



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E  
TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA**



**Variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área de terra preta  
arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM**

**MARCELO DAYRON RODRIGUES SOARES**

**RIO BRANCO – AC  
2014**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E  
TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA**



**Variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área de terra preta  
arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM**

**MARCELO DAYRON RODRIGUES SOARES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para à Amazônia, da Universidade Federal do Acre, como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Ciências**.

Área de Concentração: Ciência e Inovação  
Tecnológica

Orientador \_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Milton César Costa Campos

Rio Branco – Acre  
Julho 2014

©SOARES, M. D. R., 2014.

SOARES, Marcelo Dayron Rodrigues. **Variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM**. Rio Branco, 2014. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência, Inovação e tecnologia para a Amazônia) – Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e tecnologia para a Amazônia. Universidade Federal do Acre, Rio Branco.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

---

S676v Soares, Marcelo Dayron Rodrigues, 1989-  
Variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM / Marcelo Dayron Rodrigues Soares. – 2014.

96 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia. Área de Concentração: Ciências e inovação e tecnológica. Rio Branco, 2014.

Inclui Referências bibliográficas.

---

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E  
TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA

Marcelo Dayron Rodrigues Soares

Variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área de terra preta arqueológica sob  
pastagem na região de Manicoré, AM

DISSERTAÇÃO APROVADA: 21/07/2014.

Milton César Costa Campos

Prof. Dr. Milton César Costa Campos (Orientador)  
Universidade Federal do Amazonas

Carlos Eduardo Pereira

Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira (Membro)  
Universidade Federal do Amazonas

Viviane Vidal da Silva

Prof. Dra. Viviane Vidal da Silva (Membro)  
Universidade Federal do Amazonas

Dedico a minha mãe Cizineth Ramos Rodrigues, com muito amor e carinho, e ao meu tio Rosival Ribeiro da Costa, *in memoriam*, que muito incentivou para nunca desistir dos meus objetivos.

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, que tudo conhece de minhas potencialidades e limitações.

A Universidade Federal do Acre (UFAC), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para à Amazônia (PPP-CITA) pela oportunidade de realizar esse mestrado.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado Amazonas (FAPEAM) pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA) que disponibilizou toda sua estrutura para realização deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Milton César Costa Campos, pelos ensinamentos, compreensão, orientação, apoio, confiança e amizade.

Aos meus familiares.

Agradeço de modo especial a toda equipe do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do IEAA: Bruno Mantovanelli, Felipe Wecker, Romária Gomes, Romário Gomes, Maílson, Uilson Franciscon, Pérsio, Diogo Pinheiro, Douglas Pinheiro, Leandro Alho, Pedro Marcelino, Wildson, Adriana, Kafú.

Aos amigos da Pós-Graduação: Rebeka Aguiar, Ivanildo Amorim, Renato Aquino, Luís Antônio, Rúbia, Najara, Jason Jerry, Sâmara, Ruti Barbosa e João Paulo, pelos momentos compartilhados, principalmente os de descontração.

A mente que se abre a uma nova idéia  
jamais voltará ao seu tamanho original.

**Albert Einstein**

## RESUMO

As terras pretas arqueológicas são solos de coloração escura, com presença de fragmentos cerâmicos e caracterizados por sua elevada fertilidade natural, consideradas ideais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, informações sobre a variabilidade espacial dos atributos solos em áreas com terras pretas arqueológica são escassos, uma vez que, são poucos são os trabalhos que utilizam essa ferramenta nesses ambientes. Dessa maneira, no presente trabalho objetivou-se verificar a variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM. Foi estabelecido uma malha amostral com dimensões de 80 x 56 m, com 88 pontos amostrais, em espaçamento regular de 08 x 08 m, cada ponto amostral foi georeferenciado, e em seguida, realizada coleta de solos nas seguintes profundidades: 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30m, num total de 352 amostras de solos. Em seguida, foram avaliados os seguintes atributos: textura do solo, os atributos físicos, carbono orgânico total, estoque de carbono, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado e pH em água. A variabilidade dos dados foi caracterizada pela estatística descritiva e a análise da variabilidade espacial dos atributos estudados foi realizada por meio da geoestatística, considerando a dependência espacial no intervalo de amostragem.

**Palavras-chave:** Fertilidade Natural, Geoestatística, Solo Antrópico.

## ABSTRACT

The archaeological black earth soils are dark colored, with the presence of ceramic fragments and characterized by their high natural fertility, considered ideal for the growth and development of plants, however, information about the spatial variability of soil attributes in areas with archaeological black earth are scarce, since there are few jobs that are utilized in these environments. Thus, the present study aimed to verify spatial variability of soil attributes in an area of archaeological black earth under pasture in the region of Manicoré, AM. A sampling grid was established with dimensions of 80 x 56m, with 88 sampling points at regular intervals of 08 x 08m, at each sample point was done collecting soil on the following depths: 0.00 -0.05; 0.05-0.10; 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m, a total of 352 soil samples. Then, the following parameters were evaluated: soil texture, physical attributes, COT Est C, DMG, DMP and pH in water. The spatial variability of traits studied was performed by means of geostatistics, considering the spatial dependence in the sampling interval.

**Keywords:** Soil properties, geostatistics, Solo Anthropic.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.1-</b> Mapa de localização do município de Manicoré, AM.....	15
<b>Figura 1.2-</b> Distribuição das TPAs na Amazônia Central (áreas conhecidas).....	20
<b>Figura 1.3-</b> Modelo teórico do semivariograma experimental e seus componentes.....	23
<b>Figura 1.4-</b> Aspectos do semivariograma com total independência das amostras.....	24
<b>Figura 1.5-</b> Modelos de semivariogramas experimentais.....	26
<b>Figura 2.1-</b> Geologia da área de estudo do município de Manicoré, AM.....	47
<b>Figura 2.2-</b> Localização da área de estudo e pontos de amostragem em malha regular.....	50
<b>Figura 2.3</b> – Mapas de krigagem para textura do solo de uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, nas profundidades 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m.....	58
<b>Figura 2.4</b> – Mapas de krigagem para textura do solo em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, nas profundidades 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.....	59
<b>Figura 2.5</b> – Mapas de krigagem para os atributos físicos do solo de uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, na profundidade 0,00-0,05 m.....	67
<b>Figura 2.6</b> – Mapas de krigagem para os atributos físicos do solo de uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, na profundidade 0,05-0,10 m.....	68
<b>Figura 2.7</b> – Mapas de krigagem para os atributos físicos do solo de uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, na profundidade 0,10-0,20 m.....	69
<b>Figura 2.8</b> – Mapas de krigagem para os atributos físicos do solo de uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, na profundidade 0,20-0,30 m.....	70
<b>Figura 2.9</b> – Mapas de krigagem para o diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), pH em água, densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est. C) em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, na profundidade 0,00-0,05 m.....	77
<b>Figura 2.10</b> – Mapas de krigagem para o diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), pH em água, densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e	

estoque de carbono (Est C) em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, na profundidade 0,05-0,10 m.....78

**Figura 2.11** – Mapas de krigagem para o diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est. C) em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, na profundidade 0,10-0,20 m.....79

**Figura 2.12** – Mapas de krigagem para o diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), pH em água, densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est. C) em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, na profundidade 0,20-0,30 m.....80

## LISTAS DE TABELAS

<b>Tabela 2.1-</b> Estatística descritiva da textura do solo em diferentes profundidades de Terra Preta Arqueológica sob pastagem no município de Manicoré, AM.....	54
<b>Tabela 2.2-</b> Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas ajustados aos dados da textura do solo em diferentes profundidades de Terra Preta Arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.....	56
<b>Tabela 2.3-</b> Estatística descritiva dos atributos físicos do solo em diferentes profundidades de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.....	61
<b>Tabela 2.4-</b> 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.....	64
<b>Tabela 2.5-</b> Estatística descritiva do diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT), estoque de carbono (Est C) e pH em água em diferentes profundidades em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.....	72
<b>Tabela 2.6-</b> Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas do diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est C) do solo em uma área de Terra Preta Arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.....	75

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	12
1.1 INTRODUÇÃO.....	12
1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
1.2.1 Características gerais da região de Manicoré, AM. ....	15
1.2.2 Terras Pretas Arqueológicas .....	17
1.2.3 Geoestatística .....	20
1.2.4 Variabilidade espacial dos atributos do solo.....	27
1.2.5 Caracterização de ambientes naturais transformados em atividade pecuária. ....	29
1.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA .....	33
CAPÍTULO 2 - Variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.....	43
2.1 INTRODUÇÃO.....	45
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
2.2.1 Caracterização do Meio Físico .....	47
2.2.2 Metodologia de Campo e Laboratório .....	48
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
2.4 CONCLUSÕES .....	81
2.5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	82

## **CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

### **1.1 INTRODUÇÃO**

A Amazônia é, com frequência, vista como um ambiente uniforme de alta pluviosidade e altas temperaturas, representado pela floresta tropical úmida densa com solos ácidos e pobres em nutrientes. Na realidade, as condições ambientais na Amazônia são muito mais diversificadas, a qual é acompanhada por variações na vegetação, nos tipos e nas propriedades dos solos (SOMBROEK, 2000). Dentre os diversos tipos de solo da Amazônia, destacam-se os solos com horizonte A antrópico (Au) de coloração escura, popularmente denominados “Terra Preta de Índio” (TPI) ou terra preta arqueológica (TPA)(CUNHA, 2005).

As terras pretas arqueológicas (TPA), embora não tenha sua origem bem elucidada, as evidências arqueológicas indicam que atividades humanas antigas nos habitats amazônicos transformaram significativamente as paisagens na vizinhança dos seus assentamentos, conforme Glaser (2007), tal interferência, atribuíram solos com elevados níveis de nutrientes, principalmente de Ca e P, altos teores de matéria orgânica e atividade biológica mais elevada que nos solos adjacentes.

Em relação aos atributos físicos, Santos et al. (2013), relatam que as TPAs apresentam horizontes bem drenados, com textura variando de franca arenosa a franca siltosa e baixos valores de densidade do solo. Além dos atributos físicos e químicos ideais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, segundo Lima et al. (2002), as TPAs são importantes registros do processo de ocupação da Amazônia e podem esclarecer questões a respeito da distribuição da população, capacidade de suporte do solo, padrões de assentamentos e o uso da terra por antigas civilizações.

Diante de informações tão relevantes, as Terras Pretas Arqueológicas na região de Manicoré-AM, vêm sendo constantemente alvo das ações antrópicas, principalmente na conversão floresta amazônica em pastagem. Dias Filho e Andrade (2006), estimam que na região Amazônica cerca de 80% da área desmatada tem sido utilizada com pastagens plantadas e que metade desta área esteja degradada e, em alguns casos, abandonadas.

Nesse sentido, a conversão de áreas de vegetação natural em pecuária é uma preocupação crescente, especialmente quando se trata de ambientes frágeis ou redutos florestais (SILVA et al., 2008; CARDOSO et al., 2011). Vários autores afirmam que tal transformação resulta em mudanças nas características físicas e químicas do solo (PEREIRA et al., 2000), na quantidade e na qualidade da biomassa da área (FEARNSIDE e BARBOSA,

1998), e na emissão de gases de efeito estufa durante as operações de queima da floresta e, ou das pastagens (FEARNSIDE, 2002).

As alterações na composição da vegetação de ecossistemas naturais associadas a práticas de manejo, que são atribuídas a fatores como exploração agrícola e pecuária (ALENCAR et al., 2004), trazem consequências não só em relação à biodiversidade, mas, também, quando se analisa a deterioração causada aos solos (CHAVES et al., 2012). Por sua vez, Araújo et al. (2011), em estudos de impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioama Amazônia, salientam que a estabilidade estrutural da matéria orgânica do solo (MOS), tende a decrescer nos ecossistemas de pastagem quando comparada com a mata nativa.

As TPAs têm sido objeto de vários estudos na região de Manicoré, AM, entre os quais, destaca-se Campos et al. (2011), que realizaram uma caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na região do médio Rio Madeira, observaram que solos com horizontes antrópicos amostrados na região são de caráter eutrófico e teores altos a muito altos de fósforo disponível, sempre maiores que os dos horizontes subjacentes. Com investigações dessa mesma natureza, Santos et al. (2013) em caracterização de terras pretas arqueológicas no Sul do Estado do Amazonas, verificaram em horizontes antrópicos com espessura semelhante e dominância de cores cinza muito escuro, sugerindo certa similaridade dos fatores antrópicos que promoveram sua pedogênese e os horizontes antrópicos das TPAs diferenciaram-se entre eutrófico e distrófico.

Segundo Campos et al. (2012) em estudo com caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, concluíram que os solos com horizonte antrópico, apresentam melhor qualidade física, e que os atributos químicos em geral, são superiores aos horizontes não antropogênicos, conferindo-lhes maior fertilidade. Já o trabalho de Aquino (2014), em características de atributos do solo em ambientes da Região Sul do Estado do Amazonas, concluiu que em relação ao ambiente natural floresta, os ambientes com maior ganho de variabilidade dos atributos químicos foram a terra preta arqueológica, e que os atributos que melhor caracterizam este ambiente, foram, porosidade total, emissão de CO<sub>2</sub>, pH, saturação por bases, soma de bases, matéria orgânica e fósforo.

Além dos aspectos físicos do ambiente, também são importantes as ferramentas estatísticas que validem de maneira satisfatória as demandas do estudo. Dessa forma, (VIEIRA, 2000) destaca, a técnicas da geoestatística, que esta baseada na teoria das variáveis regionalizadas, tendo como objetivo, o estudo da variabilidade de atributos do solo no espaço.

Em uma paisagem natural, o solo apresenta variabilidades espacial e temporal de seus atributos, resultantes da interação de processos que comandam os fatores responsáveis por sua formação (MONTEZANO et al., 2006).

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo é fundamental, a fim de minimizar os erros de amostragem e o manejo do solo (LIMA et al., 2007). Segundo Souza et al. (2009), isso só é possível com o uso de técnicas geoestatísticas, que possibilitam a interpretação dos resultados, com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos.

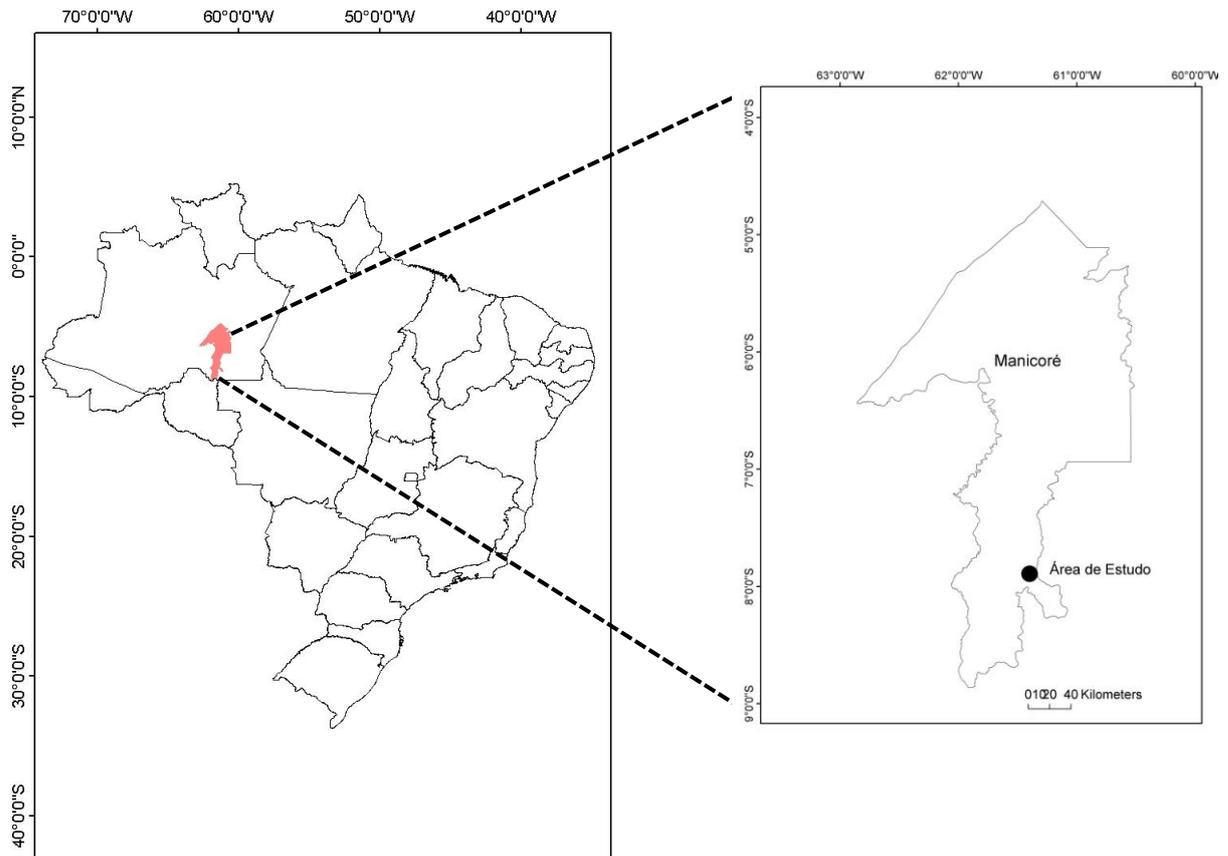
De modo geral, vários estudos têm aplicado com sucesso a técnica da geoestatística na variabilidade espacial dos atributos de solos às formas da paisagem na região Sul do Amazonas. De acordo com Campos et al. (2013), avaliando a variabilidade espacial dos atributos físicos em um Argissolo Vermelho sob floresta na região de Manicoré, AM, observaram que todos atributos apresentaram dependência espacial. Da mesma forma, Aquino et al. (2014), por meio da distribuição espacial dos atributos químicos do solo em área de pastagem e floresta, observaram que a área com floresta apresentou maior continuidade espacial e dependência espacial forte. Por outro lado, Oliveira et al. (2013), investigando a variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háplico, concluíram que os atributos físicos do solo nos diferentes usos estudados apresentaram dependência espacial.

Vale ressaltar, que a região de Manicoré, está inserida no chamado “Arco do Desmatamento” faixa que se estende do Maranhão até Rondônia (COHEN et al., 2007) e onde encontram-se muitos sítios de Terras Pretas Arqueológicas, alguns profundamente alterados por práticas agropecuárias e florestais. Sendo assim, este trabalho tem-se por objetivo geral avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.

## 1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.2.1 Características gerais da região de Manicoré, AM.

O município de Manicoré ocupa uma área territorial de 48.282km<sup>2</sup>, situado na região Sul do Estado do Amazonas. Limita-se com os municípios de Beruri, Borba, Humaitá, Tapauá, Apuí, Novo Aripuanã (AM) e com os estados de Rondônia e Mato Grosso (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 pluviométricas entre 2.250 e 2.750 mm, com chuvas concentradas no período de outubro a junho (BRASIL, 1978).



**Figura 1.1-** Mapa de localização do município de Manicoré, AM.

A vegetação característica desta região é a Floresta Tropical Densa constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre 20 a 50 metros de altura, com clima úmido, elevadas temperaturas e alta precipitação. As Florestas Tropicais Densas se desenvolvem em função da conjugação de fatores climáticos extremamente favoráveis ao desenvolvimento de

atividades biológicas, como abundância de luminosidade, água e temperatura (CAMPOS, 2009). Conforme Veloso et al. (1991), essa vegetação característica da região compreende as seguintes tipologias:

a) Floresta Tropical Densa Aluvial, constituída por vegetação de rápido crescimento, em geral de casca lisa, tronco cônico, por vezes com a forma característica de botija e raízes tabulares que ocorre ao longo dos cursos de água;

b) Floresta Tropical Densa de Terras Baixas, formação que em geral ocupa as planícies costeiras, apresenta uma florística bastante típica, esta formação ocorre nos terrenos quaternários situados em geral pouco acima do nível do mar;

c) Floresta Tropical Densa Submontana, localiza-se em áreas dissecadas do relevo montanhoso e dos planaltos, com solos medianamente profundos que são ocupados por uma formação florestal de fanerófitos com altura aproximadamente uniforme e integrada por plântulas de regeneração natural.

O relevo é marcado pela presença de platôs, nas partes mais elevadas, combinada com áreas rebaixadas de sopé. Os platôs exibem superfícies topográficas planas, sendo a zona de borda marcada por colinas e cristas alinhadas, enquanto as áreas de planícies têm características de superfície pediplanada, localmente interrompida por colinas de topo plano (CPRM, 2001).

De modo geral, a região Amazônica apresenta uma paisagem com uma variedade de solos, em sua maioria, exibem alta acidez, baixa capacidade de troca catiônica e baixa fertilidade natural (VIEIRA, 1975; SANCHEZ; COCHRANE, 1980), logo, a exuberância da Floresta Amazônica ergue-se sobre um dos solos mais pobres e lixiviados da terra.

Os solos presentes na região de Manicoré, conforme informações de ZEE-Sul-Suldeste do Amazonas (2008), são os Latossolos Amarelo e Vermelho-Amarelos. Esta classe de solo tem a seguinte característica:

Os Latossolos são solos profundos, bem drenados, de textura média a argilosa, alta porosidade, boa aeração e boa permeabilidade. Apresentam reação fortemente ácida, com valores de pH entre 3,5 e 5,5. Os teores de cálcio, magnésio e potássio trocáveis são mais elevados nos horizontes superficiais, evidenciando que a ciclagem de nutrientes entre o solo e a vegetação se processa com maior intensidade na camada superficial. Altos teores de alumínio, causando fitotoxicidade, além de teores de fósforo assimilável muito baixo, são importantes limitações para o uso agrícola destes solos (CAMPOS, 2009).

A sede de Manicoré não dispõe de acesso direto por via terrestre, embora o município seja cortado por duas importantes rodovias, a BR-319 que liga Manaus a Porto Velho e

demarca o limite territorial do município, e a BR-230 (a Transamazônica), que trespassa Manicoré em sua parte sul. As áreas desmatadas e sob pressão de desmatamento estão localizadas principalmente próximas à sede do município e nas margens da rodovia Transamazônica (ao Sul), onde está localizada a vila de Santo Antonio do Matupi, também chamada de “Vila do km 180”. Nos últimos anos, a região vem sofrendo com o desmatamento para a expansão de atividades agropecuárias, florestais e madeireiras principalmente devido ao avanço do chamado arco do desmatamento em direção ao Amazonas.

### 1.2.2 Terras Pretas Arqueológicas

Os solos da Amazônia, na sua maior parte, são ácidos, com baixa capacidade de troca catiônica e, conseqüentemente, baixa fertilidade. Apesar dessas características, há ocorrência de áreas com solos com elevada fertilidade e com grande potencial produtivo, mantidos mesmos após várias décadas de uso. Estes solos são denominados de Terra Preta de Índio (TPI), ou Terra Preta Arqueológica (TPA).

As Terras Pretas Arqueológicas (TPAs) são unidades de solo que apresentam como características um horizonte A antrópico, coloração escura e presença de fragmentos cerâmicos e, ou, líticos incorporados à matriz dos horizontes superficiais do solo (KÄMPF e KERN, 2005), são caracterizadas por apresentarem elevada fertilidade natural, resultante possivelmente da prolongada ocupação antrópica e da incorporação de carvão pirogênico (CORREIA, 2007).

Muitos aspectos de sua origem ainda não estão elucidados, tendo sido formado, provavelmente, pelo homem pré-colombiano e abandonado depois da invasão dos europeus (KERN e KÄMPF, 1989). Estes solos, segundo Lima et al. (2002) e Cunha et al. (2007) estão relacionados com os locais de antigos assentamentos, contendo artefatos culturais, e apresentam elevada fertilidade natural. Várias hipóteses foram aventadas sobre os processos de formação das TPA, mas a mais aceita atualmente diz que as TPA teriam sido formadas não intencionalmente pelo homem pré-colombiano (WOODS e MCCANN, 2001). Embora aceita, essa hipótese apresenta questionamentos da origem intencional ou como mera consequência da ocupação do homem (NEVES et al., 2003). Porém, muitas dúvidas permanecem, entre elas destaca-se a alta capacidade de manutenção da fertilidade com o uso contínuo da terra, mesmo nas condições edafoclimáticas locais.

Conforme destacado por Glaser (2007), são três os principais processos responsáveis pela formação das TPA: a) formação do carvão - refere-se à formação do carbono pirogênico,

com composição e estrutura molecular complexa (grupos aromáticos), bastante reativo e que contribui com a fertilidade do solo; b) incorporação de nutrientes - neste processo os nutrientes são incorporados ao solo por diferentes fontes, por exemplo, excrementos humanos e animais, cinzas, resíduos de combustão incompleta e carvão, biomassa de plantas aquáticas e terrestres; c) ação dos microorganismos - responsáveis pela ciclagem de nutrientes, agindo tanto na decomposição da matéria orgânica, como na imobilização de nutrientes do solo, evitando as perdas por lixiviação.

Uma das características mais intrigantes das TPAs é a manutenção da fertilidade, mesmo após várias décadas de uso. A estabilidade apresentada pelas TPAs foi relacionada com os teores de matéria orgânica do solo e a contribuição significativa do carbono pirogênico (GLASER et al. 2000; LIMA et al. 2001). O carbono pirogênico é formado pela combustão incompleta de materiais orgânicos (DERENEE LARGEAU, 2001). Os altos teores encontrados nas TPAs estão associados a uma elevada e prolongada adição de material orgânico carbonizado. O carbono pirogênico persiste nas TPAs há pelo menos um século, devido a estabilidade química, decorrente da estrutura aromática que o mesmo possui (GLASER et al. 2004).

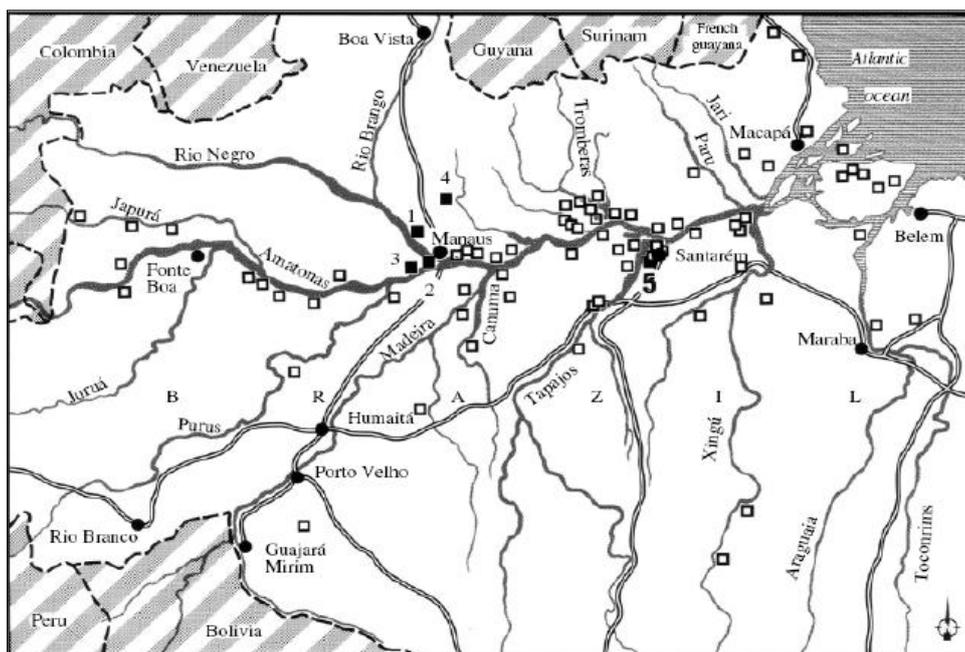
De acordo com Moreira (2007), a capacidade de manter o alto teor de carbono orgânico ocorre, possivelmente, devido às características químicas e da resistência do material à decomposição microbiana. A matéria orgânica do solo (MO) é constituída, em sua maior parte, por substâncias húmicas mais estáveis, de difícil degradação. Camargo et al. (1999), afirmam que essas substâncias são formadas a partir da transformação dos resíduos orgânicos realizada pela biomassa microbiana presente no solo. Segundo Cunha et al. (2007), relatam que a fertilidade dos solos geralmente é fortemente relacionada às características moleculares da fração alcalino solúvel do carbono orgânico, as substâncias húmicas. Embora a maior quantidade de matéria orgânica em TPAs 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 (MADARI et al., 2009).

Quanto aos atributos químicos, as TPAs apresentam elevados teores de nutrientes, como observados por Silva et al. (2011) e Campos et al. (2011) estes, destacam o elevados teores de P disponível  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Lima et al. (2002), afirmam que fertilidade da TPA, é superior às outras classes de solos da Amazônia. Além disso, diversos estudos tem mostrado que as taxas de mineralização do carbono e as perdas de nutrientes por lixiviação são baixas (LEHMANN et al., 2003), o que contribui para a preservação natural da TPA.

Quanto às características físicas, os solos das TPAs apresentam solo bem drenado, textura variando de arenosa a muito argilosa, e presença do horizonte Au antrópico entre 30 a 60 cm (CAMPOS et al., 2012). Além disso, exibem condições de aeração, porosidade e condutividade hidráulica adequada para promover a infiltração de água e favorecer as trocas gasosas (NEVES JÚNIOR, 2008). A densidade do solo, normalmente, é encontrada com valores baixos para os horizontes antropogênicos, havendo aumento em profundidade desses valores nos horizontes subsuperficiais.

Quanto a sua distribuição, as Terras Pretas Arqueológicas (TPA) ocorrem em toda a Amazônia, especialmente no Brasil, Colômbia, Guiana, Equador, Peru e Venezuela (Figura 1.3). De acordo com German (2003), as áreas de ocorrência das TPA apresentam extensões variadas e normalmente estão localizadas próximas a cursos de água, ocupando várzeas e elevações marginais adjacentes (Terra Firme).

As TPAs ocupam de 0,1 a 0,3% a Bacia Amazônica, correspondendo entre 6000-18000km (6 milhões de km<sup>2</sup>), em sua maioria, são distribuídos em áreas de dois a cinco hectares (TEIXEIRA e MARTINS, 2003). Estão situadas em locais bem drenados, localizados em áreas com posição topográfica que permite boa visualização espacial e acesso aos recursos de diferentes ambientes (SMITH, 1980; KÄMPF; KERN, 2005). De acordo com Kämpf e Kern (2005), grandes extensões de TPA apóiam a concepção de grandes sítios de assentamento pré-histórico ocupados por longos períodos de tempos.



Fonte: Glaser (2006)

**Figura 1.2-** Distribuição das TPAs na Amazônia Central (áreas conhecidas).

As TPAs enquadram-se em uma variedades de ordens de solos, como: Argissolos, Latossolos, Cambissolos, Neossolos, Plintossolos e Espodossolos (LIMA, 2001, KERN et al., 2003), apresentam uma particularidade, que é a presença do horizonte A antrópico, com espessura variando entre 30 e 70 cm, sendo mais profundos que os solos adjacentes.

### 1.2.3 Geoestatística

A técnica da geoestatística foi elaborada por Krige (1951) e desenvolvida por Matheron (1963), o qual formulou a base da teoria das variáveis regionalizadas. A partir de trabalhos desenvolvidos por Matheron (1971) formalizou a teoria das variáveis regionalizadas, a qual está à base geoestatística.

O estudo da variabilidade de atributos do solo no espaço, é realizada por meio na geoestatística, baseada na teoria das variáveis regionalizadas (VIEIRA, 2000). Segundo Matheron (1963), o conceito de variáveis regionalizadas é uma função espacial numérica que varia de um local para o outro, com uma continuidade aparente e cuja variação não pode ser representada por uma função matemática simples. A variável regionalizada atua num espaço geométrico em que foi definida e onde será estudada sua variação, apresentando localização; continuidade e que estão ligados ao fenômeno natural que elas representam (JOURNAL, 1988).

O uso de métodos estatísticos clássicos, por ignorar a localização geográfica das amostras e utilizar valores médios para os atributos do solo, poderá inferir a erros. Ao contrário da estatística clássica que tem como premissa a independência entre amostras, a geoestatística caracteriza a variabilidade espacial do atributo por meio da dependência espacial entre as amostras (VIEIRA, 2000; CARVALHO et al., 2002). Vários estudos mostraram que os atributos do solo apresentam intensa dependência espacial, verificada por análise geoestatística (CORÁ et al., 2004; CAMPOS et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2013; AQUINO et al., 2014). O conceito central da geoestatística, remete à determinação da magnitude da variabilidade espacial expressa por um semivariograma, o qual descreve a estrutura da continuidade espacial das variáveis.

Quando determinado atributo de solo varia de um local para outro, com algum grau de organização ou continuidade, expresso pela avaliação da dependência espacial, os resultados da estatística clássica são mais bem entendidos e aproveitados pela geoestatística. A principal ferramenta utilizada para a caracterização da variabilidade espacial e estimação de atributos do solo é a geoestatística (SIGUA e HUDNALL, 2008; MARQUES JÚNIOR et al., 2008).

Constitui importante ferramenta na análise e descrição detalhada da variabilidade das propriedades do solo (CARVALHO et al., 2002), conhecendo as coordenadas geográficas do ponto amostrado, permite-se analisar os dados (VENDRUSCULO, 2001) e representar a área estudada com maior detalhamento.

O estudo da variabilidade espacial por meio da geoestatística possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem, da mesma maneira que, permite conhecer a continuidade de uma variável de interesse. Segundo Lemos Filho et al. (2008), umas das grandes aplicações da geoestatística é a possibilidade de construção de mapas temáticos que permitam analisar a variável em estudo.

Avaliando a variabilidade do estado nutricional e produtividade de café, Silva e Lima (2012), por meio da análise de componentes principais da geoestatística, ressaltaram que a geoestatística permitiu estudar de forma eficiente o estado nutricional das plantas. Já Barbieri et al. (2008), em estudos com variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes formas de relevo, concluíram que a geoestatística indicou a maior eficiência para aplicação de insumos. Verificando a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos, Cavalcante et al. (2011), por meio da geoestatística, foi possível analisar qual manejo obteve maior continuidade espacial.

A geoestatística tem-se mostrado de grande utilidade na ciência do solo para caracterizar e estudar a variação espacial de suas propriedades. Assim, ao se estudar os atributos do solo, há de se fazer um levantamento completo do mesmo e caracterizar sua variabilidade espacial. Neste contexto, a utilização de semivariogramas e métodos de interpolação, como a krigagem, definem o grau de dependência no espaço de uma grandeza medida e o domínio de cada amostragem (MANZIONE; RODRIGUES; ZIMBACK, 2002).

De acordo com Vieira (2000), todos os cálculos de geoestatística dependem do modelo estimado (ajustado) do semivariograma. Por isso, se o modelo ajustado não possuir boa qualidade de estimação, a krigagem (os mapas) também estará com qualidade comprometida. É importante que o modelo ajustado represente a tendência da variabilidade em razão da distância.

Para avaliar se existe dependência (continuidade) espacial entre as amostras utiliza-se o semivariograma, que mede e descreve a dependência espacial e expressa o grau de semelhança entre o ponto e os seus vizinhos (VIEIRA, 2000). O semivariograma é um gráfico da função semivariância *versus* distância, representado pela seguinte equação 1:

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

em que:

$\gamma(h)$  - valor da semivariância estimada para uma distância  $h$ ;

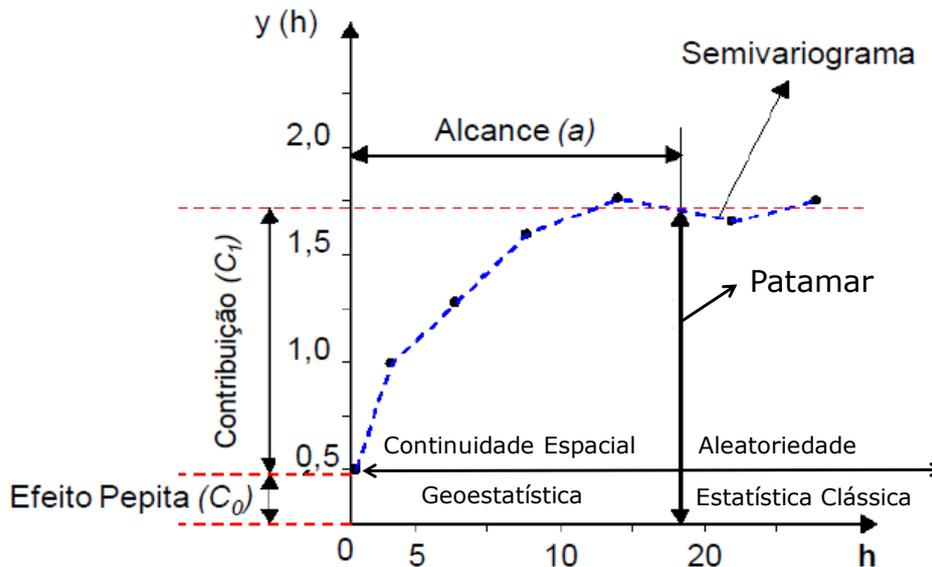
$N(h)$  - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância;

$Z(x_i)$  - valor do atributo  $Z$  na posição  $x_i$ ;  $Z(x_i+h)$  - valor do atributo  $Z$  separado por uma distância  $h$  da posição  $x_i$ .

À medida que  $h$  aumenta,  $\gamma(h)$  também aumenta até um valor máximo no qual se estabiliza, e em termos práticos, é o valor da semivariância onde a curva se estabiliza sobre um valor constante, sendo representado pelo ponto em que toda semivariância da amostra é de influência aleatória (TRANGMAR et al., 1985).

O semivariograma teórico é uma curva ajustada ao semivariograma experimental que proporcione a máxima correlação possível com os pontos. Quando ajustado um modelo ao semivariograma experimental (Figura 1.4), este possuirá parâmetros que são de suma importância na construção do mapa de contorno, que são:

- a) Efeito pepita ( $C_0$ ) - valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso e pode ser atribuído a erros de medição ou ao fato de que os dados não foram coletados a intervalos suficientemente pequenos para mostrar o comportamento espacial subjacente do fenômeno em estudo;
- b) Alcance ( $a$ ) - distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas;
- c) Patamar ( $C_0 + C_1$ ) - valor da semivariância em que a semivariância se estabiliza em torno de um valor constante;
- d) Contribuição ( $C_1$ ) - expressa a diferença entre o patamar ( $C_0+C_1$ ) e o efeito pepita ( $C_0$ );

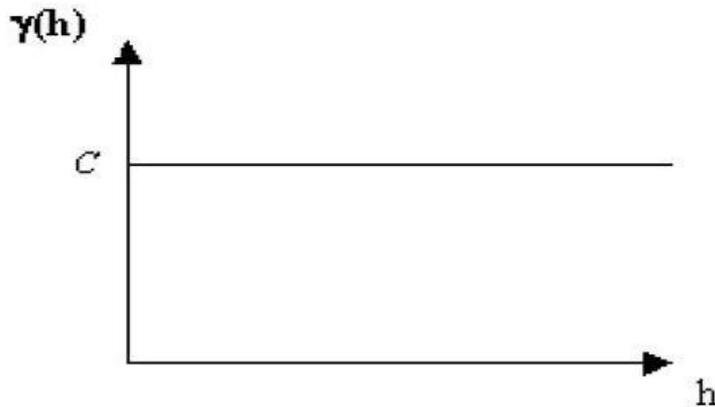


Fonte: Adaptado de Oliveira (2013).

**Figura 1.3-** Modelo teórico do semivariograma experimental e seus componentes.

O ajuste do modelo teórico ao semivariograma experimental é um dos procedimentos de maior relevância para a realização de interferências e para a interpretação de fenômenos com continuidade espacial e temporal. Esta etapa deve ser feita com muito rigor, devido ao fato de a sensibilidade dos semivariogramas para detectar a variabilidade espacial do fenômeno estar diretamente ligada ao modelo ajustado. Portanto, devem ser analisadas as possibilidades de ajuste, de forma que o modelo escolhido se aproxime ao máximo do fenômeno real, resultando numa maior veracidade das estimativas. De acordo com o ajuste obtido, pode ou não redefinir o modelo, até obter um que seja considerado satisfatório.

Este ajuste é feito por métodos matemáticos, estimando-se parâmetros que estruturam tais modelos (efeito pepita, contribuição ou patamar e alcance). Os modelos considerados básicos, denominados de isotrópicos por Issaks e Srisvastava (1989), são divididos em dois tipos: modelos do tipo I (esférico; exponencial; e gaussiano) e modelos do tipo II, sem patamar (Figura 1.5).



**Figura 1.4-** Aspectos do semivariograma com total independência das amostras.

Os principais modelos para análise da variabilidade espacial de parâmetros do solo, pela geoestatística são: o esférico, o exponencial e o gaussiano (CARVALHO; VIEIRA, 2004). No contexto agropecuário, são também os mais empregados para estudo da continuidade espacial (VENDRÚSCULO, 2003).

Estes modelos, têm os seguintes princípios:

a) Modelo gaussiano: a curva é parabólica junto à origem e a tangente nesse ponto é horizontal, o que indica pequena variabilidade para curtas distâncias; “a” corresponde ao alcance prático igual à distância segundo a qual 95% da soleira foi alcançada (LANDIM, 2006).

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right)^2 \right] \quad \text{para } 0 < h < d \quad (2)$$

onde:

$C_0$  = efeito pepita;

$C_0 + C_1$  = patamar;

a = alcance do semivariograma;

h = distância de separação entre duas observações e a é o alcance de dependência espacial.

d = é a máxima distância na qual o semivariograma é definido.

b) Modelo esférico: neste modelo a inclinação da tangente junto à origem ( $h \cong 0$ ) é  $3C/2a$ ; é o modelo mais comum, podendo-se afirmar que equivale à função de distribuição normal da estatística clássica (VIEIRA 2000).

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right], \quad \text{para } 0 < h < d \quad (3)$$

sendo:

$C_0$  = efeito pepita;

$C_0 + C_1$  = patamar;

$a$  = alcance do semivariograma;

$h$  = distância de separação entre duas observações e  $a$  é o alcance de dependência espacial.

$d$  = é a máxima distância na qual o semivariograma é definido.

c) Modelo Exponencial :- neste modelo a inclinação da tangente junto à origem é  $C/a$ ;  $C$  é a assíntota de uma curva exponencial e pode ser equalizada junto à soleira; “ $a$ ” corresponde ao alcance prático igual à distância segundo a qual 95% da soleira foram alcançadas (VIEIRA, 2000).

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right], \quad \text{para } 0 < h < d \quad (4)$$

sendo:

$C_0$  = efeito pepita;

$C_0 + C_1$  = patamar;

$a$  = alcance do semivariograma;

$h$  = distância de separação entre duas observações e  $a$  é o alcance de dependência espacial.

$d$  = é a máxima distância na qual o semivariograma é definido.

d) Modelo Linear – Nesse modelo, o patamar é determinado por inspeção; o coeficiente angular é determinado pela inclinação da reta que passa pelos primeiros pontos de  $\gamma(h)$ , dando-se maior peso àqueles que correspondem ao maior número de pares; o efeito pepita é determinado pela interseção da reta no eixo  $\gamma(h)$ ; o alcance é o valor de  $h$  correspondente ao cruzamento da reta inicial com o patamar; e  $C_1 = \text{patamar} - C_0$ , segundo Vieira (2000).

$$\gamma(h) = C_0 + \frac{C_1}{a} h \quad \text{para } 0 < h < a \quad (5)$$

$$C(h) = C_0 + C_1 \left( \frac{h}{a} \right) \quad \text{para } h \leq a$$

onde:

$C_0$  = efeito pepita;

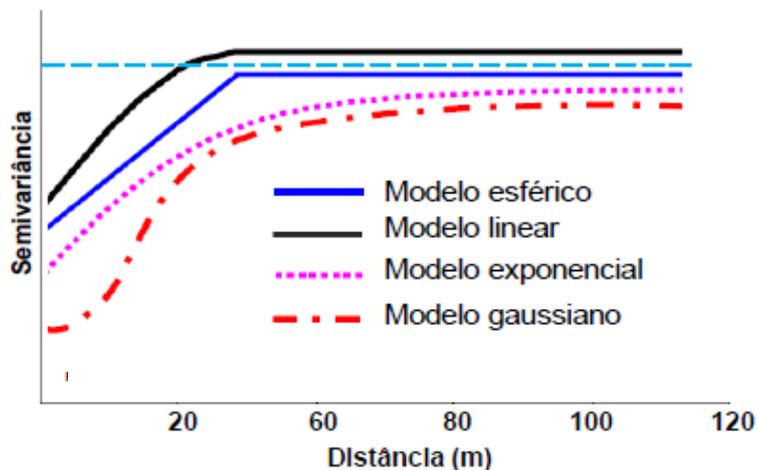
$C_1$  = patamar;

$C_1/a$  = coeficiente angular para  $0 < h < a$

$a$  = alcance do semivariograma;

$h$  = distância de separação entre duas observações e  $a$  é o alcance de dependência espacial.

As formas desses modelos são ilustradas na Figura 1.6.



Fonte: Adaptado de Siqueira, 2006.

**Figura 1.5-** Modelos de semivariogramas experimentais.

O modelo ajustado deve aproximar-se ao máximo da descrição do fenômeno no campo. O modelo de semivariograma teórico que melhor se ajusta ao semivariograma experimental é aquele que possui o maior coeficiente de correlação e melhor grau de dependência espacial, determinado conforme a metodologia descrita em Cambardella et al. (1994).

Conforme Isaaks e Srivastava (1989) os modelos exponenciais descrevem os fenômenos mais erráticos na pequena escala, enquanto os modelos esféricos descrevem propriedades com alta continuidade espacial, ou menos erráticos na curta distância. Os modelos esféricos e exponenciais apresentam-se como os modelos teóricos mais comuns aos atributos do solo (MCBRATNEY; WEBSTER 1986). O modelo esférico é o mais citado por

pesquisadores como o mais comum em trabalhos relacionados a atributos do solo e da planta (SALVIANO et al., 1998; CAVALCANTE et al., 2007, VIEIRA et al., 2011).

Cohen et al. (1990) explana que a verificação do melhor ajuste do modelo teórico ao semivariograma experimental pode ser realizada pela validação cruzada ou *Cross-Validation* que envolve a reestimação dos valores conhecidos por meio dos parâmetros ajustados do semivariograma, analisado pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

O parâmetro  $R^2$  é o coeficiente de determinação, utilizado na validação cruzada, que expressa o percentual de ajuste do modelo de semivariograma testado. Quanto mais alto esse coeficiente, melhor a eficiência do ajuste entre os valores observados e estimados para o modelo proposto ao conjunto de dados (NETTER et al., 1990).

De acordo com Mello e Scolforo (2000), os componentes ou variáveis do solo apresentam uma grande variação espacial, de tal forma que, os valores  $R^2$ , para os modelos observados foram aceitos segundo a recomendação de Issaks e Srisvatava (1989), que citam satisfatórios valores de correlação entre 60 e 70 %, e ótimo acima de 70%, para modelos de estimação da variabilidade dos atributos do solo, que apresentam uma grande variação espacial deste componente.

Com interpolação por Krigagem está fortemente associada ao modelo de semivariograma escolhido, a validação cruzada pode ser usada para se decidir qual modelo usar dentre alguns candidatos (VIEIRA, et al., 1981).

Para a interpolação dos dados em locais não amostrados no campo, utiliza-se a krigagem, que é uma ferramenta geoestatística com base em uma técnica de interpolação com o uso de estimadores não tendenciosos de variáveis regionalizadas, utilizando, para tanto, as propriedades estruturais do semivariograma e do conjunto inicial de dados amostrais (TRANGMAR et al., 1985). Nesse sentido, a elaboração dos mapas para os atributos do solo tem sido prática constante, nos atributos físicos (KAMIMURA et al. 2013), e nos atributos químicos (SOUZA et al. 2009). Todavia, para construção desses mapas é necessário que a variável a ser representada seja conhecida, bem como sua distribuição.

#### 1.2.4 Variabilidade espacial dos atributos do solo

Os solos variam ao longo da paisagem devido à intensidade de manifestação de seus fatores e processos de formação. Quanto maior for a variação desses fatores, principalmente a do material de origem e a do relevo, maior será sua heterogeneidade dos solos em uma determinada área.

A variabilidade espacial dos solos e seus atributos tem origem na sua formação (MARQUES JÚNIOR e LEPSCH, 2000) e ao longo do tempo tende a aumentar, em razão dos vários fatores, dentre esses a topografia (BARBIERI et al., 2008; SIQUEIRA et al., 2010) e ação antrópica, como preparo do solo (SILVEIRA et al., 2000; CARVALHO et al., 2002), aplicação de fertilizantes e tipo de colheita (CAVALCANTE et al., 2007). Para Barbieri et al (2013), quando se estuda os atributos do solo, é importante considerar a variabilidade, pois os fatores e processos de sua formação, que atuaram ao longo do tempo, imprimiram-lhe variabilidades naturais que, somadas ao manejo, acentuam a variabilidade dos seus atributos. Esta variabilidade espacial dos atributos do solo pode ser medida e registrada (VIEIRA et al., 1983).

A variabilidade espacial dos solos e resultado de processos pedogenéticos e pode ser demonstrada por resultados dos levantamentos e análises, bem como pelas diferenças encontradas nas produções das plantas. A variabilidade de atributos do solo e preocupação antiga e, ainda hoje, diversos autores se dedicam a pesquisar os efeitos dessa variação (CARVALHO et al., 2003; SILVA et al., 2003; SOUZA et al., 2004), já que esta pode afetar decisivamente os resultados em pesquisas.

Os solos apresentam variabilidade ao longo da paisagem em virtude da intensidade de fatores e processos de formação do solo. (MONTEZANO et al., 2006). A associação da variabilidade espacial dos atributos de solos às formas da paisagem tem sido estudada por vários autores (MONTANARI et al., 2005; KRAVCHENKO et al., 2005; SOUZA et al., 2006). De acordo com Souza et al. (2006b), quanto maior a variação desses fatores, principalmente a do material de origem e relevo, maior será a heterogeneidade dos solos. Estudos mostram que há maior variabilidade de atributos químicos e físicos em áreas de formas côncavas e convexas em relação às formas lineares, independentemente do histórico de manejo dessas áreas (SOUZA et al., 2004).

O solo, conforme Oliveira et al. (2000), apresenta como característica marcante a sua heterogeneidade. Na paisagem natural, ocorre ampla variação das propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, tanto na posição horizontal como na vertical, resultante dos processos pedogenéticos. O conhecimento dessa variação é importante no levantamento, na sua classificação, na avaliação de sua fertilidade e, principalmente, para o desenvolvimento de esquemas de amostragem mais adequados.

A variabilidade espacial dos atributos do solo é conhecida há vários anos, sendo largamente empregada em mapeamento nas divisões de diferentes unidades de solos. O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos de solo apresenta-se como ferramenta

vantajosa para analisar a variabilidade de rendimento verificada e aperfeiçoar o manejo em áreas agrícolas por meio de um gerenciamento agrícola que leve em consideração informações pontuais de solo e de culturas (AMADO et al., 2009; MENDES; FONTES; OLIVEIRA, 2008).

Souza et al. (2008), destacam que a variabilidade espacial do solo ocorre tanto em suas características químicas como nas físicas, mesmo em uma área aparentemente uniforme. Logo, as dificuldades tornam-se maiores porque, sendo a formação do solo resultante de uma série de fatores, o produto final é bastante heterogêneo em relação às suas características e propriedades. Silveira et al. (2010), ressaltam que, quanto mais heterogêneo for o solo, maior deve ser o número de amostras coletadas para que se atinja maior exatidão na avaliação de suas características.

Vários autores (CARVALHO et al., 2003; VIEIRA et al., 2011), afirmam que, com o uso do solo, a variabilidade espacial naturalmente encontrada pode ser modificada com o efeito do preparo do solo, efeitos residuais de adubos e corretivos, sistemas de manejo adotados, forma de aplicação de insumos, entre outros fatores que podem em algumas situações tanto aumentar a heterogeneidade do solo como diminuí-la. O estudo da variabilidade espacial de propriedades do solo, segundo Leão et al. (2007) apresenta-se de suma importância na escolha da área, na locação das unidades experimentais, interpretações de resultados, no uso racional dos fertilizantes e na coleta de amostras.

#### 1.2.5 Caracterização de ambientes naturais transformados em atividade pecuária.

A floresta consiste em um importante recurso natural de caráter renovável uma vez que conserva a água, fornece proteção ao solo, regula o volume das nascentes, fornece áreas de recreação e é ambiente adequado à fauna (BERTONI et al., 1999). Os ecossistemas florestais tropicais apresentam um eficiente sistema “fechado” de ciclagem de nutrientes, com altas taxas de ciclagem interna no sistema solo-planta.

A principal causa do desmatamento na região amazônica é a expansão da pecuária bovina que tem como consequência a remoção e conversão da floresta em áreas de pastagem (ARAÚJO et al., 2011). Desse modo, a principal forma de uso da terra na Amazônia brasileira é a pastagem, uma vez que aproximadamente 75% das áreas desmatadas foram ou estão sendo utilizadas como pastagens (CERRI et al., 2008).

Estimativas recentes tem sugerido que pelo menos a metade das áreas de pastagens em regiões ecologicamente importantes, como a Amazônia e o Brasil Central, encontram-se em

degradação ou degradada (DIAS-FILHO, 2006). Isso se dá, principalmente em áreas de pastejo, que são exploradas em sistemas extrativistas, rudimentares e pouco profissionais que negligenciam a fertilidade dos solos.

A conversão de áreas de floresta amazônica em pastagem resulta em mudanças na quantidade e qualidade da biomassa aérea (FEARNSIDE e BARBOSA, 1998), nas características físicas e químicas do solo (PEREIRA et al., 2000; MAKEWITZ et al., 2004) e na emissão de gases de efeito estufa durante as operações de queima da floresta e, ou das pastagens. Com a introdução da pastagem os estoques de C no solo podem decrescer nos primeiros anos da implantação, e aumentar nos anos seguintes, até atingir valores próximos ou superiores aos existentes antes da conversão (SALIMON et al., 2007). Em menor proporção, alguns trabalhos têm constatado decréscimo no conteúdo de matéria orgânica do solo com o tempo de conversão floresta-agricultura (DESJARDINS et al., 1994; GARCÍA-OLIVA et al., 1994).

De acordo com Dias-Filho (2006) o processo de degradação é um fenômeno complexo que envolve causas e consequências primárias e secundárias que levam a gradativa redução da capacidade de suporte, o que afeta diretamente a produção e o desempenho animal e culmina com a degradação do solo e dos recursos naturais. O solo é considerado degradado se os processos naturais e antropogênicos atuantes diminuíram a quantidade e qualidade da produção de biomassa, encarecendo os custos com a recuperação. A degradação das condições do solo é um processo significativo, por dificilmente ser reversível, visto que os processos de formação além de regeneração ocorrem de forma predominantemente lenta (GIAROLA et al., 2007).

Nesse sentido, a introdução da pastagem conduz com o passar do tempo, ao aumento na heterogeneidade dos atributos físicos, químicos e biológicos por meio da ruptura do estado de equilíbrio original provocada pelo desmatamento, preparo do solo e aplicação localizada de fertilizantes (SANTOS; SALCEDO, CANDEIAS, 2002). No entanto, além desses agentes no ecossistema de pastagens a presença dos animais traz implicações que favorecem a heterogeneidade no ambiente por meio da distribuição de dejetos, pastejo e pisoteio que normalmente não são constantes por toda a área (CARVALHO et al., 2009).

Segundo, SALTON e CARVALHO (2007), a presença dos animais nas pastagens leva à formação de manchas de vegetação e intensificação da variabilidade espacial de atributos do solo, em função da existência de locais com maior fertilidade e maior atividade biológica do solo. Isso devido à deposição de dejetos dos animais, acúmulo de material senescente, pastejo

desuniforme pela seleção de plantas pelos animais e alterações dos atributos físicos do solo devido ao pisoteio dos animais.

A mudança da cobertura vegetal de floresta para pastagem promove uma série de alterações nos atributos do solo. Longo (1999), estudando as mudanças decorrentes da substituição de florestas por pastagens na Amazônia, verificou que as principais alterações ocorrem nos valores de densidade do solo, porosidade total, distribuição do diâmetro dos poros e porosidade de aeração, armazenamento e disponibilidade de água às plantas, infiltração de água, agregação e teor de matéria orgânica. Segundo Silva et al. (2005), dentre as propriedades físicas do solo, a estrutura é uma propriedade sensível ao manejo e pode ser analisada segundo variáveis relacionadas à sua forma e/ou à sua estabilidade. Para Cardoso et al. (2009) ambientes de floresta nativa, notadamente aqueles estabelecidos em solos de baixa fertilidade natural, têm sua manutenção fortemente associada ao equilíbrio entre a cobertura vegetal e os processos biogeoquímicos do solo.

Como principais fatores da degradação ou de aceleração do processo de degradação em ambientes de pastagens, são citados: tipo do solo (características químicas e físicas), espécie cultivada, ocorrência de pragas e doenças, estabelecimento inadequado, compactação e erosão do solo, diminuição do P assimilável (ausência de fertilizações na formação e de manutenção), o manejo inadequado das pastagens, enfatizando-se a superlotação de animais, propiciando o aparecimento de plantas invasoras (SPAIN e GUALDRÓN, 1991)

A utilização de sistemas de manejo do solo que envolva pastejo animal pode acarretar mudanças nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o que pode afetar o crescimento e desenvolvimento radicular (SILVA et al., 2000) e a produção das culturas implantadas na seqüência do pastejo (ALBUQUERQUE et al., 2001; SALTON et al., 2002). A magnitude dessas alterações, principalmente nos atributos físicos do solo, está na dependência do manejo que é aplicado nas áreas sob pastejo, podendo variar com a textura, o teor de matéria orgânica (LARSON et al., 1980; SMITH et al., 1997), o teor de umidade do solo (TANNER e MAMARIL, 1959; CORREA e REICHARDT, 1995), a biomassa vegetal sobre o solo, a espécie de planta, a intensidade e tempo de pastejo e a espécie e categoria animal.

Em relação aos atributos biológicos Trannin et al. (2007) as alterações no ecossistema promovem modificações nas taxas de decomposição dos compostos orgânicos, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia do solo. Pois de acordo com Souza et al. (2008) a biomassa microbiana e sua atividade têm sido apontadas como as características mais sensíveis às alterações na qualidade do solo, causadas por mudanças de uso e práticas de manejo.

O tipo e a natureza das variações físicas pós a retirada da vegetação natural, o solo tem, frequentemente, mostrado alterações em seus atributos químicos, que são dependentes do clima, do tipo de cultura e das práticas culturais adotadas. A interação desses fatores estabelece uma nova condição de equilíbrio no sistema solo (MARCHIORI JÚNIOR e MELO, 2000).

### 1.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L. & ENDER, M. Efeito da integração lavoura pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 717-723, 2001.

ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; MOUTINHO, P.; PACHECO, P.; DIAZ, M. D. C. V.; SOARES FILHO, B. **Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica**. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia – IPAM, Belém, Brasil, 2004. 89p.

AMADO, T. J. C.; ZUCUNI PES, L.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de LATOSSOLOS e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 831-843, 2009.

AQUINO, R. E. **Características de atributos do solo em ambientes da região Sul do Estado do Amazonas**. Jaboticabal, 2014, 94 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista-UNESP.

AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; SIQUEIRA, D. S. Distribuição espacial de atributos químicos do solo em áreas de pastagem e floresta. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n.1, p.32-41, 2014.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011.

BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p.645-653, 2008.

BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SCALA JUNIOR, N. L.; SIQUEIRA, D. S.; PANOSSO, A. R. Comportamento dos óxidos de ferro da fração argila e do fósforo adsorvido, em diferentes sistemas de colheita de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 6, p.1557-1568, 2013.

BERTONI, J.; LOMBARDI-NETO F. **Conservação do Solo**. Ícone Editora, 4º edição, São Paulo, p. 32-33, 1999

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

CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, G. A.; GUERRA, J. G. M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, p.27-39, 1999.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEM, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.47, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C. RIBEIRO, M. R. SOUZA JÚNIOR, M. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R. V. C. C.; ALMEIDA, M. C. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.3, p.598-609, 2011.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M. Aplicação de adubo e corretivo após o corte da cana-planta utilizando técnicas Geoestatísticas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 974-980, 2008.

CAMPOS, M. C. C.; **Pedogeomorfologia aplicada a ambientes Amazônicos do Médio Rio Madeira**. 260f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; OLIVEIRA, I. A.; SANTOS, L. A. C.; AQUINO, R. E. . Spatial variability of physical attributes in Alfissol under agroforestry, Humaitá region, Amazonas state, Brazil. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 56, n.2, p. 149-159, 2013a.

CAMPOS, M. C. 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**, Boa Vista, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 6, p. 631-637, 2009.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FREITAS, D. A. F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no pantanal sul-mato-grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n. 2, p.613-622, 2011.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37 p. 1151-1159, 2002.

CARVALHO, J. R. P.; VIEIRA, S. R. Teste de filiben para validar modelos Geoestatísticos aplicados a agroclimatologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., 2004, São Pedro. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2004. 1 CD-ROM.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n. 4, p. 695-703, 2003.

CARVALHO, P. C. F.; TRINDADE, J. K.; MEZZALIRA, J. C.; POLI, C. H. E. C.; NABINGER, C.; GENRO, T. C. M.; GONDA, H. L. Do bocado ao pastoreio de precisão: compreendendo a interface planta animal para explorar a multifuncionalidade das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 109-122. 2009 (supl. especial).

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa,v.31, p.1329-1339, 2007.

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

CENTRO DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Hidroclimatologia, geologia, recursos minerais, geomorfologia e unidades de paisagens**. Manaus, 2001. 93 p. Relatório Técnico.

CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. Ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p. 325-358.

CHAVES, A. A. A.; LACERDA, M. P. C.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G.; KATO E. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.

COHEN, J. C. P., BELTRÃO, J. C., GANDU, A. W., SILVA, R. R. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 59, n.3, p. 36-39, 2007.

COHEN, W. B.; SPIES, T. A.; BRADSHAN, G. A. Semivariograms of digita imagery for analysis of conifer corropy structure. **Remote sensing of Enviroment**. v. 34, n.3, p.167-178, 1990.

CORA, J. E.; ARAÚJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

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

CORREA, J. C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 107-114, 1995.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Base Cartográfica digital obtida pela CPRM**, a partir da base cartográfica integrada digital do Brasil ao milionésimo elaborada pelo IBGE. 2005.

CUNHA, T. J. F. 2005. **Ácidos Húmicos de Solos Escuros da Amazônia (Terra Preta do Índio)**. Seropédica, 2005,139pp. Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P. M.; 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**, Manaus – AM, v. 37 p. 91-98, 2007.

DERENNE, S.; LARGEAU, C. A review of some important families of refractory macromolecules: Composition, origin, and fate in soils and sediments. **Soil Science**, Baltimore, v.166, p.883-884, 2001.

DESJARDINS, T.; ANDREUX, F.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Organic carbon and <sup>13</sup>C contents in soils and soil size- fractions, and their changes due to deforestation and pasture installation in eastern Amazonia. **Geoderma**, Amsdertan, v. 61, p. 103-118, 1994.

DIAS-FILHO, M. B.; ANDRADE, C. M. S. **Pastagens no trópico úmido**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental. 30p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 241), 2006.

FEARNSIDE, P. M. **Controle de Desmatamento no Mato Grosso: um Novo Modelo para Reduzir a Velocidade da Perda de Floresta Amazônica**. Trabalho apresentado no Seminário Aplicações do Sensoriamento Remoto e de Sistemas de Informação Geográfica no Monitoramento e Controle do Desmatamento na Amazônia Brasileira. Brasília, DF, 2002.

FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 108, p. 147-166, 1998.

GARCÍA-OLIVA, F.; CASAR, I.; MORALES, P.; MAASS, J. M. Forest-to-pasture conversion influences on soil organic carbon dynamics in a tropical deciduous forest. **Oecologia**, v. 99, p. 392-396, 1994.

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

GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; DUTRA, A. C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 863-873, 2007.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, London, v.362, n. 1478 p.187– 196, 2007.

GLASER, B., GUGGENBERGER, G., ZECH, W. Identifying the pre-Columbian anthropogenic input on present soil properties of Amazonian Dark Earths (Terra Preta). In: **Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time**. Springer, Berlin, p. 145-158, 2004.

GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G; ZECH, W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. **Organic Geochemistry**, v.31 p. 669-678, 2000.

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

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

JOURNAL, A. G. **Geostatistic for environmental science**. Las Vegas. Enviromental Protection Agency, 1988.

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

KÄMPF, N.; KERN, D.C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, 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.

KERN, D. C.; D`AQUINO, G.; RODRIGUES, T. E.; FRAZÃO, F. J. L.; SOMBROEK, W.; NEVES, E. G.; MYERS, T.P. Distribution of antropogenic dark earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; WOODS, W.; GLASER, B. (Org.). **Amazonian dark Earths: Origin, Properties, Management**. 1 ed. Norwell: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, v.1, p.51-76, 2003.

KERN, D.C. KÄMPF, N. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com Terra Preta Arqueológica na região de Oriximiná, Pará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.3, p.219-225, 1989.

LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. *Terra e Didatica*, v.2, n.1, p.19-33, 2006.

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C. & USECHE, R. A. Compression of agricultural soils from eight soils orders. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p.450-457, 1980.

LEÃO, A. B.; ANDRADE, A. R. S.; CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; GUERRA, H. O. C. Variabilidade espacial de fósforo em solo do perímetro irrigado Engenheiro Arcoverde, PB. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 38, n. 1, p. 1-6, 2007.

LEHMANN, J.; DA SILVA, JR.J.P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v.249, p.343-357, 2003.

LEMO FILHO, L. C. A.; OLIVEIRA, E. L.; FARIA, M. A.; LUIZ, A. B. A. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 39, p. 193-202, 2008.

LIMA, H. N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. Viçosa, 2001. 176 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

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**, Amsterdam, v. 110, n.1, p.1–17, 2002.

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

LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, R. B. & QUARTEZANI, W. Z. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob cultivo de pimenta-do-reino. **Engenharia na Agricultura**, v.15, p. 290-298, 2007.

LONGO, R. M. **Modificações em parâmetros físicos e químicos de Latossolos argilosos decorrentes da substituição da Floresta Amazônica e do Cerrado por pastagens**. 1999. 102 f. Tese (Doutorado em Água e Solo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

LOUREIRO, V. R. Amazônia: uma história de perdas e danos, um futuro a (re)construir. **Estudos Avançados**, v. 16, p. 107-121, 2002.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 172-188, 2009.

MAKEWITZ, D.; DAVIDSON, E.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. Nutrient loss and redistribution after forest clearing on a highly weathered soil in Amazonia. **Ecological Applications**, v. 14, p. 177-199, 2004.

MANZIONE, R. L.; RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial multivariada na avaliação de parâmetros químicos do solo. In: BALASTREIRE, L. A. **Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no período de 1999-2001**. Piracicaba, p.347, 2002.

MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1177-1182, 2000.

MARQUES JUNIOR, J. & LEPSCH, I. F. Depósitos superficiais neocenoicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto, SP. **Geociência**, v. 19, n. 2, p. 265-281, 2000.

MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial de matéria orgânica, P, K e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar por longo período. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.8, p. 143-152, 2008.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Littleton, v. 58, n.8, p. 1246-1266, 1963.

MATHERON, G. The theory of regionalized variables and its applications. **Les Cahiers du Centre de Morphologie mathématique**, v.5, 1971.

MELLO, J. M. SCOLFORO, J. R. S. Análise comparativa de procedimentos de amostragem em um remanescente de Florestal Estacional Semidecídua Montana. **Revista Ávore**, Viçosa, v. 24, n. 1, p.55-62, 2000.

MENDES, A. M. S.; FONTES, R. L. F.; OLIVEIRA, M. Variabilidade espacial da textura de dois solos do Deserto Salino, no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 1, p. 19-27, 2008.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.5, p.839-47, 2006.

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

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n. 11, p.1103-1110, 2004.

NETTER, V.; WASSERMAN, W; KUTNER, M. H. **Applied linear statistical models: regression analysis of variance, and experimental designs**, 3 ed. New York: Irwin, 1990.

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

NEVES, E.G.; PETERSON, J.B.; BARTONE, R.N. & SILVA, C.A. Historical and socio-cultural origins of Amazonian dark earths. In: LEHMAN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B. & WOODS, W.I., eds. **Amazonian dark earths; origin, properties and management**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p.29-50, 2003.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. 2000. Fertilidade do solo no sistema de plantio direto. In: Alvarez V., V. H; Schefer, C. E. G. R.; Barros, N. F.; Mello, J. W. V.; Costa, L. M. (Eds). **Tópicos em Ciências do Solo**. Vol. 2. Publicação da Sociedade Brasileira de Ciências do solo, Viçosa, Minas Gerais. p. 393-486.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E.; MARQUES JUNIOR, J.; NASCIMENTO, E. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háplico sob diferentes usos na região sul do amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1103-1112, 2013.

PEREIRA, W. L. M.; VELOSO, C. A. C.; GAMA, J. R. N. F. Propriedades químicas de um Latossolo Amarelo cultivado com pastagens na Amazônia Oriental. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 531-537, 2000.

SALIMON, C. I.; WADT, P. G. S.; MELO, A. W. F. Dinâmica do carbono na conversão de florestas para pastagens em Argissolos da Formação Geológica Solimões, no Sudoeste da Amazônia. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 7, p. 29-38, 2007.

SALTON, J. C.; CARVALHO, P. C. F. **Heterogeneidade da pastagem – causas e consequências**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. Doc. 91. 2007. 41p.

SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACHADO, L. A. Z. & OLIVEIRA, H. Pastoreio de aveia e compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 69, p.32-34, 2002.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVE, K. G. Variabilidade espacial de atributos de solo e *Crotalaria juncea* L. um área severamente erodido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.115-122, 1998.

SANTOS, A. C.; SALCEDO, I. H.; CANDEIAS, A. L. B. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 54, n. 1, p. 86-94, 2002.

SANTOS, L. A. C.; CAMPOS, M. C. C., AQUINO, R. E.; BERGAMIN, 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**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 825-836, 2013.

SIGUA, G. & HUDNALL, W. Kriging analysis of soil properties. **J. Soil Sediment**, v.8, p.193-202, 2008.

SILVA, F. W. R.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; MOTTA, M. B.; SANTANA, R. M. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (terras pretas de índio) na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 673-681, 2011.

SILVA, R. F.; BORGES, C. D.; GARIB, D. M.; MERCANTE, F. M. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um argissolo vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, n. 06, p. 2435-2441, 2008.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do Alto do Rio Grande – MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 719-730, 2005.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. Avaliação da variabilidade do estado nutricional e produtividade de café por meio da análise de componentes principais e geoestatística. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 2012, v.59, n.2, p.271-277, 2012.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; DE SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B.; DA SILVA, A. F. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 01, p. 1-8, 2010.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

SILVA, V. R.; REINERT, D. & REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 191-199, 2000.

SILVEIRA, P. M.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, S. C. & CUNHA, A. A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 2057-2064, 2000.

SIQUEIRA, D. S. **Suscetibilidade magnética para a estimativa de atributos do solo e mapeamento de áreas sob cultivo de cana-de-açúcar**. 75 f. 2010. Dissertação de Mestrado (Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. 2010.

SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JR., J.; PEREIRA, G.T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. **Geoderma**, v. 155, n. 1-2, p. 55-66, 2010.

SMITH, C. W.; JOHNSTON, M. A. & LORENTZ, S. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. II. Soil properties affecting compactibility and compressibility. **Soil Tillage Research**, v. 43, p. 335-354, 1997.

SMITH, N. J. H. Anthrosol and human carrying capacity in Amazonia. In: Annals of the association of American Geographers, 70. **Anais Durham**, 1980. p. 553-566.

SOMBROEK, W; KERN, D; RODRIGUES, T.; CRAVO, M. S.; CUNHA, T. J. F.; WOODS, W.; GLASER, B. **Terra Preta e Terra Mulata: sua potencialidade agrícola, sustentabilidade e replicagem**. 2002.

SOUZA, E. D. de; COSTA, S. E. V. G. de A.; LIMA, C. V. S.; ANGHINOMI, I.; MEURER, E. J.; CARVALHO, P. C. de F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3 p.1273-1282, 2008.

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**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 937-944, 2004.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. & BARBIERI, D. M. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 2, p.161-168, 2006.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, p. 48-56, 2009.

SPAIN, J. M.; GUALDRÓN, R. Degradación y rehabilitación de pasturas. In: LASCANO, C.E.; SPAIN, J.M. (Eds.). **Establecimiento y renovación de pasturas**. Cali: CIAT. 1991. p. 269-283.

TANNER, C. B. & MARMARIL, C. P. Pasture soil compaction by animal traffic. **Agronomy Journal**, v. 51, p. 329-331, 1959.

TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. **As Terras Pretas de índios da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus, Editora da Universidade Federal do Amazonas – EDUA, 2010.

TEIXEIRA, W.G.; MARTINS, G.C. Soil physical characterization. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Ed.). **Amazonian dark earths; origin, properties and management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p.271-286, 2003.

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

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.5, p.1173-1184, 2007.

VELOSO, H.P. RANGEL-FILHO, A. L. R. & LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 1991.

VENDRUSCULO, L. G. **Desenvolvimento de um sistema computacional para análise geoestatística**. Campinas, 2001, 87f. (Dissertação de Mestrado), Universidade Estadual de Campinas.

VENDRÚSCULO, L. G. **Uso de índice de desempenho e do critério de informação de Akaike para ajuste de modelos de semivariogramas**. Campinas: EMBRAPA, 2003. 4 p. (Comunicado técnico, 58).

VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F.; SIQUEIRA, G. M.; DUFRANC, G. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v.70, n. 1, p.185-195, 2011.

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of American Journal**, v.45, n.3, p.1040-1048, 1981.

VIEIRA, S. R.; Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.) **Tópicos ciência do solo - Campinas**: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54. 2000.

WOODS, W. I.; MCCANN, J. M. El origen y persistencia de lãs tierras negras de la Amazonía. In: Hiraoka, M.; Mora, S. (Eds). **Desarrollo Sostenible en la Amazonía**, Abya Ayala, Quito, Ecuador. p. 23-30, 2001.

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

## **CAPÍTULO 2 - Variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.**

### **RESUMO**

As terras pretas arqueológicas são ambientes propícios ao crescimento e desenvolvimento das diversas espécies de plantas, porém, vem sendo gradativamente ocupadas com pastagem. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM. Foi delimitada uma grade amostral nas dimensões 80 x 56 m, com 88 pontos amostras, em intervalo regular de 08 x 08 m, cada ponto amostral foi georreferenciado, e em seguida, coletou-se amostras de solos nas seguintes profundidades: 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, num total de 352 amostras de solos. Foi determinada a textura do solo, os atributos físicos, o carbono orgânico total (COT), estoque de carbono (Est. C), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e o pH em água. Efetuou-se a análise descritiva dos dados, e em seguida foram modelados semivariogramas com predomínio dos modelos esféricos e exponenciais, obtendo-se as respectivas validações cruzadas próximas de 1. A estrutura de dependência espacial variou entre forte e moderada, com exceção para as variáveis resistência do solo à penetração (RP), umidade do solo (Us), diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e pH em água, que apresentaram efeito pepita pura, em suas distintas profundidades. O alcance variou de variável para variável, com destaque para o silte na profundidade 0,10-0,20 m, com a maior continuidade espacial, enquanto que o pH em água apresentou a maior descontinuidade espacial. Os mapas de krigagem mostram-se importante no estudo e compreensão da variabilidade espacial dos atributos, uma vez que é possível visualizar a distribuição dos atributos na área.

Palavras-chave: Krigagem, Terra Preta Arqueológica, Variabilidade Espacial.

## ABSTRACT

Archaeological black soils are conducive to the growth and development of several plant environments, however, has gradually been occupied by grazing, depending on which management may be associated with changes in soil properties. Thus, the aim of this study was to evaluate the spatial variability of soil properties in an area of archaeological black earth under pasture in the region of Manicoré, AM. Was enclosed in a sampling grid dimensions 80 x 56 m with 88 points samples in regular range of 08 x 08m, each sample point was georeferenced, and then was collected soil samples at the following depths: 0.00 to 0, 05; 0.05-0.10; 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m, a total of 352 soil samples. Soil texture, physical attributes, TOC, C Est, DMP, DMG and pH in water was determined. We conducted a descriptive analysis of the data, and then semivariogramas predominantly spherical and exponential models were modeled to give their upcoming 1 cross validations. The structure of spatial dependence varied between strong and moderate, except for RP, Us, DMG, DMP and water pH variables with pure nugget effect, in their different depths. The range varied from variable to variable, especially in the silt depth 0.10-0.20 m, with greater spatial continuity, while the pH in water had the highest spatial discontinuity. The kriging maps show to be important for the understanding of the spatial variability of the attributes, since it is possible to visualize the distribution of attributes in the area.

**Keywords:** Kriging, Terra Preta Archaeological, Spatial Variability.

## 2.1 INTRODUÇÃO

As informações a respeito da distribuição de solos na Amazônia são fundamentadas, principalmente em levantamentos generalizados de solos. Poucos são os trabalhos ao nível de detalhe ou semidetalhe, o que permite concluir que, não obstante a monotonia da paisagem, os tipos de solos amazônicos são bastante variáveis.

A grande diversidade geológica existente na Amazônia, aliada ao relevo diferenciado, resultou na formação das mais variadas classes de solo, sob a influência das altas temperaturas e precipitações, características do clima tropical úmido. Contudo, a fertilidade natural dos solos, em geral, é baixa e depende dos nutrientes que recebe da floresta (LOUREIRO, 2002). No entanto, a ocorrência de áreas denominadas de Terra Preta Arqueológica (TPA), tem despertado grande interesse por parte dos pesquisadores, devido ao seu alto teor de matéria orgânica e a seus atributos químicos e físicos que propiciam melhor desenvolvimento das plantas quando comparados aos solos não antropogênicos, conferindo maior fertilidade as TPAs, conforme destaca Campos et al. (2012). Estas áreas de TPAs são caracterizadas por apresentarem um horizonte A antrópico de cor escura com alto teor de matéria orgânica e presença de fragmentos cerâmicos.

De modo geral, a Amazônia nos últimos tempos vem sofrendo alterações significativas por meio de ações antrópicas, principalmente em atividades voltadas para pecuária. Segundo Longo et al. (1999) estudando as mudanças decorrentes da substituição de florestas por pastagens na Amazônia observou que ocorrem significativas alterações nos atributos físicos do solo. Para Souza et al. (2008), áreas de pastagens manejadas de forma ineficiente, normalmente sem rotação e com excesso de animais, é comum a presença de camadas compactadas pelo pisoteio dos animais. Em solo compactado, ocorre menor infiltração da água de chuvas e, assim, maior escoamento superficial, intensificado pelo aumento na declividade e presença de pouca matéria vegetal na superfície do solo.

Uma técnica que vem intensamente utilizada na avaliação e a compreensão nos atributos do solo é a geoestatística, que permite descrever a continuidade espacial, característica essencial de muitos fenômenos naturais. A geoestatística oferece um conjunto de ferramentas estatísticas que incorporam, no processamento dos dados, as coordenadas espaciais das observações (ISAAKS E SRIVASTAVA, 1989).

O manejo de animais sobre as pastagens causa modificações físicas do solo em médio e longo prazo, e estas modificações variam no espaço. Miguel et al. (2009) relataram a

dependência espacial de atributos do solo em pastagens e observaram variação na infiltração de água em função da intensidade de pisoteio.

Neste segmento, diversos trabalhos na região Sul do Estado do Amazonas tem utilizado a geoestatística, como ferramenta para caracterizar a dependência espacial dos atributos do solo os quais vem sendo intensamente estudados e modelados, permitindo a sua visualização espacial.

Dentre os trabalhos com dependência espacial na região, pode-se destacar o de Aquino et al. (2014), analisando a distribuição espacial de atributos químicos do solo em área de pastagem e floresta, relatam que a ferramenta geoestatística forneceu informações adequadas para a compreensão da distribuição espacial. Já Alho (2013) avaliando a variabilidade espacial dos atributos do solo em campo natural e floresta, no Sul do Amazonas, concluiu que por meio da geoestatística, foi possível verificar a dependência espacial das variáveis em estudo. Campos et al. (2013), encontraram variabilidade espacial em atributos físicos, em solo sob sistema agroflorestal, e afirmam, que estes atributos, podem sofrer alterações, quando submetidos a outras formas de manejo.

Silva (2013), em estudo dos atributos do solo e emissão de CO<sub>2</sub> em área de terra preta arqueológica sob cultivo de cacau, observou que tais atributos apresentaram dependência espacial e alta continuidade espacial. Por outro lado Oliveira (2013), estudando ambientes de floresta, TPA e pastagem, observou, que os atributos físicos e químicos estrutura de variabilidade espacial e maior afinidade dos atributos do solo ao ambiente com TPA, e também as áreas com TPA e pastagem apresentam maior dependência espacial dos atributos do solo.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.

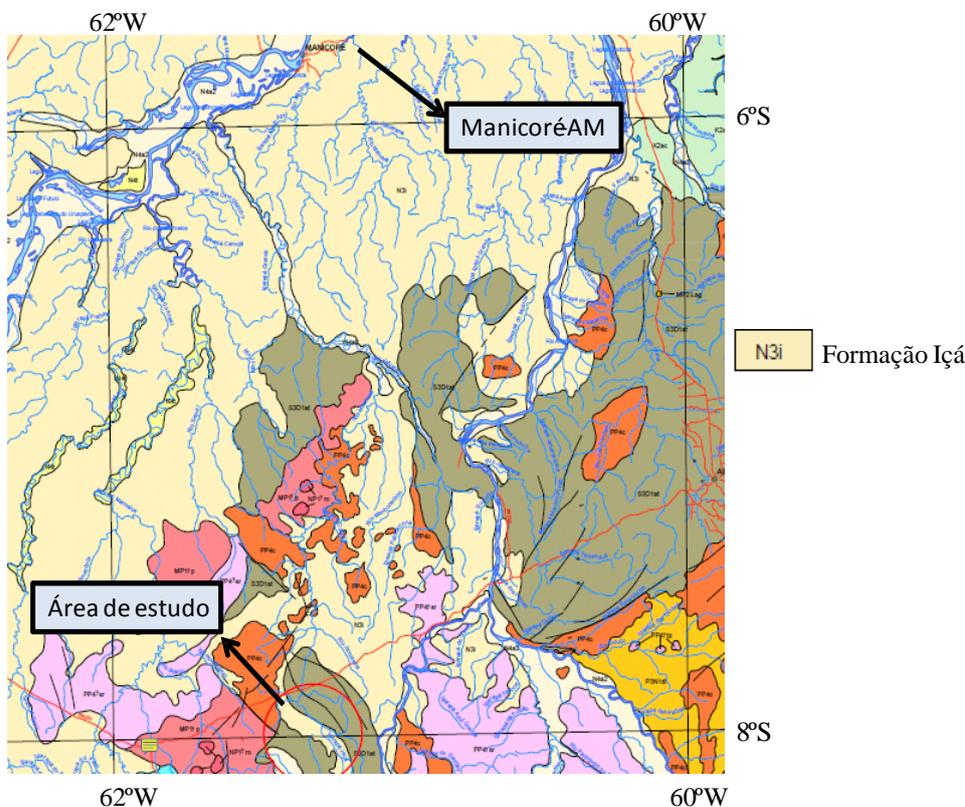
## 2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.2.1 Caracterização do meio físico

A área de estudo, localiza-se no sul do Estado do Amazonas, nas imediações da comunidade de Santo Antônio de Matupi, às margens da BR 230, rodovia Transamazônica, região de Manicoré, AM.

A região apresenta configuração do relevo marcada pela presença de platôs nas partes mais elevadas, apresentando superfícies planas, e por planície nas partes mais baixas, que tem como principais características a presença de uma superfície pediplanada, localmente interrompida por colinas de topo plano (CPRM, 2001).

Com relação à geologia, segundo o mapa geológico do Estado do Amazonas (Escala 1:1.000.000) (CPRM, 2006), a área de estudo localiza-se sobre a Formação Içá (Figura 2.1) esta, caracteriza-se como produto de sedimentação pleistocênica, é coberta por depósitos eólicos. A sequência Cretácea corresponde aos depósitos fluviais da Formação Alter do Chão, preservados devido à subsidência relacionada à orogenia andina ou à formação de montanhas no Território Madeira.



Fonte: (CPRM, 2006)

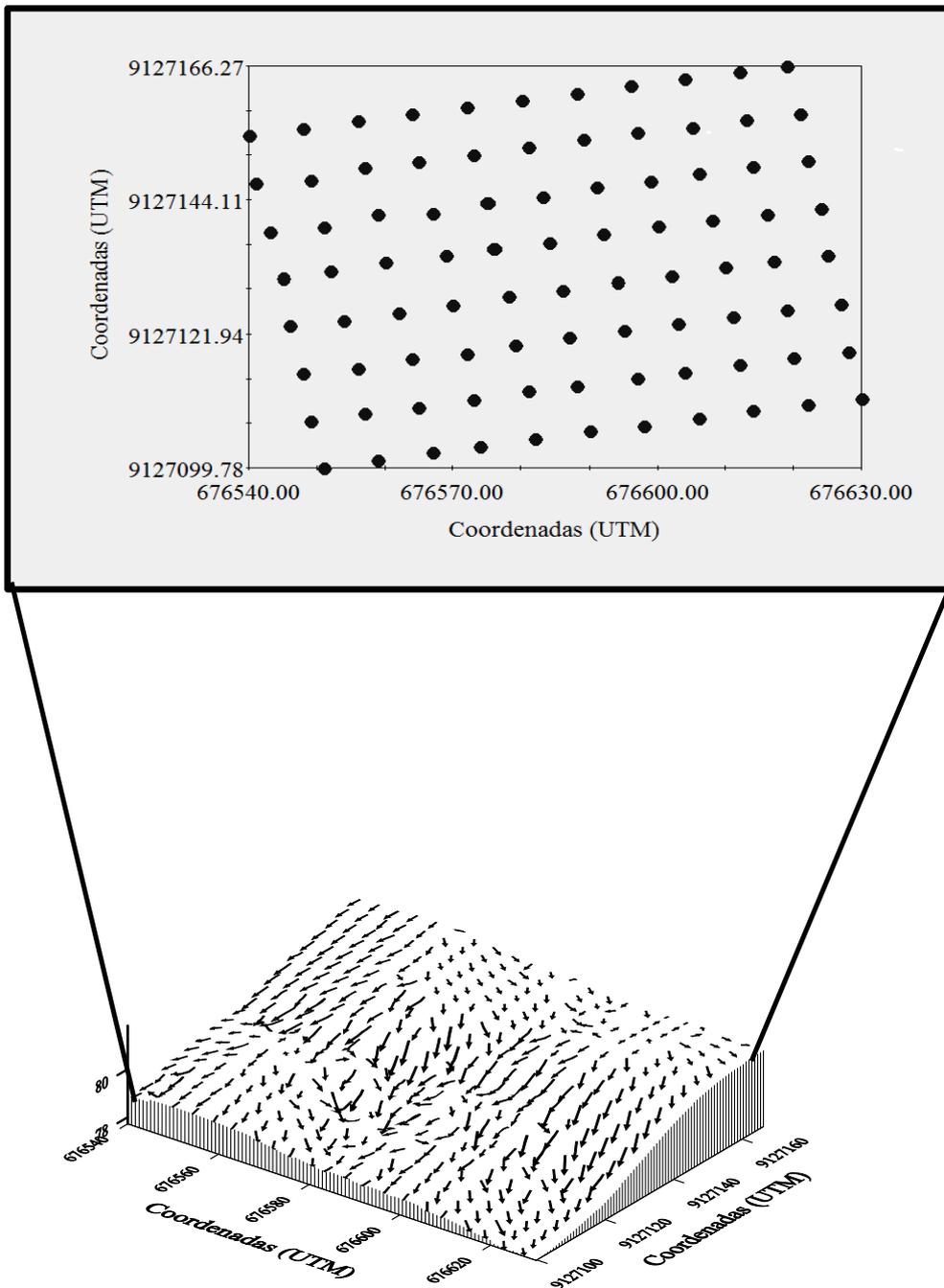
**Figura 2.1-** Geologia da área de estudo do município de Manicoré, AM

O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (CAMPOS, 2009) e a vegetação primária da região é Floresta Tropical Densa.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso, apresentando um período seco de pequena duração (Am), temperaturas variando entre 25 e 27 °C e precipitação média anual de 2.500 mm, com período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho e umidade relativa do ar entre 85 e 90%.

### 2.2.2 Metodologia de Campo e Laboratório

O estudo foi realizado em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem, com aproximadamente 07 anos de uso com pastejo extensivo. Neste local, foi delimitada uma malha amostral nas dimensões de 56 x 80 m, com espaçamento regular entre os pontos de 8 x 8 m, totalizando 88 pontos amostrais, os quais foram georreferenciados. Em seguida, sob cada ponto amostral foi aberta uma trincheira de 0,50 x 0,50 x 0,40 m e nestas coletadas amostras de solos com estrutura preservada nas profundidades: 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, totalizando 352 amostras de solo.



**Figura 2.2-** Localização da área de estudo e pontos de amostragem em malha regular.

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 minutos, seguindo metodologia proposta pela Embrapa (1997), utilizando-se 50g de solo. A fração argila foi separada por sedimentação, a areia por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. e o silte foi calculado por diferença ao complemento dos percentuais para 100%, foi obtido por diferença das outras frações em relação à amostra original.

As amostras com estrutura preservada coletadas em cilindros metálicos foram levadas ao laboratório para as determinações da macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e porosidade total, seguindo metodologia proposta pela Embrapa (1997). No laboratório, as amostras foram preparadas, em seguida foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água numa bandeja plástica até atingir cerca de 2/3 da altura dos cilindros.

Conforme Embrapa (1997), após a saturação as amostras foram pesadas e levadas à mesa de tensão para determinação da microporosidade do solo, em seguida foi medida a resistência do solo à penetração (RP), utilizando um penetrógrafo eletrônico modelo MA-933, marca Marconi, equipado com uma célula de carga de 200 N, haste com cone de 4 mm de diâmetro de base e semi-ângulo de 30°, receptor e interface acoplado a um microcomputador, para registro das leituras por meio de um software próprio do equipamento.

Com a determinação da RP, as amostras foram levadas à estufa a 105 °C por 48 h para se determinar a umidade volumétrica, densidade do solo e porosidade total pelo método do anel volumétrico e a macroporosidade foi determinada pela diferença entre porosidade total e microporosidade (EMBRAPA, 1997).

Nos pontos de cruzamento das malhas foram coletados blocos de solo com estrutura preservada nas profundidades 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m para determinação da estabilidade dos agregados do solo. As amostras foram levemente destorroadas, de forma manual, e passadas em peneira de 9,51mm de diâmetro de malha e retidas na peneira de 4 mm, secadas a sombra para as análises relativas à agregação. Os resultados da análise foram expressos pelo diâmetro médio geométrico (DMG), e diâmetro médio ponderado (DMP), os quais foram avaliados por peneiramento via úmida, em dispositivo oscilatório vertical dentro de recipientes com água, conforme Kemper e Chepil (1965).

O pH foi determinado potenciométricamente, utilizando-se a relação 1:2,5 de solo: em água. O carbono total foi determinado pelo método de *Walkley-Black* modificado por Yeomans e Bremner (1988), a matéria orgânica por sua vez, foi estimada com base no carbono orgânico. O estoque de carbono (Est C) nas profundidades de coleta de 0,0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, e foi calculado pela expressão (WELDKAMP, 1994):

$$\text{Est C} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times e) / 10$$

Onde:

Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg ha<sup>-1</sup>)

CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g kg<sup>-1</sup>)

Ds = densidade do solo da profundidade (kg dm<sup>-3</sup>)

e = espessura da camada considerada (cm).

### 2.2.3 Análise Estatística Descritiva e Geoestatística.

Com objetivo de obter informações preliminares sobre a dispersão das variáveis em estudo, inicialmente, a variabilidade dos dados foi avaliada por meio de estatística descritiva utilizando-se a média, mediana, desvio padrão, valores máximos e mínimos, coeficientes de assimetria e curtose e, o coeficiente de variação e a hipótese de normalidade dos dados foram testados pelo teste de (Kolmogorov-Smirnov). Esta análise foi realizada no software estatístico Minitab 14 (MINITAB, 2000).

Para a análise do CV, usou-se a classificação de Warrick e Nielsen (1980), com variabilidade baixa para valores menores de 12 %; média, entre 12 e 60 %; e alta maiores que 60 %.

A análise da variabilidade espacial dos atributos estudados foi realizada por meio da geoestatística, considerando a dependência espacial no intervalo de amostragem (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989). A dependência espacial foi realizada por meio de semivariogramas ajustados com base nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca, estimado na seguinte Equação:

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

sendo:

$\gamma(h)$  - valor da semivariância para uma distância  $h$ ;

$N(h)$ : número de pares envolvidos no cálculo da semivariância;

$Z(x_i)$ : valor do atributo  $Z$  na posição  $x_i$ ;

$Z(x_i+h)$ : valor do atributo  $Z$  separado por uma distância  $h$  da posição  $x_i$ .

Do ajuste de um modelo matemático ao semivariograma experimental (exponencial, esférico, gaussiano) foram obtidas as estimativas das variáveis do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita,  $C_0$ ; patamar,  $C_0 + C_1$  e o alcance,  $a$ ).

O grau de dependência espacial (GDE) foi realizada com base na razão entre o efeito pepita ( $C_0$ ) e o patamar ( $C_0+C_1$ ), que permite classificar o grau de dependência espacial  $C_0/(C_0+C_1)*100$ .

O  $C_0$ : efeito pepita (representa a variação aleatória do fenômeno estudado);  $C_0+C_1$ : patamar (variação total do fenômeno avaliado). O grau de dependência espacial das variáveis

em estudo, foi classificado conforme Cambardella et al. (1994), sendo considerada fraca para (GDE) superior a 75 %, moderada entre 25 e 75% e forte para (GDE) inferior a 25%.

A fim de verificar a qualidade do ajuste do semivariograma aos dados experimentais, e assim constatar o modelo que melhor se adequou, a escolha dos modelos teóricos foi realizada, observando-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), e posteriormente, o de maior valor do coeficiente de correlação obtido pelo método da validação cruzada, apresentada por Vieira et al. (1981), o qual foi aplicado para o estudo do melhor modelo de ajuste aos dados e método de semivariograma, segundo sugestão de Isaaks e Srivastava (1989). Todos os resultados dos semivariogramas foram obtidos no programa  $GS^+$  (ROBERTSON, 2008). Após obtenção dos semivariogramas e constatação da dependência espacial, mapas de isolinhas foram gerados utilizando-se, como interpolador (preditor) o método da Krigagem por meio do programa Surfer versão 8.00.

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados referentes à análise descritiva da textura do solo são apresentados na Tabela 2.1. A fração areia foi a dominante em todas as profundidades, fato este, justificável pela natureza grosseira do material de origem oriundos dos arenitos da Formação Içá. Campos et al. (2011) caracterizando terras pretas arqueológicas na região de Manicoré, AM, observou a fração areia dominante em todos os perfis analisados. Da mesma forma, Santos et al. (2013), em estudo com caracterização de terras pretas arqueológicas na região Sul do Amazonas, verificou que em 1 dos 7 perfis analisados, houve a predominância de areia. Silva et al. (2012), ao analisarem a mineralogia e geoquímica de perfis de solo com terra preta arqueológica, indicaram a dominância da fração areia, sobre as frações mais finas (silte e argila). Por outro lado, Aquino et al. (2014), analisando os atributos físicos em áreas de floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, verificou os maiores teores de areia em área de pastagem.

A maior concentração de areia entre as frações texturais é uma característica comum das TPAs, segundo SMITH (1980) tal característica é oriunda da ocupação antrópica, em 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 (TEIXEIRA et al., 2009).

De acordo com Resende et al. (2012) solos arenosos são caracterizados por macroporos, conseqüentemente, tendem a apresentar maior permeabilidade. Kitamura et al. (2007), afirmam que a relação da textura do solo com os demais atributos é de suma importância, uma vez que este é um dos atributos físicos do solo mais estáveis. Para Vieira et al. (1988), a infiltração, permeabilidade às raízes e a aeração, são bastante influenciadas pela textura.

Os valores de média e da mediana para todas as variáveis foram similares, tendendo a uma distribuição simétrica. Segundo Lima et al. 2014, valores próximos de média e mediana, atendem às condições de normalidade, ou seja, os valores não são dominados por valores atípicos de distribuição e são mais adequados para uso da geoestatística. Os coeficientes de assimetria e curtose próximos a zero, reforçam a proximidade à simetria na distribuição dos dados. Cortez et al. (2011) ressaltam que a assimetria e curtose servem como indicadores de distribuição dos valores analisados, no qual o ideal é que estes estejam próximos do valor central zero.

Os resultados do teste de Komogorov-Smirnov (KS), dos atributos (Tabela 2.1), apenas o silte, argila na profundidade 0,00-05m, areia na profundidade 0,05-0,10m e argila na profundidade (0,20-0,30m) não apresentaram normalidade. A normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, é conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as análises (WEBSTER, 1985; CRESSIE, 1991).

Tabela 2.1- Estatística descritiva da textura do solo em diferentes profundidades de Terra Preta Arqueológica sob pastagem no município de Manicoré, AM.

Estatística descritiva	g kg <sup>-1</sup>					
	0,00-0,05 m			0,05-0,10 m		
Média	711,13	235,49	51,18	706,28	222,956	71,59
Mediana	711,77	234,64	50,18	711,94	220,94	71,80
Máximo	778,51	333,42	89,92	786,71	319,69	125,28
Mínimo	641,14	165,09	25,72	613,35	144,47	32,28
<sup>1</sup> DP	30,60	31,29	15,11	33,08	34,12	20,46
Variância	936,21	979,29	228,37	1094,58	1164,50	418,77
<sup>2</sup> CV%	4,30	13,29	29,53	4,68	15,30	28,58
Assimetria	-0,20	0,43	0,57	-0,93	0,51	0,48
Curtose	-0,63	0,90	-0,20	1,11	0,54	-0,14
<sup>3</sup> d	0,15*	0,01ns	0,01ns	0,01ns	0,15*	0,15*
	0,10-0,20 m			0,20-0,30 m		
Média	713,76	205,94	73,91	748,59	185,53	64,02
Mediana	715,77	206,21	73,20	747,81	185,04	61,56
Máximo	786,79	276,60	130,36	794,89	267,70	109,24
Mínimo	630,55	112,76	30,94	687,17	99,16	37,44
<sup>1</sup> DP	31,67	34,54	24,66	29,22	36,84	18,73
Variância	1003,54	1193,55	608,41	854,01	1357,62	350,96
<sup>2</sup> CV%	4,43	16,77	33,37	3,90	19,85	29,25
Assimetria	-0,48	-0,41	0,28	-0,11	0,02	0,50
Curtose	0,40	0,23	-0,11	-0,83	-0,57	-0,74
<sup>3</sup> d	0,15*	0,15*	0,15*	0,15*	0,15*	0,01ns

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

Os atributos texturais apresentaram baixo e médio CV, com destaque para areia que apresentou o menor valor 3%, o silte e argila apresentaram os maiores valores, 19,0% e 33,0% respectivamente.

Adotando-se os critérios propostos por Warrick e Nielsen (1980), que consideram os valores do coeficiente de variação entre 12% e 60% como media variabilidade e os valores abaixo 12%, como baixa variabilidade e acima 60%, alta variabilidade. Segundo estes autores,

um CV indica, quando maior que 60%, uma série mais heterogênea; mesmo assim, inferior a 12% representa uma série mais homogênea.

Neste sentido, a variável areia para ambas as profundidades, apresentou um CV, abaixo de 12%, demonstrando menor heterogeneidade desse atributo para a área de estudo; as demais variáveis silte e argila apresentaram um CV entre 12-16%, classificados como média variabilidade. Lima et al. (2006) encontraram valores de média variabilidade para as frações argila e silte e baixa para a fração areia em solos franco-arenosos cultivados com mamão. Resultado semelhante foi observado por Cajazeiras e Assis Júnior (2011) para fração areia em um Argissolo Amarelo no Estado do Ceará. O silte apresentou um médio CV, segundo Lima et al. (2009), a variação desta variável, pode estar relacionada ao seu processo de determinação, por incorporar parte da variabilidade existentes nas frações areia e argila. Chig et al. (2008) analisando a distribuição espacial da granulometria do solo na Amazônia meridional, também observou para o teor de argila médio CV.

Cabe ressaltar que as frações texturais são estáveis, ou seja, se modificam pouco ao longo do tempo, apresentando baixo coeficiente de variação Eguchi et al. (2002). Para Guimarães (2000), os coeficientes de variação baixos para as frações texturais, já são esperados uma vez que o manejo do solo não influencia a variabilidade destes atributos. Portanto a variabilidade espacial apresentada pelas frações texturais está relacionada aos fatores de formação do solo, já que dificilmente o manejo do solo alteraria a composição textural, tampouco promoveria seu arranjo espacial, conforme discutido por Berner et al. (2007).

A análise geoestatística, realizada por meio dos semivariogramas, evidenciou que todas as frações texturais apresentaram dependência espacial, logo, a distribuição no espaço desses atributos não é aleatória (Tabela 2.2). O alcance da autocorrelação espacial, ou seja, a distância máxima à qual os atributos estão espacialmente correlacionados (VIEIRA et al., 1983), apresentaram valores maiores que a grade amostral (08x08 m), o que evidencia a adequação do espaçamento de amostragem, na caracterização da dependência espacial da área.

Pode-se observar que os valores do alcance obtidos variam de 13,20 a 76,31 m, os quais correspondem aos raios das áreas consideradas homogêneas para cada variável estudada. Desta forma, todos os vizinhos situados dentro de um círculo, com esse raio igual ao alcance, sejam similares e podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (VIEIRA E LOMBARDI NETO, 1995). Observa-se que os atributos que apresentaram

menor e maior alcance foram o teor de areia na profundidade 0,05-0,10 m e o silte na profundidade 0,10-0,20 m respectivamente.

De modo geral, os maiores alcances para as frações texturais foram observados na profundidade superficial 0,00-0,05 m, quando comparado com a profundidade 0,20-0,30 m. Este fato está de acordo com um importante conceito em gênese do solo, no qual o maior tempo relativo de exposição dos horizontes superficiais condiciona sua maior taxa de intemperismo Montanari et al. (2008).

Tabela 2.2- Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas ajustados aos dados da textura do solo em diferentes profundidades de Terra Preta Arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.

Parâmetros	0,00-0,05 m			0,05-0,10 m		
	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia
Modelo	Esf	Exp	Esf	Exp.	Esf	Esf
<sup>1</sup> (C <sub>0</sub> )	760	143,58	737	144	155	30
<sup>2</sup> (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	1389,87	268,24	1356,44	1309	512,7	1099
<sup>3</sup> a (m)	57,29	42,90	42,12	16,20	67,37	13,20
<sup>4</sup> R <sup>2</sup>	0,80	0,75	0,86	0,88	0,98	0,79
<sup>5</sup> GDE (%)	55	53	54	11	32	3
<sup>6</sup> VC%	0,98	0,91	0,95	0,87	1,00	0,96
	0,10-0,20 m			0,20-0,30 m		
Modelo	Esf	Esf	Esf	Esf	Exp	Exp
(C <sub>0</sub> )	605	363	499	51	44,4	146
(C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	1497	726,1	1209	1362	351,91	1159
a (m)	76,31	59,90	69,50	15,40	20,70	20,10
R <sup>2</sup>	0,98	0,94	0,96	0,64	0,91	0,72
GDE (%)	40	50	41	4	13	13
VC%	0,98	0,99	0,99	0,99	0,95	0,84

Esf.: Esférico; Exp.: Exponencial; <sup>1</sup> C<sub>0</sub>: efeito pepita; C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>: patamar; a: alcance (m); R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; GDE%: grau de dependência espacial e; VC: validação cruzada.

O ajuste dos modelos matemáticos que melhor ilustrasse o comportamento espacial da variável em função da distância foram o esférico e o exponencial. Nos trabalhos de variabilidade espacial de características texturais é comum encontrar ajuste dos semivariogramas a esses dois modelos (CAMPOS et al., 2007; MENDES et al., 2008). Nos trabalhos de variabilidade espacial de características do solo é comum se encontrar ajuste dos semivariogramas a esses dois modelos.

Com relação à eficiência do ajuste, os valores do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) estimativa da textura do solo em locais não amostrados, apresentaram resultados satisfatórios, de tal maneira que, variaram de 0,64 para o silte na profundidade 0,20-0,30 m e de 0,98 para a argila na profundidade 0,05-0,10 m. Esses resultados estão de acordo com a recomendação

segundo Issaks e Srisvastava (1989), que citam como satisfatórios valores da correlação entre 60 e 70 %, e ótimos acima de 70 %, para modelos de estimação da variabilidade espacial dos atributos do solo.

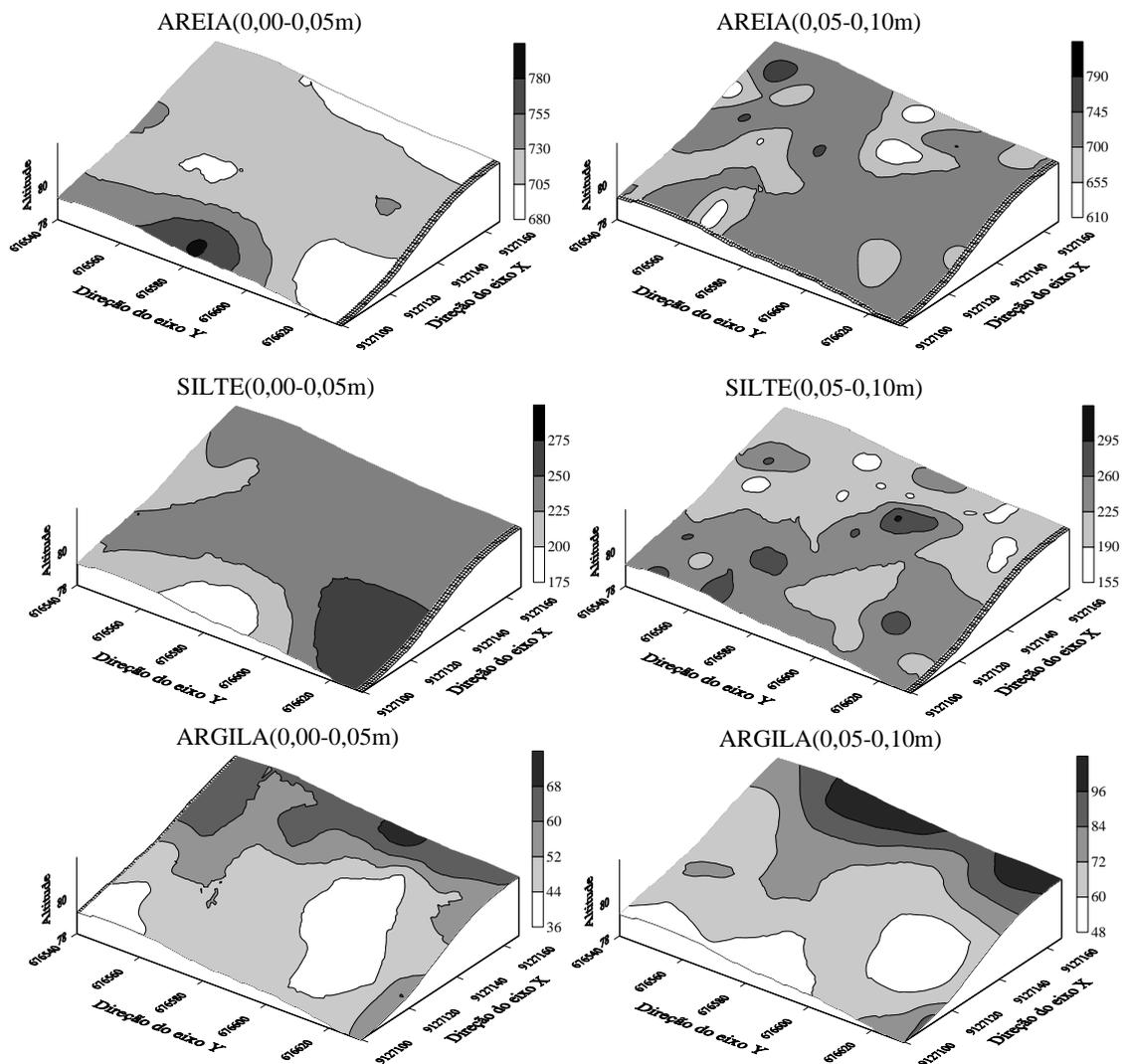
De acordo com Wojciechowski et al. (2009), a técnica de validação cruzada (VC) “*cross-validation*” fornece o coeficiente de regressão ( $r^2$ ) e mostra como resultado uma reta que passa entre as observações reais e estimadas, no qual os valores da validação cruzada (VC) variam de 0 a 1, sendo os valores mais próximos de 1 o mais eficiente modelo para representar o fenômeno estudado (RIBEIRO JUNIOR, 1995). Neste sentido, os valores das validações cruzadas representantes dos semivariogramas ajustados tiveram um desempenho próximo ao ideal, uma vez que variaram de 0,87 para o silte na profundidade de 0,05-0,10m e 1,00 para a argila na profundidade 0,05-0,10 m, desta maneira demonstram que o modelo ajustado teve uma boa precisão na estimativa de valores destes atributos em locais não amostrados.

A relação entre o efeito pepita ( $C_0$ ) e o patamar do semivariograma ( $C_0+C_1$ ) indicou o grau da dependência espacial dos atributos estudados (Tabela 2.2). Segundo a classificação proposta por Cambardella et al. (1994), as frações areia e silte na profundidade 0,05-0,10 m e areia, silte e argila na profundidade 0,20,-30m apresentaram forte dependência espacial [ $C_0/(C_0+C_1)$  25 %], e as demais frações, em todas as profundidades apresentaram moderada dependência espacial [( $C_0/(C_0+C_1)$ ) entre 25 e 75 %]. Resultados semelhantes foram encontrados por Leão et al. 2009, ao estudar a variabilidade espacial da textura do solo de um Latossolo sob cultivo de citros. Segundo Vieira (2000), o grau de dependência espacial forte e moderado demonstrou que os semivariogramas explicaram a maior parte da variância dos dados experimentais com grande confiabilidade na estimativa.

Baseado nos modelos de semivariância e levando-se em consideração os parâmetros ajustados para as frações texturais, utilizando a técnica de krigagem ordinária, foram interpolados os valores amostrados a fim de se construir os mapas da variabilidade espacial dos atributos estudados. Os mapas são apresentados nas (Figura 2.3 e 2.4), foram confeccionados utilizando 5 classes de divisão, afim de buscar uma melhor representação da distribuição dos valores na área de estudo.

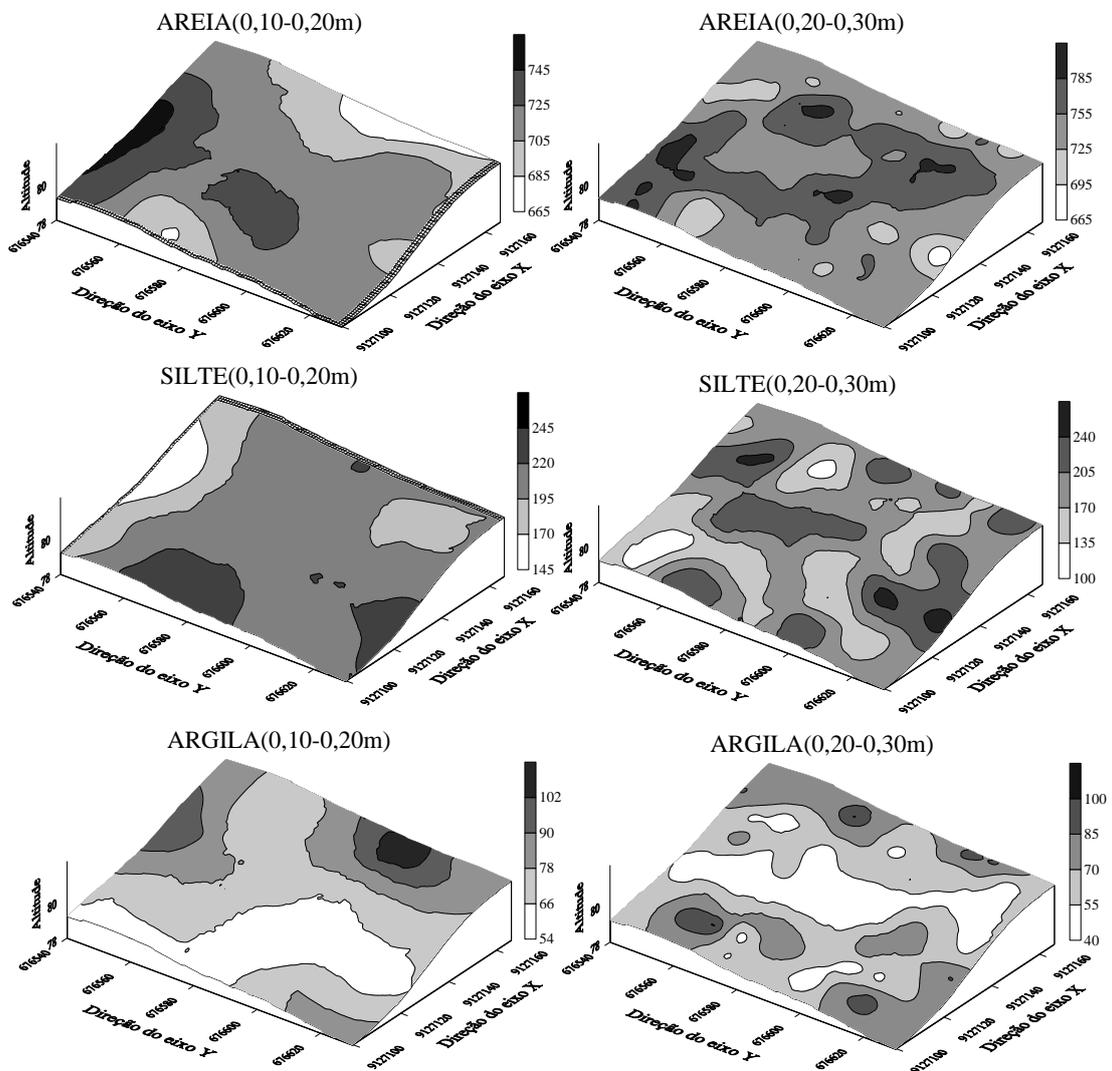
Os mapas das frações texturais na profundidade 0,00-0,05 m indicam inteira relação na distribuição espacial; porém, em diferentes proporções na área. Verifica-se que a distribuição da fração areia registra seus maiores valores na parte inferior à esquerda. O silte apresenta-se com distribuição contrária a areia, ou seja, onde há maiores valores de silte, encontram-se os menores valores de areia. Já a argila, seus maiores são observados na parte superior da área,

com os menores valores na parte central e inferior. De acordo com Souza et al. (2004), as frações do solo geralmente apresentam comportamento inverso, principalmente de distribuição, pois como são medidos em porcentagem quando há acréscimo de um ocorre redução de outro. As frações texturais apresentaram boa distribuição na área, embora a areia manifestou-se mais intensamente na parte mais baixa (Figura 2.3). Isso ocorre, muito provavelmente, pelo processo de escoamento superficial em decorrência das chuvas, definindo uma região de deposição. Pequenas manchas observadas nos mapas para as frações areia e silte na profundidade (0,05-0,10m), são reflexos da baixa precisão na estimativa de valores em regiões não amostradas.



**Figura 2.3** – Mapas de krigagem para textura do solo de uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, nas profundidades 0,00-0,05 e 0,05-0,10m.

Observando os mapas da Figura 2.4, a fração areia na profundidade 0,10-0,20m apresenta-se com maiores valores na lateral esquerda, e com menores valores na parte superior do. O silte apresenta-se muito semelhante aos valores opostos da distribuição de porcentagem da areia. Para argila, observa-se que os maiores valores predominam na parte superior da área. A variação das características texturais do solo ocorrem em função do ambiente de deposição de sedimentos, da vegetação, do relevo que regula o tempo de exposição dos materiais a ação do intemperismo (YOUNG; HAMMER, 2000) e principalmente do material de origem (CUNHA et al., 2005).



**Figura 2.4** – Mapas de krigagem para textura do solo em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, nas profundidades 0,10-0,20 e 0,20-0,30m.

Na Tabela 2.3 são apresentados os resultados da análise descritiva dos atributos físicos do solo. Os valores dos atributos em estudo foram de média e mediana semelhante, mostrando distribuição simétrica; conforme Little e 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 e 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 2.3) respectivamente às profundidades 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 m. 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 contribuiu para obtenção de valores mais elevados de RP, foi a menor umidade do solo ( $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), quando comparado com as profundidades mais profundas ( $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para 0,10-0,20m e  $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para 0,20-0,30m).

Cabe ressaltar, que uma das atribuições para a elevada (RP), possivelmente pode ser à presença de fragmentos cerâmicos na área de TPA.

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

De maneira geral, os valores de Ds foram considerados baixos, uma vez que estes resultados são características de ambientes com TPA, corroborando com Campos et al., (2012), em trabalho com caracterização de TPAs na região de Manicoré, AM. Para Steinbeiss et al., (2009), este comportamento é resultante dos elevados teores de carbono orgânico e de

intensa atividade biológica (fauna e raízes), que constrói canais, cavidades e galerias. Resultados semelhantes relatou Barros et al., (2012), em estudos com caracterização física de terra preta de índio.

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

Tabela 2.3- Estatística descritiva dos atributos físicos do solo em diferentes profundidades em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.

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

Assimetria	0,97	0,30	0,17	-0,28	0,08	0,43
Curtose	1,65	0,16	0,86	0,31	2,26	0,04
<sup>3</sup> d	0,02ns	0,15*	0,148	0,15*	0,01ns	0,15*
0,20-0,30 m						
Média	0,57	1,16	0,37	0,18	0,27	0,46
Mediana	0,51	1,16	0,38	0,17	0,28	0,46
Máximo	1,38	1,39	0,60	0,31	0,39	0,55
Mínimo	0,24	0,96	0,20	0,09	0,16	0,39
<sup>1</sup> DP	0,21	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03
Variância	0,04	0,008	0,49	0,27	0,20	0,10
<sup>2</sup> CV%	38,07	7,84	18,75	28,10	16,15	7,00
Assimetria	0,97	-0,17	0,09	0,49	-0,48	0,30
Curtose	1,65	-0,20	1,16	-0,29	0,64	0,30
<sup>3</sup> d	0,01ns	0,15*	0,15*	0,01ns	0,01ns	0,15*

RP: resistência do solo à penetração; Ds: densidade do solo; Us (vol.): umidade volumétrica do solo; Macro: macroporosidade do solo; Micro: microporosidade do solo; PT: volume total de poros; <sup>1</sup>DP: desvio padrão; <sup>2</sup>CV: coeficiente de variação; <sup>3</sup>d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov; \*significativo a 5 % de probabilidade; ns: não significativo.

Para macro foram observados valores superiores a 0,10 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup> apresentando valores entre 0,11 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup> e 0,20 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup> nas profundidades amostradas (Tabela 2.3), segundo Kiehl (1979) a maioria das plantas desenvolve satisfatoriamente seu sistema radicular quando o volume de macroporos está acima de 0,10 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>. Esse valor é considerado limite para a adequação difusão de oxigênio, demonstrando que se garante, então, uma boa aeração para o desenvolvimento do sistema radicular e às atividades dos microorganismos. Por outro lado, conforme Megda et al. (2008), o crescimento das raízes pode ser prejudicado quando a macroporosidade do solo é reduzida a valor inferior a 0,15 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>. O valor obtido de 0,11 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup> na camada superficial, provavelmente deve-se ao manejo do solo, e ao pisoteio do gado.

Conforme o limite proposto por Brady e Weil (2008) como um solo ideal deve os valores de PT ser acima de 0,50 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>, 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<sup>3</sup>m<sup>-3</sup> a 0,46 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>, e a microporosidade, apresentou valores variando entre 0,26 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup> e 0,27 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>. Campos et al. (2011), observou a elevada porosidade total em estudos com classificação de terras pretas arqueológicas, fato justificável devido aos elevados teores de matéria orgânica e à intensa atividade biológica (fauna e raízes).

O Coeficiente de Variação (CV) foi classificado conforme Warrick e Nielsen (1980). Pelos valores de coeficiente de variação, verifica-se que a Ds e PT apresentaram CV de caráter baixo (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 2.4 são apresentados os modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas. Para análise de estrutura da dependência espacial, a qual só é possível por meio da geoestatística, em especial do semivariograma, todos os atributos apresentaram dependência espacial, exceto para RP na profundidade 0,05-0,10 e Umidade na profundidade 0,20-0,30m, sendo considerados como efeito pepita puro, indicando que para essas variáveis a distância de amostragem não foi capaz de exibir toda a variância dos dados e, provavelmente existe tendência nos dados em seguir determinada direção. Carvalho et al., (2011) e Souza et al., (2001), verificaram em seus trabalhos, efeito pepita puro para umidade. Segundo Cruz et al., (2010), os dados com essas características têm distribuição completamente aleatória na zona de estudo e independência espacial.

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

Tabela 2.4- Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas dos atributos físicos do solo em diferentes profundidades em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.

Parâmetros	RP	Ds	Us (vol)	Macro	Micro	PT
0,0-0,05 m						
Modelo	Exp	Exp	Esf	Esf	Esf	Esf
<sup>1</sup> (C <sub>0</sub> )	0,03	0,0014	0,89	5,37	0,27	0,38
<sup>2</sup> (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	0,27	0,0117	25,56	9,24	6,77	9,14
<sup>3</sup> a (m)	20,40	25,20	15,30	37,60	15,20	13,30
<sup>4</sup> R <sup>2</sup>	0,94	0,91	0,83	0,83	0,70	0,82
<sup>5</sup> GDE (%)	11	1	3	58	4	4
<sup>6</sup> VC%	0,80	0,98	0,95	0,93	0,99	0,90
0,05-0,10 m						
Modelo	-	Exp	Exp	Esf	Exp	Exp
<sup>1</sup> (C <sub>0</sub> )	-	0,0010	1,93	5,69	0,80	1,13
<sup>2</sup> (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	-	0,0086	14,52	14,97	3,00	10,76
<sup>3</sup> a (m)	-	24,90	33,90	33,10	37,50	20,70
<sup>4</sup> R <sup>2</sup>	-	0,94	0,92	0,87	0,92	0,85
<sup>5</sup> GDE (%)	-	11	13	38	26	10
<sup>6</sup> VC%	-	0,96	0,98	0,99	0,91	0,92
0,10-0,20 m						
Modelo	Exp	Exp	Esf	Exp	Esf	Exp
<sup>1</sup> (C <sub>0</sub> )	0,04	0,0012	19,57	2,01	5,39	1,85
<sup>2</sup> (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	0,07	0,010	40,16	14,41	12,01	15,18
<sup>3</sup> a (m)	71,13	21,90	52,90	27,60	68,81	21,00
<sup>4</sup> R <sup>2</sup>	0,74	0,82	0,92	0,73	0,96	0,82
<sup>5</sup> GDE (%)	57	12	48	14	45	12
<sup>6</sup> VC%	0,73	0,99	0,96	0,97	0,93	0,83
0,20-0,30 m						
Modelo	Esf	Exp	-	Exp	Esf	Exp
<sup>1</sup> (C <sub>0</sub> )	0,02	0,0008	-	2,72	8,66	1,22
<sup>2</sup> (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	0,04	0,008	-	23,75	17,33	8,96
<sup>3</sup> a (m)	50,90	20,70	-	18,30	50,00	22,50
<sup>4</sup> R <sup>2</sup>	0,92	0,87	-	0,89	0,92	0,82
<sup>5</sup> GDE (%)	50	10	-	11	50	13
<sup>6</sup> VC%	0,74	0,89	-	0,93	0,91	0,86

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

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

como material de origem, intemperismo de minerais, acúmulo de matéria orgânica e outros. A variabilidade extrínseca possui menor dependência espacial, sendo causada por alterações no uso do solo, como práticas culturais, espécie vegetal explorada, erosão, compactação etc.

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

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

Neste sentido, os maiores valores da continuidade espacial foram para RP e Micro na profundidade 0,10-0,20m, respectivamente com valores de 71,13 e 68,81 m; porém os demais atributos apresentaram alcance entre 13,30 e 52,90 m (Tabela 2.4). As variáveis físicas em estudo apresentaram alcances maiores que o estabelecido na malha amostral, podendo salientar que a continuidade espacial variou de variável para variável.

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

Os mapas das (Figura 2.5, 2.6, 2.7 e 2.8) 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 2.5), 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 e Costa (1997) é por conta da presença de fragmentos cerâmicos.

Cabe ressaltar, que a RP é influenciada por vários fatores, sendo a densidade e a umidade os principais.

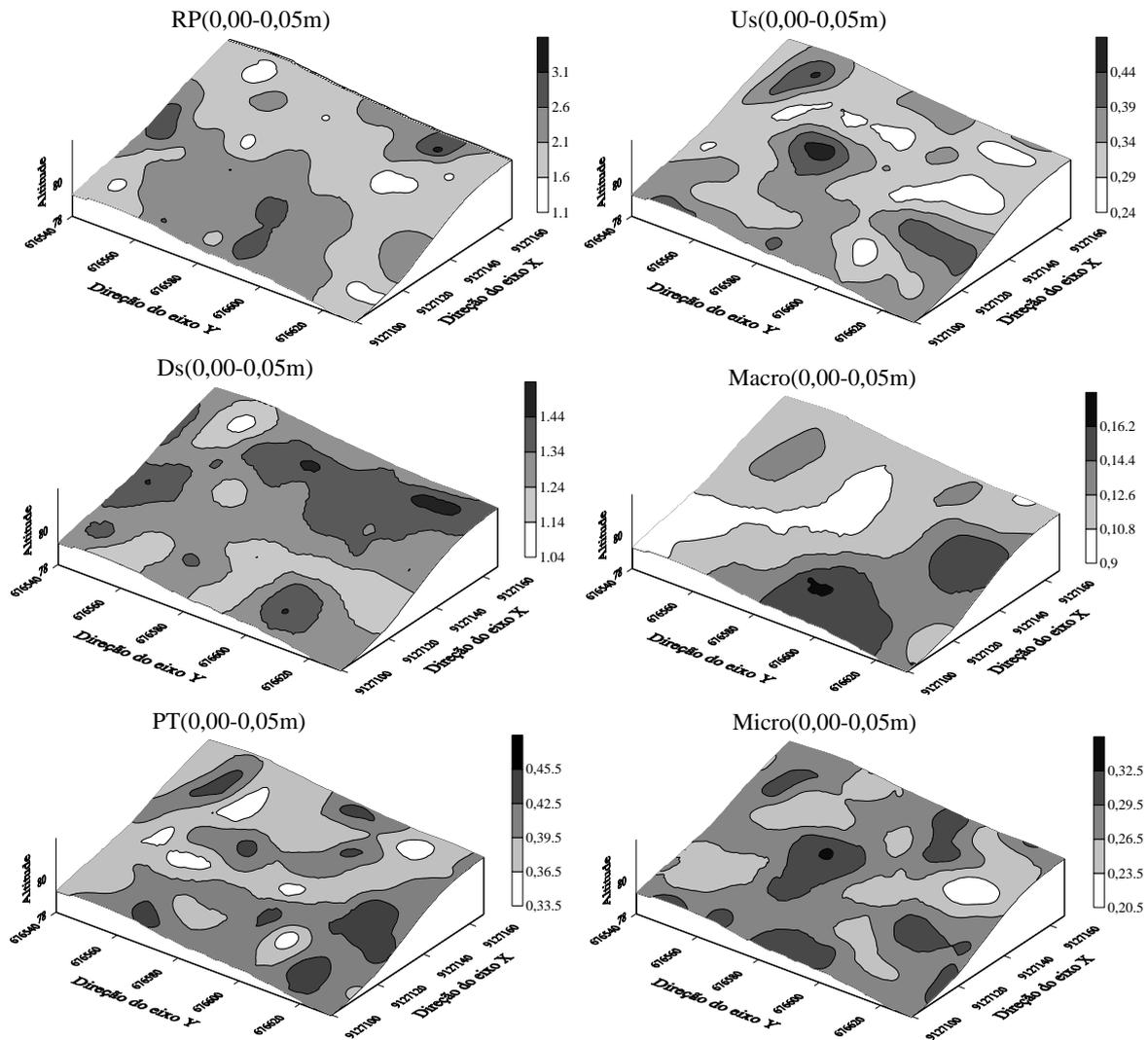
Os valores de densidade do solo variaram entre 1,04 e 1,44 Mg m<sup>-3</sup>, (Figura 2.5) havendo o decréscimo em profundidade com valores oscilando entre 0,98 e 1,34 Mg m<sup>-3</sup>

(Figura 2.7). Observa-se nos mapas de  $D_s$ , 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.

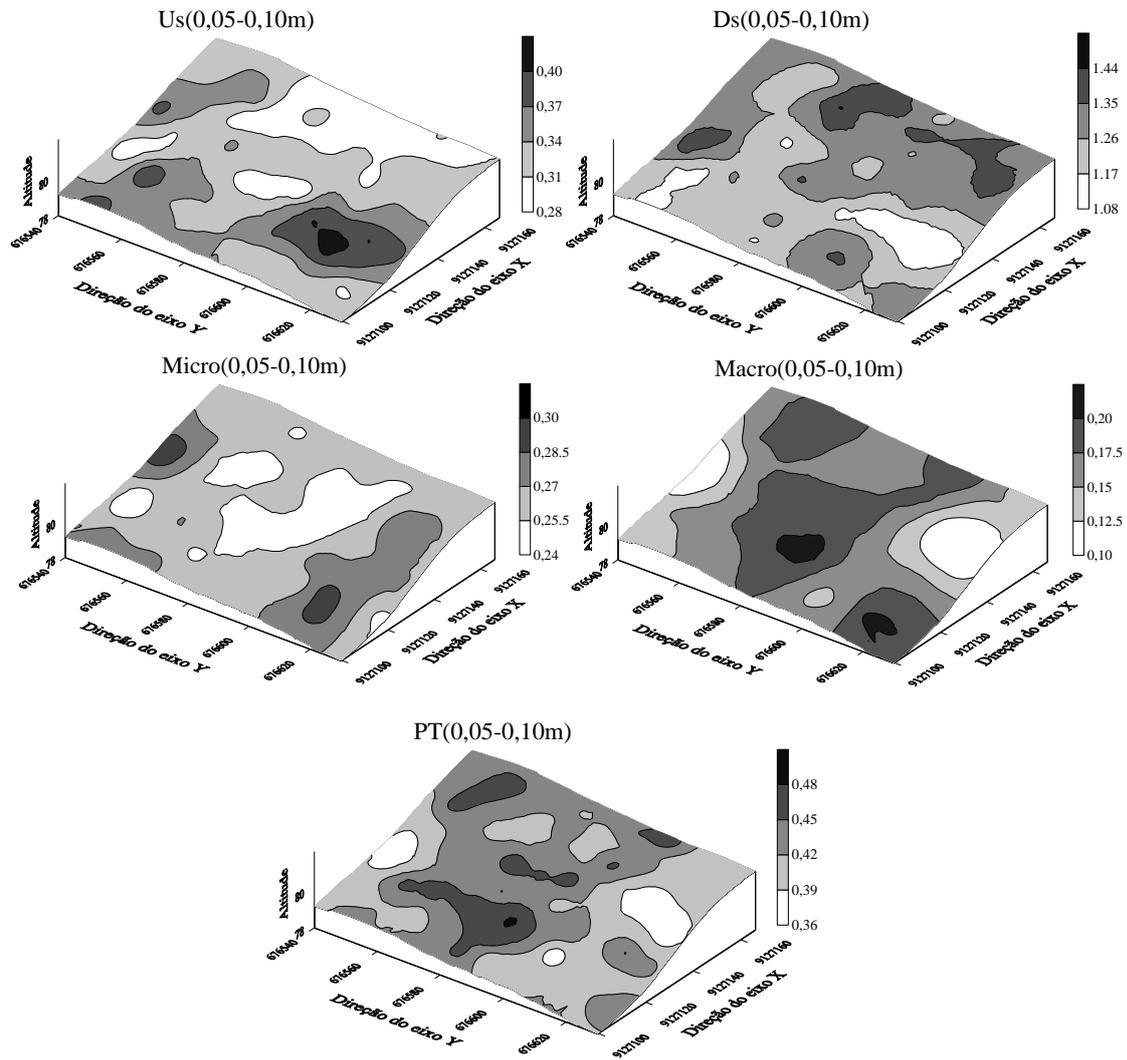
Os valores da Macro (Figura 2.4) variaram entre 0,9 e 0,16  $m^3m^{-3}$ , no qual os maiores valores localizam-se na região direita inferior da área. Já na (Figura 2.5), a Macro apresentou seus maiores valores região central da área, coincidindo com os maiores valores de PT, e com os menores valores de Micro. Na (Figura 2.7) houve acréscimo com os valores, quando comparados com a (Figura 2.4), oscilando entre 0,10 e 0,30  $m^3m^{-3}$  (Figura 2.7). 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, com destaque para os mapas das (Figura 2.5 e 2.6), 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  $D_s$  e PT, observa-se a relação entre as mesmas, com predomínio de maiores valores para um, onde há menores valores para outro.

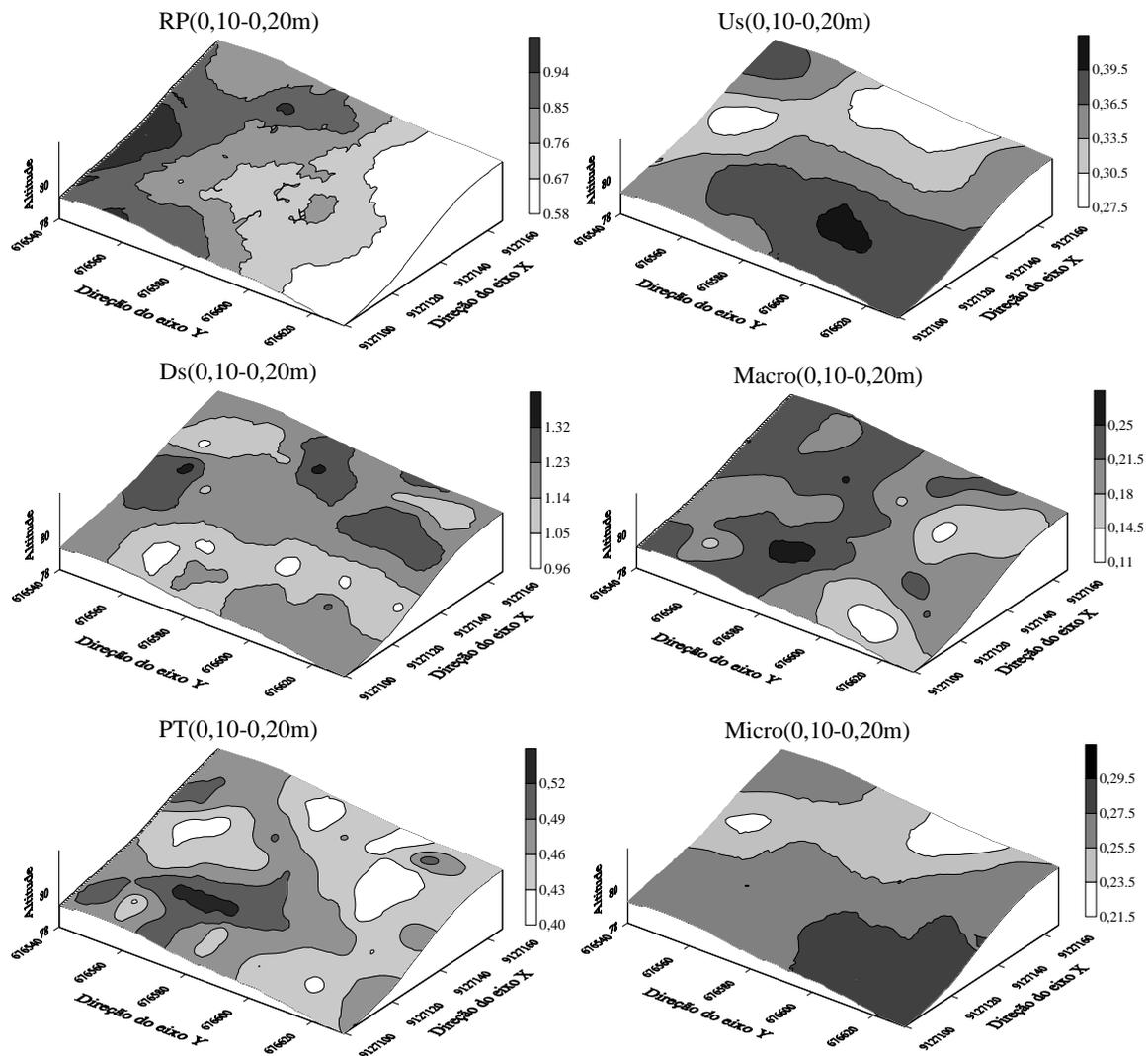
Nos mapas temáticos correspondentes observou-se comportamento inverso entre a Micro e a Macro nas (Figuras 2.4 e 2.5); já para a Macro e PT notou-se que a região que possui índices baixos foi a mesma para os dois atributos e regiões com altos índices foi para ambas variáveis.



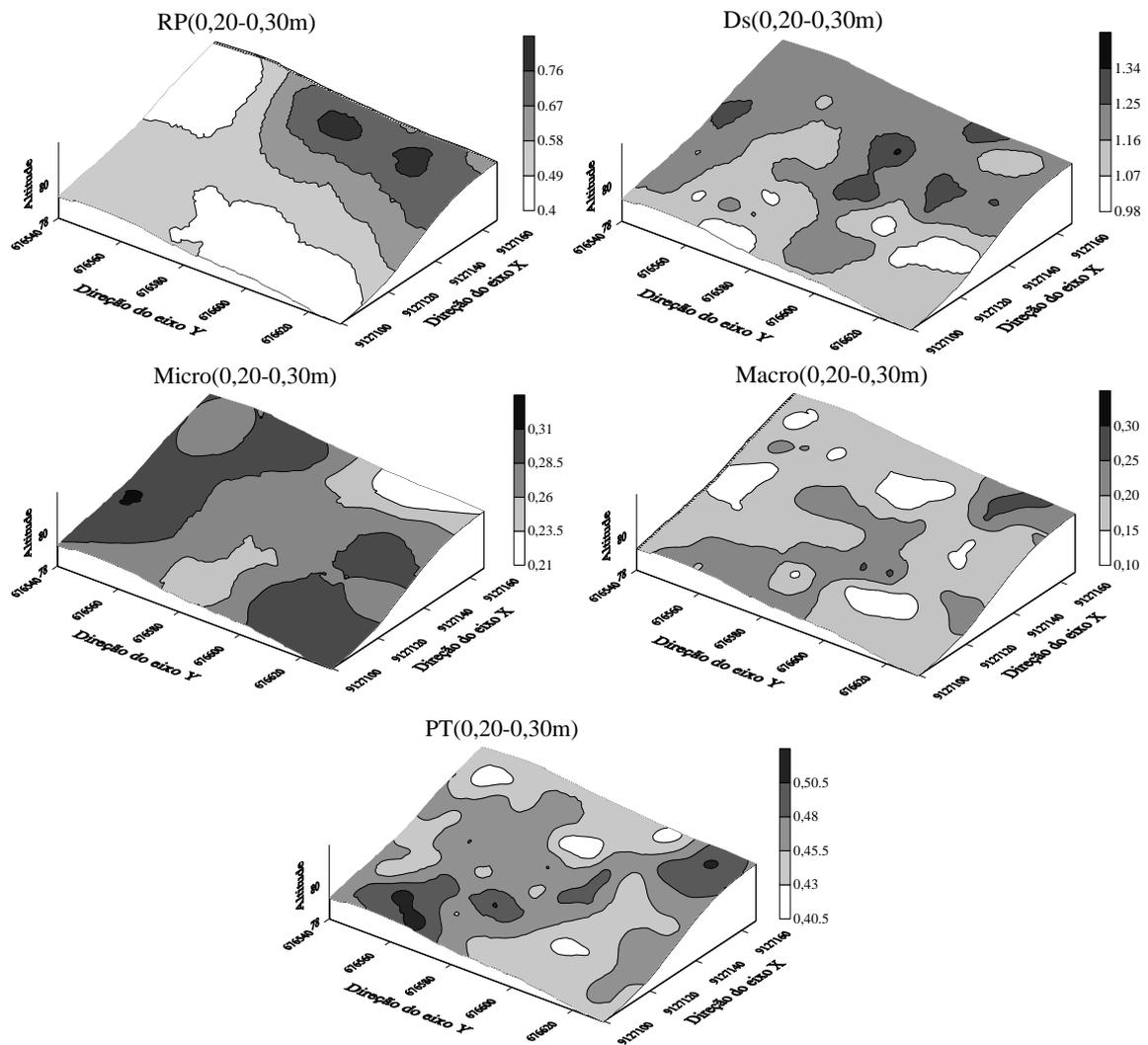
**Figura 2.5** – Mapas de krigagem para os atributos físicos do solo de uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, na profundidade 0,00-0,05 m.



**Figura 2.6** – Mapas de krigagem para os atributos físicos do solo de uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, na profundidade 0,05-0,10 m.



**Figura 2.7** – Mapas de krigagem para os atributos físicos do solo de uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, na profundidade 0,10-0,20 m.



**Figura 2.8** – Mapas de krigagem para os atributos físicos do solo de uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, na profundidade 0,20-0,30 m.

Os resultados obtidos pela análise estatística descritiva encontram-se na Tabela 2.5, onde se observa que para todos os atributos os valores de média e mediana foram bem próximos indicando distribuição simétrica, confirmado pelos valores de simetria próximos de zero.

A média e a mediana foram similares para todos os atributos, caracterizando distribuição normal dos dados, confirmado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, a 5% de probabilidade, mesmo para os atributos que apresentaram distribuição de frequência com pequenos desvios da assimetria e da curtose, em relação à distribuição normal. Azevedo (2004) relatou que a normalidade dos dados não é condição necessária para aplicação das técnicas de geoestatística. Da mesma forma Vieira (2000), afirmou que a condição de normalidade não é uma exigência da geoestatística. Assim, segundo Gonçalves et al., (2001), a análise exploratória dos dados torna possível admitir, em princípio, estas distribuições como suficientemente simétricas para o estudo geoestatístico.

Os valores de pH encontrados variaram entre 5,48 e 5,86, mostrando que as TPAs, apresentam pH bem mais elevados que a maioria dos solos amazônicos, podendo ser encontrados valores superiores a 6,0 como os encontrados por (KERN, 1988; CUNHA, 2005).

Examinando-se os valores do diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP), percebe-se que Os valores médios para o DMG variou entre 2,23 e 2,73 mm, e o DMP variou entre 2,83 e 3,14, sendo que ambas variáveis apresentaram decrescente valores com a profundidade. Altos valores de DMG e DMP caracterizam um solo mais agregado. Como a camada superficial está sujeita a mais ciclos de umedecimento e secagem, também mais intensos, esses podem ter contribuído para aumentar a estabilidade de agregados da mesma, proporcionando à formação de agregados de maior tamanho. Resultado similar foi abordado por Soares (2007), o qual ressalta com um tempo maior de pousio favorece a formação e a estabilização dos agregados em TPA.

O DMP é uma estimativa da quantidade relativa de solo em cada classe de agregados e aumenta conforme se aumenta a porcentagem dos maiores agregados, pode refletir a resistência do solo à erosão, isso acontece porque, quanto maior for o agregado, maiores serão o DMP e os espaços porosos entre agregados, aumentando a infiltração e diminuindo a erosão; deduz-se que os macroagregados são mais abundantes nas profundidades mais superficiais neste estudo. Já os valores de DMG, indicam um padrão constante e inalterável em que o tamanho mais frequente dos agregados é próximo de 3,0 mm.

De maneira geral, a densidade do solo apresentou maiores valores nas profundidades mais superficiais e diminuiu com a profundidade. Resultados semelhantes foram encontrados

por Campos et al., (2012), em áreas de TPAs na região de Manicoré, AM. Stone et al., (2002) afirmam que valores reduzidos de Ds são um indicativo de bom volume de macroporos no solo, reduzida resistência à penetração das raízes, aumento na concentração de oxigênio, difusão mais rápida de nutrientes e de oxigênio e maior taxa de mineralização da matéria orgânica no solo.

Tabela 2.5- Estatística descritiva do diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT), estoque de carbono (Est C) e pH em água em diferentes profundidades em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.

Estatística descritiva	pH	DMG	DMP	Ds	COT	Est C
		mm		Mg m <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>	Mg ha <sup>-1</sup>
0,00-0,05 m						
Média	5,48	2,73	3,14	1,29	34,26	22,23
Mediana	5,48	2,74	3,16	1,30	34,25	22,26
Máximo	6,62	3,16	3,29	1,53	36,9	26,06
Mínimo	4,88	2,02	2,84	0,95	29,1	16,88
<sup>1</sup> DP	0,27	0,25	0,09	0,11	1,39	1,94
Variância	0,07	0,06	0,009	0,01	1,93	3,78
<sup>2</sup> CV%	5,03	9,28	3,14	9,03	4,06	8,75
Assimetria	0,75	-0,56	-1,03	-0,39	-0,71	-0,33
Curtose	2,41	-0,05	0,71	-0,01	0,49	-0,10
<sup>3</sup> d	0,06*	0,15*	0,03ns	0,15*	0,15*	0,15*
0,05-0,10 m						
Média	5,75	2,76	3,12	1,25	33,81	43,08
Mediana	5,77	2,87	3,19	1,25	33,9	43,39
Máximo	6,27	3,19	3,3	1,42	34,8	48,79
Mínimo	5,34	1,31	2,29	1,01	31,9	36,05
<sup>1</sup> DP	0,20	0,36	0,17	0,095	0,56	3,11
Variância	0,04	0,13	0,02	0,009	0,32	9,69
<sup>2</sup> CV%	3,51	13,34	5,52	7,61	1,68	7,22
Assimetria	0,05	-1,90	-1,49	-0,24	-0,69	-0,15
Curtose	-0,23	1,14	1,74	-0,85	0,49	-0,67
<sup>3</sup> d	0,15*	0,01ns	0,01ns	0,03ns	0,15*	0,15*
0,10-0,20 m						
Média	5,71	2,51	3,01	1,17	33,46	82,09
Mediana	5,73	2,61	3,07	1,16	33,5	81,93
Máximo	6,36	3,15	3,28	1,50	35,4	100,56
Mínimo	5,27	1,11	2,41	0,94	32,4	67,47
<sup>1</sup> DP	0,23	0,42	0,19	0,10	0,52	6,31
Variância	0,05	0,17	0,03	0,01	0,27	39,93
<sup>2</sup> CV%	4,12	16,76	6,55	9,29	1,56	7,69
Assimetria	0,31	-0,74	-1,00	0,30	0,48	0,16
Curtose	-0,24	0,31	0,59	0,16	1,04	0,20
<sup>3</sup> d	0,15*	0,02ns	0,01ns	0,15*	0,15*	0,15*
0,20-0,30 m						
Média	5,86	2,23	2,83	1,16	33,16	121,94

Mediana	5,86	2,31	2,9	1,16	33,2	121,92
Máximo	6,35	3,04	3,24	1,39	34,5	144,98
Mínimo	5,12	0,54	1,58	0,96	31,9	101,97
<sup>1</sup> DP	0,21	0,52	0,34	0,09	0,67	8,77
Variância	0,04	0,28	0,11	0,008	0,45	77,02
<sup>2</sup> CV%	3,64	23,71	12,20	7,84	2,02	7,19
Assimetria	-0,20	-1,14	-1,64	-0,17	0,39	-0,14
Curtose	0,77	1,35	1,52	-0,20	-0,62	-0,16
<sup>3</sup> d	0,15*	0,01ns	0,01ns	0,15*	0,15*	0,15*

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: densidade do solo; COT: carbono orgânico total; Est C: estoque de carbono do solo; <sup>1</sup>DP: desvio padrão; <sup>2</sup>CV: coeficiente de variação; <sup>3</sup>d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, \*significativo a 5%, ns=não significativo.

Os valores do carbono orgânico total oscilaram entre 34,26 e 33,16 g kg<sup>-1</sup>, havendo decréscimo em profundidade. Resultados semelhantes foram obtidos por Campos et al. (2011). Os teores elevados de COT, em relação aos solos adjacentes, têm sido considerados um dos atributos típicos das TPAs, podendo ser utilizadas para diferenciá-las dos solos adjacentes (KAMPF e KERN, 2005). De modo geral, esses solos adjacentes apresentam teores de C orgânico no horizonte A inferiores a 30 g kg<sup>-1</sup> (LIMA, 2001).

Os teores mais elevados de COT das TPAs são atribuídos ao acúmulo de material orgânico (KERN e KÄMPF, 1989) e, principalmente, aos resíduos de queimadas (Smith, 1980). De acordo com Pabst (1991), a matéria orgânica das TPAs pode ser seis vezes mais estável que a de solos não antrópicos. Por sua vez, a elevada fertilidade desses solos está relacionada ao teor de matéria orgânica e à sua elevada reatividade (CUNHA et al., 2007).

O teor elevado de carbono nas TPAs, mesmo estando em ambiente propício à decomposição da matéria orgânica e lixiviação, pode ser atribuído à composição da matéria orgânica rica em carbono pirogênico (carvão), adicionada ao solo pela atividade dos povos indígenas pré-colombianos (GLASER et al., 2000). Essas concentrações elevadas ao longo dos perfis das TPAs, associados à presença de artefatos cerâmicos ou líticos, têm sido consideradas como atributo distintivo entre os solos antropogênicos e não antropogênicos.

A variabilidade dos dados analisada pelos valores dos coeficientes de variação (CV), segundo a classificação de Warrick e Nielsen (1980), o CV pode ser classificado como baixo, médio e alto, respectivamente, para os intervalos  $CV \leq 12\%$ ,  $12\% < CV < 60\%$  e  $CV \geq 60\%$ . Todos os atributos analisados apresentaram baixo CV ( $CV \leq 12\%$ ), com exceção para o DMG nas profundidades 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30m, e o DMP na profundidade 0,20-0,30m, que apresentaram médio CV ( $12\% < CV < 60\%$ ). O coeficiente de variação com ( $CV \leq 12\%$ ), conforme Gomes e Garcia (2002) indicam homogeneidade dos dados. Dessa forma, os atributos apresentaram baixa e média variabilidade.

A análise com os parâmetros geoestatísticos são apresentados na Tabela 2.6. Para avaliação da variabilidade e dependência espacial dos atributos estudados, foram estimados semivariogramas experimentais. Observa-se que maioria dos atributos apresentaram dependência espacial, com exceção para DMG e DMP, na profundidade 0,00-0,05m, e o pH na profundidade 0,05-0,10m, os quais apresentaram efeito pepita puro (EPP), sendo necessário, portanto, menor distância entre os pontos de amostragem para se detectar a dependência para esses atributos, segundo Cambardella et al., (1994), considerando ser o espaçamento de amostragem utilizado maior que o necessário para detectar dependência espacial.

A existência de dependência espacial e de altos valores de alcances para as variáveis DMG, DMP nas profundidades 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30m e nenhuma dependência espacial dessas variáveis na profundidade 0,00-0,05m exemplificam bem esse fato.

Os modelos que melhor ajustaram-se as variáveis foram o exponencial e o esférico. Camargo et al., (2008), em estudo com correlação espacial entre mineralogia e agregados, obteve o modelo exponencial para o DMG. Já Zanão Júnior et al., (2010), analisando a variabilidade espacial dos atributos químicos, encontrou o modelo esférico para o pH. Estudos realizados por Souza et al., (2009) com variabilidade espacial da estabilidade de agregados na camada de 0,0-0,2m de profundidade, ajustou o modelo esférico para o DMP. O estoque de C ajustou-se ao modelo esférico para todas as profundidades, segundo Machado et al., (2007), no ajuste esférico todos os pontos pertencentes a um círculo com o raio igual ao alcance são similares a ponto de poder ser utilizados para estimar valores para qualquer ponto entre eles.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) variou entre 0,56 e 0,97, e a validação cruzada (VC) oscilou entre 0,85 e 0,99. Contudo, os resultados mostram-se satisfatório, uma vez que obtiveram o ( $R^2$ ), acima de 50%, e a validação cruzada próximo de 1. Silva Neto et al., (2012), em trabalho com dependência espacial em levantamentos do estoque de carbono em áreas de pastagens, obteve valores de coeficiente de determinação entre 0,54 e 0,85.

Tabela 2.6- Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas do diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est C) do solo em uma área de Terra Preta Arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM.

Parâmetros	Est C	COT	DMG	DMP	Ds	pH
0,0-0,05 m						
Modelo	Esf	Esf	EPP	EPP	Exp	Esf
<sup>1</sup> (C <sub>0</sub> )	1,71	0,84	-	-	0,001	0,02
<sup>2</sup> (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	3,06	1,64	-	-	0,01	0,05
<sup>3</sup> a (m)	45,60	41,80	-	-	25,80	36,34
<sup>4</sup> R <sup>2</sup>	0,93	0,97	-	-	0,91	0,81
<sup>5</sup> GDE (%)	56	51	-	-	10	40
<sup>6</sup> VC%	0,96	0,97	-	-	0,98	0,85
0,05-0,10 m						
Modelo	Esf	Exp	Exp	Esf	Exp	EPP
<sup>1</sup> (C <sub>0</sub> )	3,12	0,02	0,01	0,0009	0,001	-
<sup>2</sup> (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	9,09	0,26	0,10	0,03	0,008	-
<sup>3</sup> a (m)	22,60	21,60	22,80	15,50	24,90	-
<sup>4</sup> R <sup>2</sup>	0,93	0,84	0,83	0,71	0,94	-
<sup>5</sup> GDE (%)	34	8	10	3	12	-
<sup>6</sup> VC%	0,93	0,99	0,90	0,96	0,96	-
0,10-0,20 m						
Modelo	Esf	Esf	Esf	Esf	Exp	Exp
<sup>1</sup> (C <sub>0</sub> )	0,90	0,14	0,005	0,001	0,001	0,004
<sup>2</sup> (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	28,84	0,28	0,16	0,03	0,01	0,03
<sup>3</sup> a (m)	15,40	73,80	15,40	16,60	21,90	18,00
<sup>4</sup> R <sup>2</sup>	0,91	0,97	0,72	0,73	0,82	0,83
<sup>5</sup> GDE (%)	3	50	3	3	10	13
<sup>6</sup> VC%	0,98	0,97	0,95	0,98	0,99	0,99
0,20-0,30 m						
Modelo	Esf	Exp	Esf	Esf	Exp	Esf
<sup>1</sup> (C <sub>0</sub> )	2,60	0,06	0,01	0,004	0,0008	0,001
<sup>2</sup> (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	76,71	0,44	0,26	0,11	0,008	0,04
<sup>3</sup> a (m)	16,60	26,40	15,70	16,30	20,70	12,80
<sup>4</sup> R <sup>2</sup>	0,83	0,85	0,60	0,56	0,87	0,76
<sup>5</sup> GDE (%)	3	14	4	4	10	2
<sup>6</sup> VC%	0,99	0,99	0,94	0,94	0,89	0,97

Est C: estoque de carbono do solo; COT: carbono orgânico total; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: Densidade do solo; Esf.: Esférico; Exp.: Exponencial; <sup>1</sup>C<sub>0</sub>: efeito pepita; <sup>2</sup>C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>: patamar; <sup>3</sup>a: alcance (m); <sup>4</sup>R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; <sup>5</sup>GDE%: grau de dependência espacial e; <sup>6</sup>VC: validação cruzada.

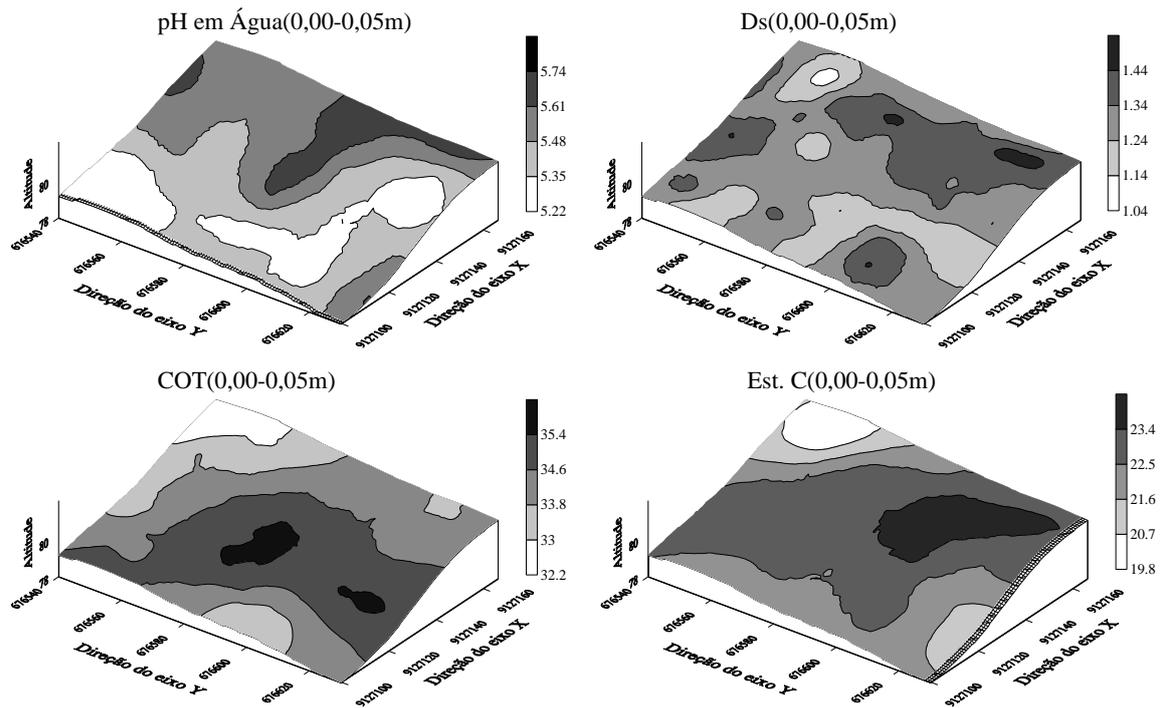
Quanto ao grau de dependência espacial (GDE), classificado de acordo com Cambardella et al. (1994), o qual avalia em termos proporcionais o efeito pepita sobre o patamar (C<sub>0</sub>/C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>)x100mostraram, de modo geral, forte dependência espacial para todas as variáveis na profundidade 0,20-0,30m, moderada e forte dependência espacial para variáveis nas demais profundidades. Segundo Cambardella et al., (1994) a forte dependência

espacial é atribuída a fatores intrínsecos, tais como: material de origem, relevo, clima, organismo e tempo. Para o DMG e o DMP na profundidade 0,00-0,05m e pH na profundidade 0,05-0,10m, os quais apresentaram EPP, isto é, ocorreu variação aleatória na área de estudo, então logo, a estatística clássica é recomendada.

Ressalta-se que o alcance é o principal parâmetro fornecido pela geoestatística representando a distância na qual uma variável regionalizada apresenta continuidade espacial (LEMOS FILHO et al., 2008). A maior continuidade espacial foi 73,80m para o COT na profundidade 0,20-0,30m, demonstrando que a distribuição dessa variável é mais homogênea, pois ocorre em uma área de maior raio, enquanto que o pH na profundidade 0,20-0,30m há maior descontinuidade na distribuição espacial com 12,80m. As demais variáveis obtiveram valores variando entre 15,40m e 45,60m. Portanto, exclusivamente com base na presente pesquisa, assim como visando auxiliar pesquisas futuras, na qual os mesmos atributos estejam envolvidos, os valores dos alcances da dependência espacial a serem utilizados pode subsidiar estudos futuros.

Os mapas confeccionados por meio da krigagem são apresentados nas (Figuras 2.7, 2.8, 2.9, 2.10) as quais permitiram visualizar arranjos de distribuição espacial para o pH em água, Ds, Est. C e COT.

Observa-se que (Figura 2.7) os maiores valores do pH predominam na parte superior da área, e os menores na parte inferior. O mapa da Ds mostra que os maiores valores localizam-se na região superior da área, segundo Camargo (1999), em estudo com Latossolo na Amazônia Oriental, os valores para a densidade foram maiores nas camadas superficiais de solos sob pastagens, fato observado neste estudo, que por sua vez pode ser explicada pelo pisoteio do gado. Em relação ao COT e ao Est. C, nota-se uma inteira relação entre as mesmas, pois onde há os maiores valores de um, ocorre os maiores valores do outro, o que proporcionou a identificação das zonas de maiores concentrações destas na região central da área.



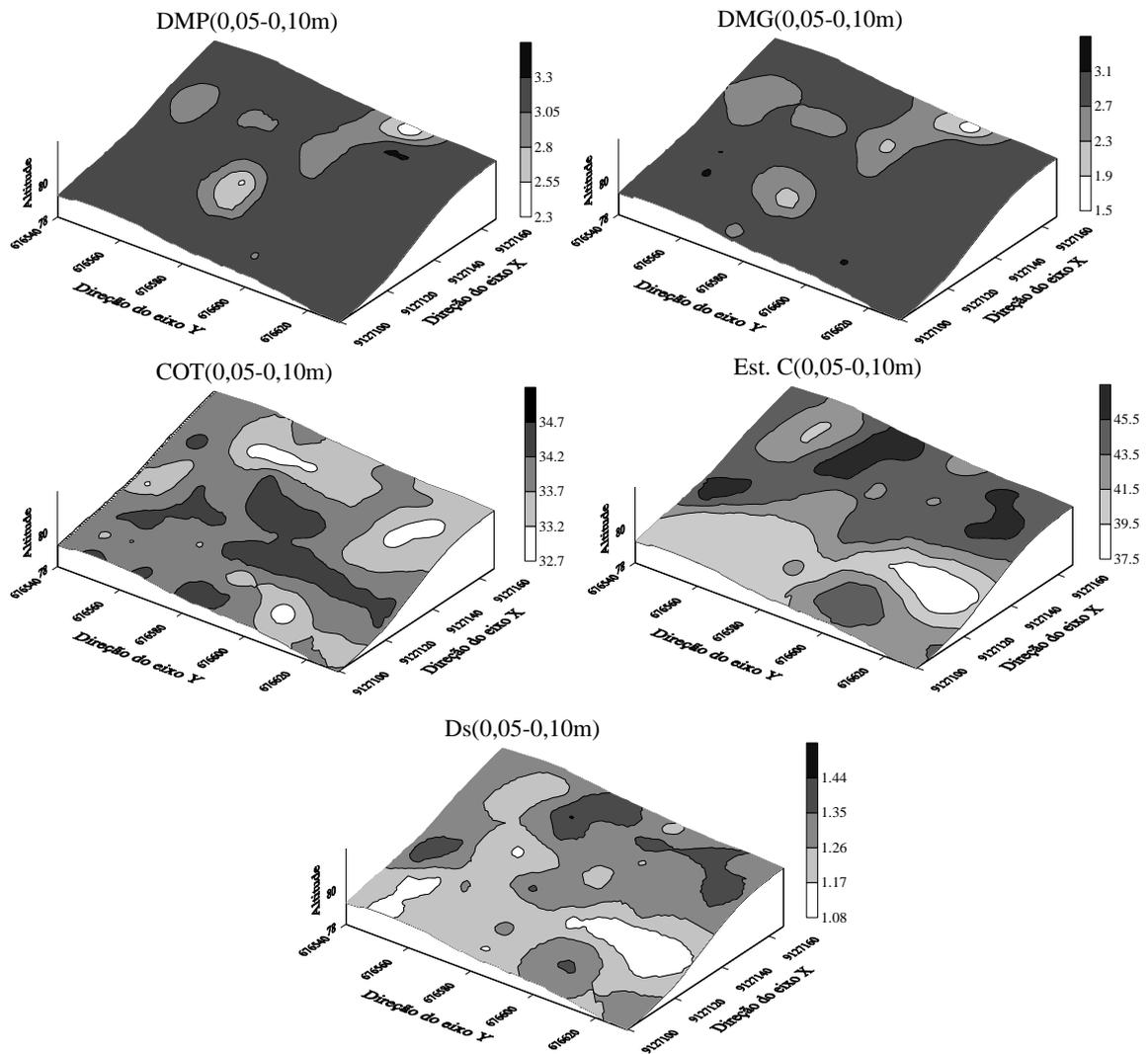
**Figura 2.9** – Mapas de krigagem para o pH em água, densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est. C) em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, na profundidade 0,00-0,05 m.

Os mapas de krigagem (Figuras 2.8, 2.9 e 2.10) confirmam haver uma relação entre os diferentes atributos. Percebe-se, que nas áreas onde há maiores e menores valores de conteúdos de DMP, há mesma distribuição para o DMG.

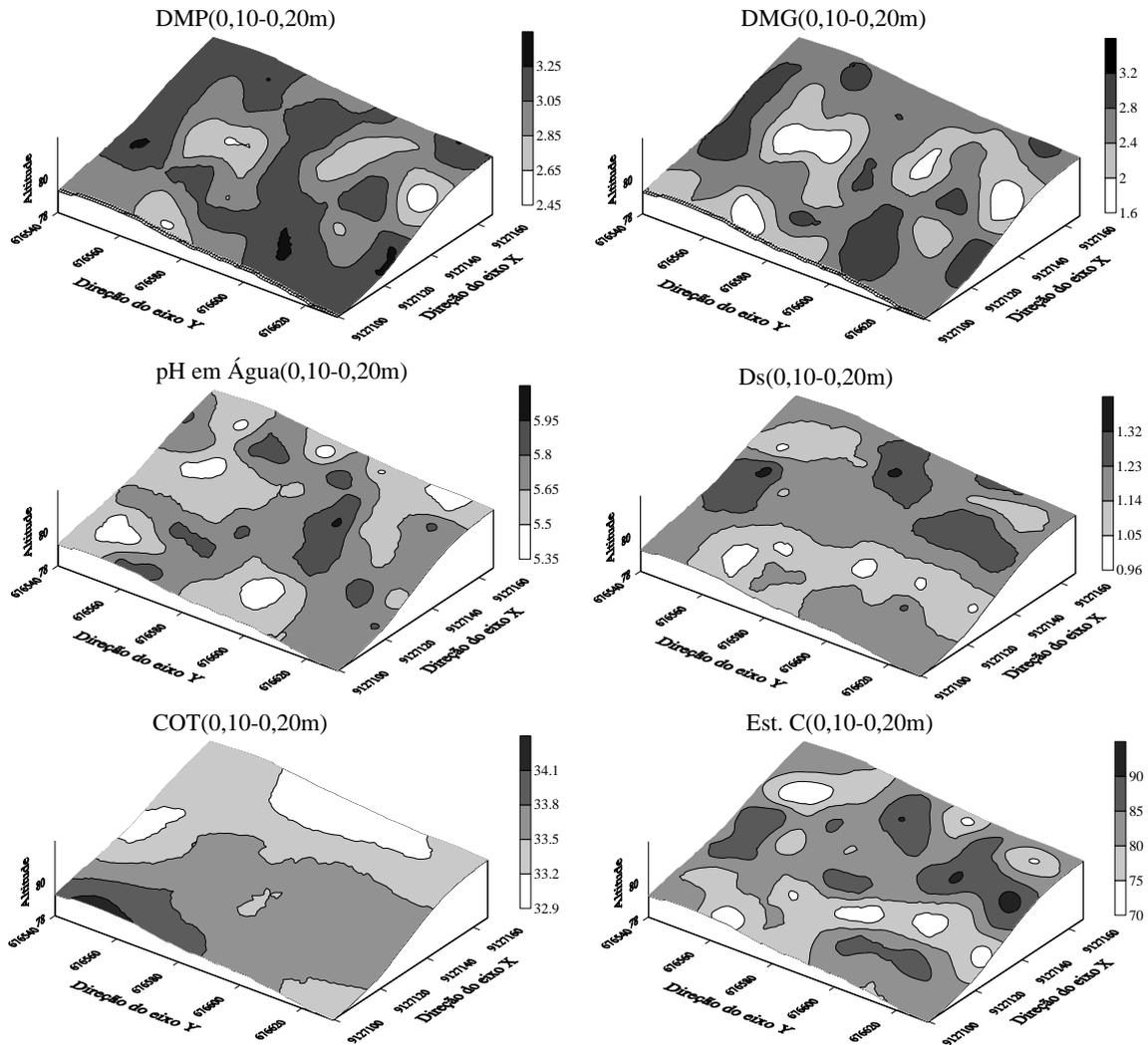
Os mapas de COT mostram que, de maneira geral, a área apresenta teores elevados de COT mesmo em incremento da profundidade, de acordo com Silva et al., (2011) em estudo com caracterização química e mineralógica de solos antrópicos, os elevados teores de COT em TPAs, são atribuídos ao acúmulo de material orgânico, e principalmente, aos resíduos de queimadas.

Com relação a Ds, observa-se que os maiores valores coincidem, com os menores valores de COT, e vice-versa. Para Neves Júnior (2008), estudando solos com A antrópico na Amazônia Central, afirmou que a baixa densidade do solo nos horizontes antropogênicos relaciona-se com os altos teores de carbono orgânico.

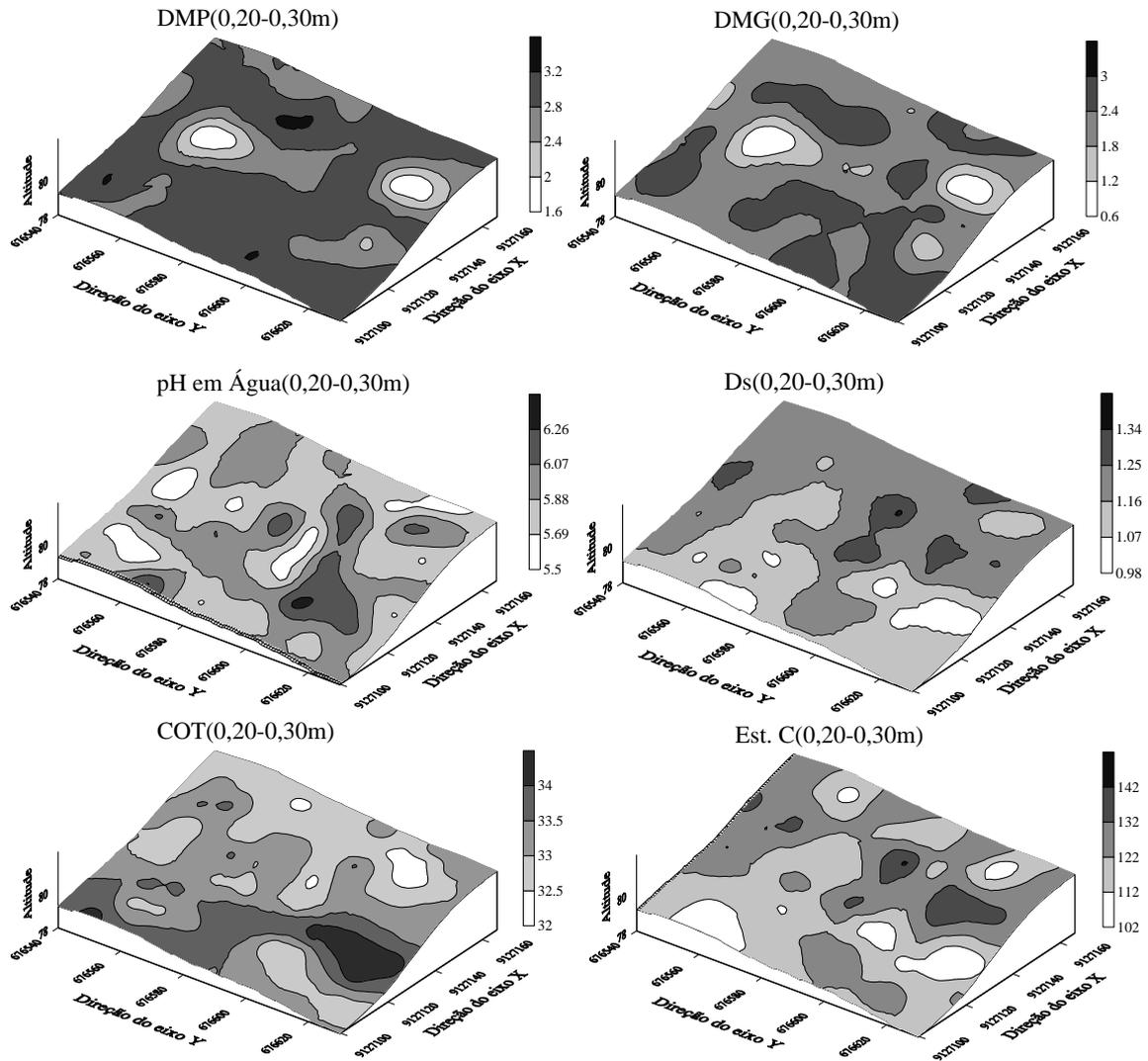
Desta forma, a região onde há menores valores de Ds e maiores de COT, indica que as condições de solo permitem melhor crescimento e desenvolvimento das plantas.



**Figura 2.10** – Mapas de krigagem para o diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est C) em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, na profundidade 0,05-0,10 m.



**Figura 2.11** – Mapas de krigagem para o diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), pH em água, densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est. C) em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, na profundidade 0,10-0,20 m.



**Figura 2.12** – Mapas de krigagem para o diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), pH em água, densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (Est. C) em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem na região de Manicoré, AM, na profundidade 0,20-0,30 m.

## 2.4 CONCLUSÕES

Os atributos do solo apresentaram estrutura de dependência espacial em todas as profundidades, com exceção para RP, Us, DMG, DMP e pH em água, que demonstraram aleatoriedade na área com suas respectivas profundidades, sendo neste caso, necessário um novo adensamento da malha.

Com os valores do coeficiente de determinação e validação cruzada próximos de 1, confirmam um ótimo ajuste aos modelos selecionados esférico e exponencial.

A continuidade espacial foi maior que o estabelecido na malha, desta forma, atingindo alcances favoráveis a melhor visualização espacial do atributo na área.

## 2.5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ALHO, L. C. **Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em Cambissolo e Argissolo na região de Humaitá, AM.** Manaus, 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Amazonas, 2013.
- AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F. D.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.3, p.415-422, 2007.
- AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A., SIQUEIRA, D. S. Distribuição espacial de atributos químicos do solo em áreas de pastagem e floresta. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.44, n.1, p.32-41, 2014.
- AZEVEDO, E. C. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso.** Campinas, 2004. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- BARROS, K. R. M.; LIMA, H. V.; CANELLAS, L. P.; KERN, D.C. Fracionamento químico da matéria orgânica e caracterização física de Terra Preta de Índio. **Revista Ciência Agrária**, Recife, v. 55, n. 1, p. 44-51, 2012.
- BERNER, P. G. M.; VIEIRA, S.R.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C. 2007 Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um Cambissolo sob dois sistemas de manejos de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.31, n.5, p.837-844, 2007.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The Nature and Properties of Soils.** 14th ed. Pearson-Prentice Hall: Upper Saddle River, 2008. 990 p.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 58, p.1501-1511, 1994.
- CAJAZEIRA, J.; ASSIS JUNIOR, R. N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no estado do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, p. 258-267, 2011.
- CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, PEREIRA, G. T.; HORVAT, R. A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um latossolo sob diferentes formas do relevo II – correlação espacial entre mineralogia e agregados. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.2279-2288, 2008.
- CAMARGO, P. B.; TRUMBORE, S.E.; MARTINELLI, L.A.; DAVIDSON, E.A.; NEPSTAD, D.C.; VICTORIA, R.L. Soil carbon dynamics in regrowing forest of eastern Amazonia. **Global Change Biology**, v.5, p.693- 702, 1999.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M. Aplicação de adubo e corretivo após o corte da cana-planta utilizando técnicas geoestatísticas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, p.974-980, 2008.

CAMPOS, M. C. C.; **Pedogeomorfologia aplicada a ambientes Amazônicos do Médio Rio Madeira**. 2009. 260f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; SOUZA, R. V. C. C.; ALMEIDA, M. C. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**, Campinas - SP, v. 70, p.598-609, 2011.

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**, Boa Vista, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; OLIVEIRA, I. A.; SANTOS, L. A. C.; AQUINO, R. E. . Spatial variability of physical attributes in Alfissol under agroforestry, Humaitá region, Amazonas state, Brazil. **Revista de Ciências Agrárias** , Belém, v. 56, n.2, p. 149-159, 2013.

CAMPOS, M. C. et al. Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 02, p.149-157, 2007.

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

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

CHIG, L. A.; COUTO, E. G.; NOVAES FILHO, J. P.; RODRIGUES, L. C. M. JOHNSON, M. S.; WEBER, O. L. S. Distribuição espacial da granulometria, cor e carbono orgânico do solo ao longo de um transecto em microbacias na Amazônia meridional. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, n. 4, p.715-722, 2008.

CORTEZ, J. W.; ALVES, A. D. S.; MOURA, R. D.; OLSZEWSKI, N.; NAGAHAMA, H. J. Atributos físicos do Argissolo amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1207-1216, 2011.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York, John Wiley, 1991. 900p.

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

CUNHA, P.; MARQUES JÚNIOR, CURI, N. PEREIRA, G. T. LEPSCH, I. F. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma sequência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 81-90, 2005.

CUNHA, T. J. F. **Ácidos húmicos de solo escuros da Amazônica. (Terra Preta de Índio).** Seropédica, 2005 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P. M. & 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**, Manaus, v.37, p.91-98, 2007.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no Município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 6, p. 242-246, 2002.

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

GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G. & ZECH, W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of de Brazilian Amazon region. **Org. Geochem.**, 31:669-678, 2000.

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**, Piracicaba: FEALQ, 2002. 305p.

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

GREGO, C. R.; RODRIGUES, C. A. G.; NOGUEIRA, S. F.; GIMENES, F. M. A.; OLIVEIRA, A.; ALMEIDA, C. G. F.; FURTADO, A. L. S.; DEMARCHI, J. J. A. Variabilidade espacial do solo e da biomassa epígea de pastagem, identificada por meio de geoestatística. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n.9, p. 1404-1412, 2012.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de uma Latossolo Vermelho-escuro, textura argilosa, da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional.** Campinas, 2000. 85f. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, .

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

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

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

KÄMPF, N. & KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: TORRADOVIDAL, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M. & SILVA, A.P., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v.4,p.277-320.

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

KERN, D. C. **Caracterização pedológica de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná – Pará**. Porto Alegre, 1988. 200f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

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

KERN, D.C.; KAMPF, N. Antigos assentamentos indígenasna formação de solos com Terra Preta Arqueológicas na Região de Oriximiná, Pará. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.13, p.219-225, 1989.

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

LEÃO, M. G. A.; MARQUES JÚNIOR; J. SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo sob o cultivo de citros. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 121-131, 2010.

LEMOS FILHO, L. C. A.; OLIVEIRA, E. L.; FARIA, M. A.; LUIZ, A. B. A. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agrônoma**, Fortaleza, v. 39, p. 193-202, 2008.

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

LIMA, G. C.; SILVA, M. L.; OLIVEIRA, S. M.;CURLIN; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A.H. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.5, p.517-526, 2014.

LIMA, H. N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**, Viçosa, 2001. 176p. (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Viçosa.

LIMA, J. A. G.; MENDES, A. M. S.; DUDA, G. P.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de características físico-hídricas de um Cambissolo cultivado com mamão no semiárido do RN. **Caatinga**, v.19, p.192-199, 2006.

LIMA, J. S. S.; SATTler, M. A.; XAVIER, A. C.; OLIVEIRA, R. B.; PASSOS, R. R.; OLIVEIRA, P. C. Variabilidade espacial da textura de um Argissolo Vermelho sob cultivo de pastagem e vegetação nativa. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n.9, p.2634-2637, 2009.

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

LONGO, R.M. **Modificações em parâmetros físicos e químicos de Latossolos argilosos decorrentes da substituição da Floresta Amazônica e do Cerrado por pastagens**. 1999. 102 f. Tese (Doutorado em Água e Solo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

LOUREIRO, V. R. 2002. Amazônia: uma história de perdas e danos, um futuro a (re) construir. *Estud. Av.*, 16(45): 107-121. ISSN 0103-4014.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.3, p. 591-599,2007.

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

MENDES, A. M. S.; FONTES, R. L. F. OLIVEIRA, M. Variabilidade espacial da textura de dois solos do Deserto Salino, no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.39, n.01, p.19-17, 2008.

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

MINITAB Release 14.1, **Statistical Software**. 2000.

MONTANARI, R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PAZETO, R. J.; CAMARGO, L. A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.5, p.1266-1272, 2008.

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.

OLIVEIRA, I. A. **Caracterização de solos sob diferentes ambientes na região Sul do Amazonas**. Jaboticabal, 2013, 105 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista-UNESP.

PABST, E. Critérios de distinção entre Terra Preta e Latossolo na região de Belterra e os seus significados para discussão pedogenética. *B. Mus. Paranaense Emilio Goeldi, Série Antropol.*, 7:5-19, 1991.

PETERSON, R. A. O fator água. In: **Fundamentos de manejo de pastagens**. São Paulo: Instituto de Zootecnia da Secretaria da Agricultura, 1970. p.63-75.

PIRES, B. S.; DIAS JUNIOR, M. de S.; ROCHA, W. W.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; CARVALHO, R. de C. R. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.635-642, 2012.

RAMIREZ-LÓPEZ, L.; REINA-SÁNCHEZ, A.; CAMACHO-TAMAYO, J.H. Variabilidad espacial de atributos físicos de un typic haplustox de los llanos orientales de Colômbia. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.55-63, 2008.

RESENDE, T. M.; MORAES, E. R.; FRANCO, F. O.; ARRUDA, E. M.; ARÁUJO, J. R.; SANTOS, D. S.; BORGES, E. N.; RIBEIRO, B. T. Avaliação física do solo em áreas sob diferentes usos com adição de diferentes animais no bioma cerrado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.1, p.179-184, 2012.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. Piracicaba, 1995. 99f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

ROBERTSON, G. P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user’s guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 152p, 1998.

SANTOS, D.; SOUZA, E. G.; NÓBREGA, L. H. P.; BAZZI, C. L.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n.8, p. 843-848, 2012.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LIMA LEITE, R. L.; DIM, V. P.; NEVES NETO, D. N.; CRUZ, R. S. Dependência espacial em levantamentos do estoque de carbono em áreas de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, **Acta Amazônica**, Manaus, v.42, n. 4, p.547-556, 2012.

SILVA, A. K. T; GUIMARÃES, J. T. F.; LEMOS, V. P.; COSTA, M. L.; KERN, D. C. Mineralogia e geoquímica de perfis de solo com Terra Preta Arqueológica de Bom Jesus do Tocantins, sudeste da Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n.4, p. 477-490, 2012.

SILVA, D. M. P. **Atributos do solo e emissão de CO<sub>2</sub> em área de terra preta arqueológica sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM**. Manaus, 2013, 80f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Amazonas.

SILVA, F. W. R.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; MOTTA, M. B.; SANTANA, R. M. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (Terras pretas de índio) na Amazônia central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.673-681, 2011.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no

Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 659-667, 2010.

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

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

SOARES, R. **Agregado e distribuição da matéria orgânica em solos de terra preta de índio da Amazônia Central**. Nitéroí, 2007, 122f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense.

SOUZA, G. S. de; LIMA, J. S. de S.; SILVA, S. de A.; OLIVEIRA, R. B. de. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. **Acta Scientiarum.Agronomica**, Maringá, v.30, p.589-596, 2008.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 02, p.309-319, 2004.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SÁEZ, C. M. S. Spatial variability of aggregate stability in Latosols under sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n. 2, p.245-253, 2009.

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

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

STONE, L. F., GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.207-212, 2002.

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

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

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

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 01, p. 181-190, 1997.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. Berkeley: **University of California**, v.51, 1983. 75p.

VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.54, p.405-412, 1995.

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

WELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.175-180, 1994.

WOJCIECHOWSKI, J. C.; SCHUMACHER, M. V.; PIRES, C. A. F.; MADRUGA, P. R. A.; KILCA, R. V.; BRUN, E. J.; SILVA, C. R. S.; VACCARO, S.; RONDON NETO, R. M. Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de floresta estacional decidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.19, n.4 p. 383-391, 2009.

YOUNG, F. J.; HAMMER, R. D. Defining geographic soil bodies by landscape position, soil taxonomy, and cluster analysis. **Science Society American Journal**, v. 64, p. 989-998, 2000.

YEOMANS, J.C.; BREMMER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1467-1476, 1988.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; CARVALHO, M. P.; GUIMARÃES, Z. E. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.3, p. 429-438, 2010.