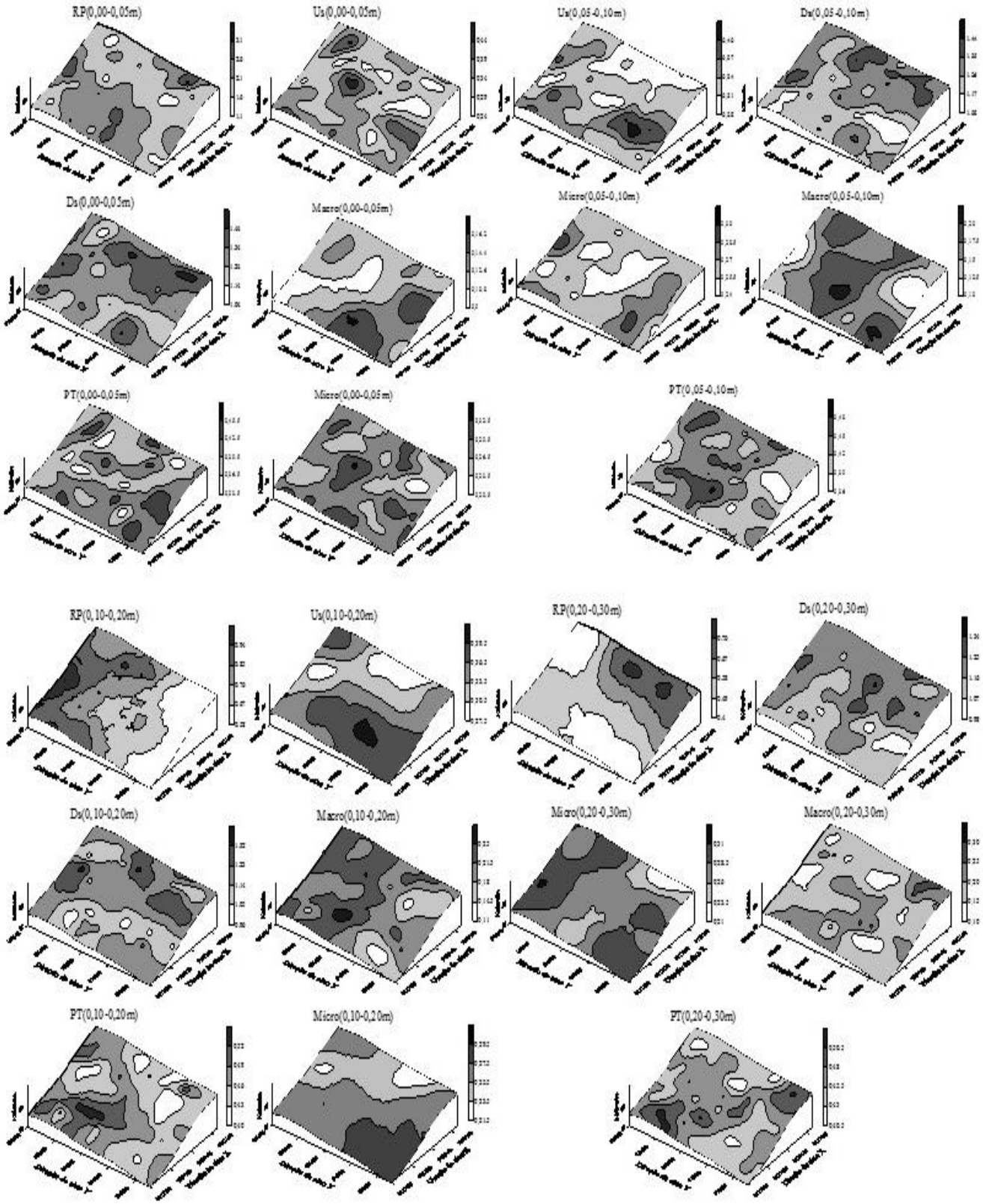

Figura 3. Mapas de Krigagem da distribuição espacial dos atributos físicos.

5. CONCLUSÕES

1. Os atributos físicos do solo sob os diferentes usos analisados apresentaram estrutura de dependência espacial forte e moderada para a maioria das variáveis, com exceção das que apresentaram efeito pepita puro (EPP).

2. As análises de estabilidade de agregados apresentaram valores de dependência espacial e alcances semelhantes aos demais atributos físicos estudados.

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

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, R.S.; STONE, L. F. & GODOY, G. S. Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.9, p.932–937, 2013.

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; MARQUES JUNIOR, J; SILVA, D. M. P.; SILVA, D. A. P. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM. **Biosciência Jornal**, Uberlândia, v. 30, n. 4, p. 988-997, July/Aug. 2014.

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

BAVER, L.D. GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. Soil physics. 4.ed. **New York: John Wiley C. Sons**, Inc. 1972. 529p.

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 Science Society of America Journal**, 58:1501-1511, 1994.

CAMPOS, M.C.C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; FREITAS, E.V.S. Dependência espacial de atributos químicos em área cultivada com cana-de-açúcar em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v.38, n.4, p.350-359, 2007.

CAMPOS, M.C.C.; 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@mbiente On-line**, v. 6, n. 2, p. 102-109, maio-agosto, 2012.

CARVALHO, S. R. L.; VILAS BOAS, G. S.; FADIGAS, F. S. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em solos originados nos sedimentos da formação barreiras. **Cadernos de Geociências**, v. 7, n. 2, novembro 2010.

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

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.

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.

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

FARACO, M. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, E. A. A.; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 463-476, 2008.

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

HILL, R.L. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.54, p.161-166, 1990.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264p.

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

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. **Aggregate stability and size distribution**. In: BLACK, C. A. (Ed.) Methods of soil analysis. Madison: ASA, 1965. pt. 1, cap. 39, p. 499-510. (Agronomy, 9).

KERN D. C.; KAMPF N.; WOODS W. I.; DENEVAN W. M.; COSTA M. L. & FRAZÃO F. J. L.; *Win Sombroek in memoriun.* **Evolução do conhecimento em terra preta de índio**. 2001; cap. 6; p 72-73.

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

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, 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.

LOPES, M. M.; VERÔNICA, T. F.; BRANCO, C. & SOARES, J. B. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **Transportes**. v. 21, n. 1 (2013) p. 59–66.

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, jul./set. 2006.

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

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 agronômica I**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2007. 463p.

SANTOS, L. A. C.; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; BERGAMIM, A. C.; SILVA, D. M. P.; MARQUES JUNIOR, J. & FRANÇA, A. B. C. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. **Revista brasileira de ciência do solo**, 37:825-836, 2013.

SILVA, S. A.; SOUZA LIMA, J. S.; XAVIER, A. C.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 34, n. 2, p. 15-22, 2010.

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.

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

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.; 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.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:937-944, 2004.

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**, vol. 25, núm. 3, 2001, pp. 699-707.

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.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA. A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v.59, n.4, p.795-801, out./dez. 2002.

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.

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

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidade em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007.

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

7. CRONOGRAMA DE EXCUÇÃO

Nº	Descrição	Ago 2014	Set 2014	Out 2014	Nov 2014	Dez 2014	Jan 2015	Fev 2015	Mar 2015	Abr 2015	Mai 2015	Jun 2015	Jul 2015
1	Atualização da Revisão de Literatura	X											
2	Seleção e Identificação da área de estudo.	X											
3	Divisão da área em Malhas		X										
4	Coleta do Material no Campo		X										
5	Análises Laboratoriais			X	X	X	X	X					
6	Análises Estatísticas							X					
7	Discussão dos Resultados								X	X	X		
8	Elaboração do Resumo e Relatório Final (atividade obrigatória)											X	
9	Preparação da Apresentação Final para o Congresso (atividade obrigatória)												X