

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA TEXTURA DO SOLO EM ÁREA  
DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB FLORESTA EM  
MANICORÉ-AM**

**JULIMAR DA SILVA FONSECA**

**HUMAITÁ/AM**

**2015**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA TEXTURA DO SOLO EM ÁREA  
DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB FLORESTA EM  
MANICORÉ - AM**

**JULIMAR DA SILVA FONSECA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Agrônômica, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Agrônomo, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente da Universidade Federal do Amazonas.

**Orientador Prof. Dr. Milton César Costa Campos**

**HUMAITÁ/AM**

**2015**

## FOLHA DE APROVAÇÃO

FONSECA, Julimar da Silva. **VARIABILIDADE ESPACIAL DA TEXTURA DO SOLO EM ÁREA TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB FLORESTA EM MANICORÉ – AM.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado)- Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente. Universidade Federal do Amazonas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Banca Examinadora, para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo, do Curso de Agronomia, do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal do Amazonas, sob orientação do Prof. Dr. Milton César Costa Campos.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Milton César Costa Campos  
Orientador/Presidente

---

Prof. Msc. José Maurício da Cunha  
Membro da Banca

---

Prof. Msc. Douglas Marcelo Pinheiro  
Membro da Banca

Data: 22/07/2015

**HUMAITÁ – AM**

**2015**

## **DEDICATÓRIA**

*Aos meus Pais Ailton e Maria de Fátima,  
meus irmãos Gedeon e Geovane e aos  
meus avôs Serafim Ferreira e Nadir,  
obrigado pelo apoio incondicional dado em  
todos os momentos, sem este apoio não  
seria possível chegar até aqui.*

## **AGRADECIMENTOS**

*A Deus, por tudo de maravilhoso que proporciona em minha vida, estando sempre ao meu lado, concedendo saúde e confiança, guiando-me em minhas decisões e dando forças.*

*A Universidade Federal do Amazonas pela oportunidade dada para a execução deste curso.*

*Ao Prof. Dr. Milton Cesar Costa Campos, pelas orientações, estímulos, ensinamentos, apoio pessoal e amizade.*

*Aos Professores Viviane Vidal, Ana Verônica, Aldair, Carlos Pereira, Douglas Marcelo e Luciano Rohleder pela a presteza, orientação, conselhos e amizade.*

*A todos os professores do colegiado de Agronomia, pela dedicação, esforço e perseverança para o aprimoramento deste curso.*

*Aos meus orientadores de estágio Diego Laner e Ana Cristina, obrigado pelos conselhos, apoio e orientações dadas.*

*Aos colegas de curso, pela amizade, companheirismo e pelo aprendizado que obtivemos juntos.*

*Aos companheiros do laboratório de solos, Wilson, Felipe (Boto), Pércles, Cafú, Willian (Cenoura), obrigado pelo apoio, amizade e contribuição no desenvolvimento do trabalho.*

*Aos amigos Renato Aquino, Thiago Souza, Maicon Sene, Carla Rafaelle, Leôncio Nery, Leonardo Ney, Ivanildo, Luís Antônio, Nestor Serudo, Junior Cesar e Marcos Vinicius, Andresson Oliveira obrigado por todos os grandes momentos que tivemos e fizeram esta graduação ser mais especial ainda.*

*Aos meus companheiros de farda da Polícia Militar do Amazonas, Milher, Deyvis, Anderson, Siqueira, Lucas, Vanessa, Rogens Sgt's Veras, Garcia, Alberto, entre tantos que nos dias de serviço me ajudaram e me dispensaram para poder assistir as aulas e realizar as provas, os meus sinceros agradecimentos.*

*A minha esposa Inara de Souza Pereira, pelo o carinho, amor e pela a compreensão das horas que tive que me ausentar.*

*Ao meu primo Wermes Eler, pela a coragem e incentivo para enfrentar as dificuldades que aparecem no dia-a-dia.*

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	11
2.1. Caracterização da região de Manicoré - Sul do Amazonas.....	11
2.2. Ambientes Florestais.....	14
2.3. Terras pretas Arqueológicas.....	15
2.4. Textura do solo .....	17
2.5. Geoestatística na caracterização dos atributos do solo .....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	22
3.1. Caracterização do Meio Físico .....	22
3.2. Metodologia de Campo e Laboratório .....	24
3.3. Análises Físicas .....	24
3.4. Análise estatística e geoestatística.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
5. CONCLUSÕES .....	35
6. REFERÊNCIAS.....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Modelo de Elevação Digital da área de estudo sob floresta nativa na área de Terra Preta Arqueológica na região Manicoré-Amazonas.....	24
<b>Figura 2-</b> Semivariogramas e mapas de validação cruzada das variáveis, areia, silte na camada de 0,00-0,05 m em área de TPA sob floresta nativa na região de Manicoré – AM.....	29
<b>Figura 3-</b> Semivariogramas e mapas de validação cruzada das variáveis, areia, silte e argila na camada de 0,05-0,10 m em área de TPA sob floresta nativa na região de Manicoré - AM.....	30
<b>Figura 3-</b> Semivariogramas e mapas de validação cruzada das variáveis, areia, silte e argila na camada de 0,05-0,10 m em área de TPA sob floresta nativa na região de Manicoré - AM.....	31
<b>Figura 4-</b> Semivariogramas e mapas de validação cruzada das variáveis, areia, silte e argila na camada de 0,10-0,20 m em área de TPA sob floresta nativa na região de Manicoré - AM. ....	32
<b>Figura 4-</b> Semivariogramas e mapas de validação cruzada das variáveis, areia, silte e argila na camada de 0,10-0,20 m em área de TPA sob floresta nativa na região de Manicoré - AM. ....	33
<b>Figura 5-</b> Mapas de isolinhas dos dados textura do solo, areia, silte e argila, nas respectivas camadas de 0,00- 0,05, 0,05-0,10, 0,10- 0,20 m.....	33
<b>Figura 5-</b> Mapas de isolinhas dos dados textura do solo, areia, silte e argila, nas respectivas camadas de 0,00- 0,05, 0,05-0,10, 0,10- 0,20 m.....	34

**ÍNDICE DE TABELAS**

<b>Tabela 1-</b>	Estatística descritiva das frações textural do solo nas diferentes camadas em uma área de Terra Preta Arqueológica na região de Manicoré - Amazonas .....	26
------------------	---	----

## RESUMO

FONSECA, Julimar da Silva. **VARIABILIDADE ESPACIAL DA TEXTURA DO SOLO EM ÁREA TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB FLORESTA EM MANICORÉ – AM.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado)- Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente. Universidade Federal do Amazonas

Os solos predominantes na região Amazônica pertencem à classe dos Latossolos e Argissolos, caracterizado por seu alto grau de intemperismo e baixa fertilidade natural, mesmo assim, nesse meio às Terras Pretas Arqueológicas com elevada fertilidade natural e alto teor de matéria orgânica, de coloração escura, presença de artefatos cerâmicos indígenas incorporados a matriz dos horizontes superficiais do solo. O objetivo deste trabalho foi investigar a variabilidade espacial da textura do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob floresta em Manicoré – AM. A área de estudo encontra-se na região do município de Manicoré – Am, no km 210 há 30 km da comunidade do Santo Antônio do Matupí, as margem da BR 230, rodovia transamazônica. Foi estabelecido o mapeamento em uma área de Terra Pretas Arqueológicas sob floresta nativa, em uma malha de 6 x 6 m, nas profundidades de amostragem 0,0-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, totalizando 88 pontos georreferenciados e 264 pontos amostrais nas três profundidades. O material coletado passou pelo os processos de determinação da análise textural para quantificar o teor de areia, silte e argila. Os resultados foram tratados estaticamente por meio de análise descritivas e geoestatística. Todas as variáveis analisadas apresentaram estrutura de dependência espacial, e ajustaram-se aos modelos esférico e exponencial. As frações granulométricas apresentaram estrutura de dependência espacial, com o maior alcance – de 39,7 m observado na profundidade 0,05 – 0,10 m e a fração granulométrica com maior teor foi à areia com o aumento em profundidade.

**Palavras Chave:** Solos amazônicos, Terra Preta Arqueológica, física do solo, Geoestatística, mapas de krigagem.

## ABSTRACT

FONSECA, Julimar da Silva. **SPACE VARIABILITY OF TEXTURE OF THE SOIL IN THE AREA ARCHAEOLOGICAL DARK EARTH UNDER FOREST THE AREA OF MANICORÉ - AM.** Work of Conclusion of Course (Baccalaureate) –Institute of education, Agriculture and atmosphere. Federal University of Amazon (UFAM).

The predominant soils in the Amazon region belong to the class of Oxisols and Ultisols, characterized by its high degree of weathering and low natural fertility, in contrast, occur to land archeological black with high natural fertility and high organic matter content, dark color, presence of ceramic artifacts indigenous incorporated into the matrix of the surface soil horizons. The study area is located in the region of the municipality of Manicoré - Am, at km 210 there are 30 miles of the community of Santo Antonio Matupí, the margin of BR 230, trans-amazon highway. It was established the mapping in an area of Land Archeological Black under native forest, in a mesh of 6 x 6 m, in sampling depths 0.0-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m, totaling 88 georeferenced points and 264 sampling points in three depths. All of the variables presented structure of spatial dependence, and were adjusted to spherical models and exponential. The grain size fractions presented structure of spatial dependence, with the largest range - 39.7 m observed in depth 0.05 - 0.10 m and the granulometric fraction with greater content was the sand with the increase in depth.

**Words Key:** Amazonian soils, Archaeological Dark Earths, physical soils, geostatistics, Kriging maps.

## 1. INTRODUÇÃO

A região amazônica destaca-se por apresentar um mosaico de fatores que envolvem vários tipos de solos e de ambientes aquáticos, além de uma alta diversidade de fauna e flora, dando origem a um ecossistema complexo (NEVES NETO et al., 2012). Nesta região, há predominância dos Latossolos Amarelos e Argissolos, solos bem desenvolvidos, o que lhes confere boas características físicas; Porém, há fortes limitações nutricionais, destacando-se a elevada acidez, os baixos níveis de fósforo (P), além da deficiência de nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (VIEIRA e SANTOS, 1987; RODRIGUES, 1996). Na medida em que sua sustentabilidade é dependente do processo de mineralização dos resíduos vegetais e animais, essa condição torna esse ecossistema frágil ao uso agrícola ou pecuário (FERREIRA et al., 2006).

A região sul do Amazonas apresenta como característica marcante a ocorrência de campos naturais. Essa vegetação é constituída por várias formações campestres que se alternam com a floresta e distribuem-se em forma de mosaicos ao longo de uma área que se estende até o norte do estado de Rondônia estimada em 3.418 km<sup>2</sup>. Destes cerca de 630 km<sup>2</sup> estão no município de Humaitá, Amazonas, constituindo os chamados “Campos de Puciari-Humaitá” (BRAUN e RAMOS, 1958; FREITAS et al., 2006; VIDOTTO et al., 2007).

Nesse contexto, ambientes florestais, notadamente aqueles sob solos de baixa fertilidade natural (LOUREIRO, 2002; CARDOSO et al., 2009), como é o caso da maioria dos ambientes amazônicos, as alterações dos ecossistemas naturais, por meio da retirada da cobertura vegetal, promove o rompimento do equilíbrio natural do ecossistema, ocorrendo modificações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (CAMPOS et al., 2009).

Apesar da existência de grandes áreas potencialmente agricultáveis, os solos da Amazônia, na sua maior parte, são ácidos, com baixa capacidade de troca catiônica e, conseqüentemente, de baixa fertilidade (MOREIRA e MALAVOLTA, 2002). Dos poucos solos com alta fertilidade, incluem-se a “Terra Preta Arqueológica” (TPA), ou “Terra Preta do Índio” (TPI), denominação dada aos solos de origem antropogênica, existentes na região Amazônica (WOODS, 2003).

De acordo com Glaser (2007), estes solos normalmente são de elevada fertilidade natural, com elevados teores de P, Ca, Mg e matéria orgânica estável, além de maior atividade biológica, quando comparados aos solos adjacentes. Segundo Cunha et al. (2007), a fertilidade desses solos é fortemente relacionada com as características moleculares da fração alcalino-solúvel do carbono orgânico.

A textura do solo corresponde à proporção relativa em que se encontram os diferentes tamanhos de partículas, em determinada massa de solo. Refere-se, especificamente, as partículas ou frações de areia, silte e argila na terra fina seca ao ar e é uma das características físicas mais estáveis (SANCHEZ, 2012). Segundo Klein (2010) e Grigolon, (2013), a textura do solo, principalmente o teor de argila, define em boa parte a distribuição do diâmetro dos poros do solo, determinando assim a área de contato entre as partículas sólidas e a água, sendo por isso responsável pela força de retenção de água dos solos, pois tem influência direta na taxa de infiltração de água, na aeração e na capacidade de retenção de água (ARAÚJO et al., 2003).

Assim o conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo em áreas florestais é essencial para o manejo dos recursos naturais (água e solo) (ROSA FILHO et al., 2011), tornando-se fundamental monitorar o comportamento dos seus atributos especialmente em ambientes naturais afim de evitar a perda de informações em ambientes não alterados (GOMES et al., 2007).

A análise geoestatística permite detectar a existência da variabilidade e distribuição espacial de variáveis do solo, constituindo assim uma importante ferramenta na análise e descrição detalhada dos atributos do solo (CAMPOS et al., 2007a).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi investigar a variabilidade espacial da textura do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob floresta em Manicoré - Amazonas.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Caracterização da região de Manicoré - Sul do Amazonas**

O distrito de Santo Antônio do Matupi pertence ao município de Manicoré – AM, com área aproximadamente 48.687,00 km<sup>2</sup>. O Sul do Estado do Amazonas é caracterizado por uma vegetação dominante de floresta ombrófila

densa e algumas manchas extensas de forma alongada de campinas amazônica. O relevo é suavemente ondulado a plano e o solo predominante é o Latossolo Vermelho Amarelo (GRAÇA et al., 2007).

O município de Manicoré, AM apresenta clima tropical com expressiva variabilidade, principalmente no tocante à distribuição espacial e temporal de chuvas, cuja zona climática, segundo a classificação de Köppen, pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso), caracterizada pelo tipo Am (chuvas do tipo monção), com período seco de pequena duração e pluviosidade limitada pelas isoietas de 2.200 e 2.800 mm. Apresenta temperaturas médias anuais variando entre 25° e 27° C e umidade relativa do ar variando entre 85 e 90% (BRASIL, 1978).

De acordo com Campos et al. (2011) a região sul do Amazonas apresenta de forma genérica de três diferentes fisiografias: várzea/terra firme, campo/floresta e áreas de relevo movimentado. BRAUN e RAMOS (1959) afirmaram que o relevo desta área é próximo ao do tipo “tabuleiro”, com desnível muito pequeno e bordos ligeiramente abaulados. Essas terras mais altas constituem os divisores topográficos de água entre rios da região. O desnível dessas zonas elevadas, relativamente ao vale dos igarapés, é da ordem de 15 a 20 metros ocorrendo, entretanto, de maneira súbita.

Segundo RODRIGUES e OLIVEIRA (1997), as áreas de várzeas referem-se às margens dos rios de “águas barrentas”, e que sofrem inundação sazonal, enquanto que as áreas de terra firme não sofrem inundação e são formadas por sedimentos do Terciário.

Por outro lado, segundo BRAUN e RAMOS (1959), as áreas de campo/floresta são caracterizadas por unidades de campo, separadas umas das outras por zonas florestadas, ou mesmo por zonas de cerrado, cujos contatos nem sempre são gradativos que compreende as áreas dos “Campos de Puciri – Humaitá” e inclui várias formações campestres, onde a vegetação que prevalece é a gramíneo-lenhosa baixa, que se alternam, às vezes, pequenas árvores isoladas e galerias florestais ao longo dos rios (BRAUN e RAMOS, 1959). De acordo com Freitas et al. (2002), esses campos formam alguns mosaicos com as florestas circundantes.

Os solos dessa região possuem baixa fertilidade natural e são imperfeitamente drenados, apresentando excesso de água durante um período

do ano, em geral, na época de maior precipitação pluviométrica (BRASIL, 1978). Campos (2009), estudando uma sequência de solos na região de Humaitá, observou que solos pedogeneticamente mais velhos, obviamente mais profundos, ocorrem sob vegetação de florestas e campo alto, enquanto solos menos desenvolvidos, mais jovens, e por sua vez mais rasos, ocorrem sob vegetação de campo baixo e zona de ecótono. Segundo este mesmo autor ocorreu Argissolos Vermelho Alítico no campo alto e floresta, Argissolo Amarelo Alítico na zona de ecótono e Gleissolo Háplico Alítico no Campo Baixo.

Os solos de maior extensão nesta região são os Latossolos Amarelos ou Vermelho-Amarelos ocupando uma área de 52,5% da região. São solos profundos, bem drenados, de textura média a argilosa, alta porosidade, boa aeração e boa permeabilidade. Nesta classe ocorrem, em pequenas extensões, geralmente na confluência de rios, horizontes A antrópicos que caracterizam as Terras Pretas Arqueológicas (CAMPOS, 2009).

De maneira geral, a variação dos solos reflete em grande parte as características do material de origem, sendo, também, influenciada por outros fatores como as condições bioclimáticas e o relevo (CAMPOS, 2009). Na região amazônica estas condições não são diferentes, sendo incrementadas por outros fatores, tais como nível elevado do lençol freático, inundações periódicas e arraste de sedimentos pelas águas, que limitam a evolução pedogenética (LIMA, 2001), ocasionando assim a presença de solos jovens e, em alguns casos, sedimentos em processo incipiente de pedogênese.

Segundo Martins et al., (2006) a ocorrência de solos com maior profundidade efetiva, melhor drenagem e maior volume de armazenamento de água, estão relacionados com uma maior inclinação do horizonte plíntico no sentido do igarapé, que aumenta o fluxo de água nesta direção e favorece o aparecimento da vegetação de Floresta. Em condições opostas a estas, a pior drenagem favorece o aparecimento da vegetação de campo natural. Martins (2001) concluiu que solos pedogeneticamente mais velhos, obviamente mais profundos, ocorrem sob vegetação de florestas, enquanto solos menos desenvolvidos e por sua vez, mais rasos, ocorrem sob vegetação de campo natural.

## 2. 2. Ambientes Florestais

Quanto à tipologia vegetal da floresta na região, é a ombrófila densa ou floresta pluvial tropical. De acordo com os registros de Brasil (1978), se desenvolve em função da conjugação de fatores climáticos extremamente favoráveis ao desenvolvimento de atividades biológicas, como abundância de luminosidade, água e temperatura, localizam-se geralmente nas planícies aluvias, nas margens de igarapés e rios, onde geralmente ocorrem espécies endêmicas, como algumas palmeiras, principalmente da espécie “burití” (*Mauritia flexuosa*).

Este tipo de vegetação é caracterizado por fanerófitos, justamente pelas subformas de vida macro e mesofanerófitos, além de lianas lenhosas e epífitas em abundância, que o diferenciam das outras classes de formações. Porém, a característica ecológica principal reside nos ambientes ombrófilos que marcam muito bem a "região florística florestal". Assim, a característica ombrotérmica da Floresta Ombrófila Densa está presa a fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas médias de 25° C e de alta precipitação, bem distribuídas durante ano o que determina uma situação bioecológica praticamente sem período biologicamente seco. Além disso, dominam nos ambientes destas florestas, latossolos distróficos e, excepcionalmente, eutróficos, originados de vários tipos de rochas (BRASIL, 1978).

Essa floresta ocorre onde as condições ambientais são ótimas, não havendo fatores limitantes como escassez ou excesso de água; possui uma alta diversidade florística, contrastando com a homogeneidade fisionômica (PIRES e PRANCE, 1985).

As Florestas de Terra Firme situam-se, geralmente, em terrenos ondulados às baixas altitudes raramente excedem a 250 m sobre o nível do mar, comportam pequenas comunidades florísticas, representadas por ilhas de outros tipos de vegetação, importantes para a manutenção da diversidade florística e faunística (AYRES, 1993).

Estudos de GENTRY e DODSON (1986) mostraram que os bosques tropicais úmidos das florestas de terra firme são mais ricos que qualquer outro tipo de vegetação, tanto em ervas, lianas e palmeiras, quanto em árvores. Anderson (1995) observa que as florestas de terra firme são constituídas por um mosaico de características ecológicas e de microclimas, provavelmente como

resultado da variação das condições edáficas, geológicas e da topografia, que exercem grande influência na diversidade.

É provável que os padrões de vegetação na fisiografia floresta apresentem relação indireta com o relevo, uma vez que este promove grande influência nos atributos do solo, condicionando a drenagem e o nível de lençol freático (CAMPOS et al., 2012).

Ambientes florestais, notadamente aqueles sob solos de baixa fertilidade natural (LOUREIRO, 2002; CARDOSO et al., 2009), como é o caso da maioria dos ambientes amazônicos, as alterações dos ecossistemas naturais, por meio da retirada da cobertura vegetal, promove o rompimento do equilíbrio natural do ecossistema, ocorrendo modificações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (CAMPOS et al., 2009).

Na região Sul do Amazonas, as florestas ainda guardam algumas peculiaridades, como é o caso das Terras Pretas Arqueológicas (TPA) ou Terra Pretas de Índio (TPI), que são classes de solos cuja característica marcante é a coloração escura e a presença de fragmentos de cerâmica e/ou líticos e artefatos indígenas incorporados à matriz dos horizontes superficiais do solo (KAMPF e KERN, 2005).

### **2.3. Terras pretas Arqueológicas**

As Terras Pretas Arqueológicas (TPAs) são classes de solos que apresentam como características marcantes a coloração escura, textura mais arenosa, bem estruturada e a presença de fragmentos de cerâmica e/ou líticos incorporados à matriz dos horizontes superficiais do solo (KAMPF e KERN, 2005; GLASER e BIRK, 2012); são caracterizadas por apresentarem elevada fertilidade natural, resultante possivelmente da prolongada ocupação antrópica e da incorporação de carvão pirogênico (CORRÊA, 2007).

A gênese das TPAs ainda não é bem definida, sendo motivo de divergências entre os pesquisadores, em que a maioria relaciona o aparecimento delas à atividade antrópica (SMITH, 1980), provavelmente por populações pré-colombianas. Embora aceita, essa hipótese apresenta questionamentos da origem intencional ou como mera consequência da ocupação do homem (NEVES et al., 2003).

Segundo Glaser (2007), a formação das TPAs ocorre em três etapas: formação do carvão - refere-se à formação do carbono pirogênico, com composição e estrutura molecular complexa (grupos aromáticos), pouco reativo e contribui com a fertilidade do solo; incorporação de nutrientes - nessa etapa 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; e ação dos microrganismos - esses são responsáveis pela ciclagem de nutrientes, agindo tanto na decomposição da matéria orgânica como na imobilização de nutrientes do solo, a fim de evitar as perdas por lixiviação.

A distribuição das TPAs ocorre em manchas descontínuas por toda a Amazônia, estando normalmente associadas aos cursos de água ou em áreas com posição topográfica que permita boa visualização espacial (GERMAN, 2003). Em relação às dimensões das áreas de ocorrência das TPAs, essas podem apresentar áreas de pequena ou grande extensão (1 a 500 ha) (KÄMPF e KERN, 2005), dependendo da concepção de grandes sítios de assentamento pré-histórico ocupados por longos períodos de tempo.

Quanto ao tipo de solo, os sítios de TPAs ocorrem em sua maioria em Latossolos, Argissolos e Cambissolos, podendo ocorrer sobre Neossolos e Espodossolos (SMITH, 1980; TEIXEIRA et al., 2010). Para outros autores, como Lima et al. (2002), ocorrem em Latossolos e Argissolos, situados fora do alcance das enchentes periódicas dos cursos d'água, na denominada "terra firme", na região Amazônica, e por cobrirem cerca de 70% da Bacia Amazônica. Esta variação nos tipos de solos indica que o solo não foi fator determinante para o estabelecimento dos grupos pré-históricos (CUNHA, 2005; KAMPF e KERN, 2005).

O solo das TPAs apresenta horizonte A antrópico bem-drenado, textura variando de arenosa a muito argilosa e presença do horizonte Au antrópico entre 30 e 60 cm (CAMPOS et al., 2012). Além disso, de maneira geral, esses solos possuem pH em água entre 5,2 e 7,0, elevados teores de P, Ca, Mg, Zn e Mn e alto teor de matéria orgânica estável (FALCÃO et al., 2001). A elevada fertilidade e principalmente a sustentabilidade da fertilidade das áreas de TPAs é atribuída ao elevado nível de matéria orgânica e as suas propriedades físico-químicas como, a elevada reatividade das frações húmicas (CUNHA et al., 2009).

Atualmente, o estudo sobre as TPAs tem-se intensificado em função das boas características apresentadas por estes solos, como alta concentração de nutrientes (fósforo, cálcio, magnésio) e grande quantidade de matéria orgânica estável (LIMA et al., 2002; GLASER et al., 2002; LEHMANN et al., 2003).

A textura das TPAs revela predomínio da fração areia nos horizontes antrópicos e transicional. Esse fato foi observado por Lima (2001), em TPAs de Iranduba, no Amazonas, cujos valores da fração areia, silte e argila, no horizonte A (0-30 cm de profundidade), foram de ordem de  $520 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $130 \text{ g kg}^{-1}$  e  $350 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente, atribuindo ao solo à classificação de francoargiloarenoso, enquanto nos horizontes de transição e B os teores de areia diminuem à medida que as camadas se aprofundam.

Os perfis estudados de TPAs no sul do Amazonas observado por Campos et al. (2011), ao encontrarem dominância da fração areia, em particular da areia grossa no horizonte antrópico, onde se verificou nítida variação da textura em função da posição de ocorrência das TPAs no relevo com contribuição de pequenos fragmentos líticos e cerâmicos.

Seus horizontes antropogênicos são bem drenados, com boa disponibilidade de água. 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. Segundo Teixeira et al. (2010), os valores de densidade do solo correlacionam-se melhor com a distribuição granulométrica das partículas do que com os teores de matéria orgânica.

#### **2.4. Textura do solo**

A textura é uma característica importante no manejo dos solos, pois determina, em grande parte, o grau de coesão e adesão entre as partículas do solo. Os teores relativos das partículas do solo influenciam na taxa de infiltração e retenção de água, na aeração e na disponibilidade de nutrientes (FORYSTHE, 1975). Além disso, a sua determinação no solo permite fazer uso racional e eficiente dos fertilizantes (SANTOS et al., 2010).

A textura do solo corresponde à proporção relativa em que se encontram os diferentes tamanhos de partículas, em determinada massa de solo. Refere-se, especificamente, as partículas ou frações de areia, silte e argila na terra fina seca ao ar e é uma das características físicas mais estáveis (SANCHEZ, 2012). Consiste na propriedade física do solo que menos sofre alteração ao longo do tempo pela influência do manejo (ARAÚJO et al., 2003). Durante a classificação do solo em um determinado local, a textura dos diferentes horizontes é muitas vezes a primeira e a mais importante propriedade a ser determinada e, a partir desta informação, muitas conclusões importantes podem ser tomadas.

Segundo Klein (2010) e Grigolon (2013), a textura do solo, principalmente o teor de argila, define em boa parte a distribuição do diâmetro dos poros do solo, determinando assim a área de contato entre as partículas sólidas e a água, sendo por isso responsável pela força de retenção de água dos solos, pois tem influência direta na taxa de infiltração de água, na aeração e na capacidade de retenção de água (ARAÚJO et al., 2003). A textura possui influência no comportamento do solo, quando submetido a pressões externas, pois determina o atrito entre as partículas e o tipo de ligação entre elas. Em geral, quanto maiores as partículas do solo, menor sua compressibilidade e agregação (MACEDO et al., 2010).

O conhecimento da textura é importante para definir classes taxonômicas (WEBSTER e BUTLER, 1976), inferir os processos pedogenéticos atuantes (YOUNG et al., 1999), e ainda auxiliar no entendimento do movimento de água no corpo do solo, no manejo da adubação, prever as necessidades de práticas conservacionistas, essenciais para o planejamento ambiental (BOUMA et al., 1999).

A textura do solo tem um papel importante nos processos físicos, químicos e biológicos, interferindo no funcionamento dos ecossistemas (BAYER et al., 2006; DILUSTRO et al., 2005; SYLVIA et al., 1999). A proporção relativa de areia, silte e argila define a classe textural do solo e modifica o potencial de estoque de nutrientes, carbono e capacidade de retenção de água nos solos. A textura, por estar relacionada à porosidade e aeração do solo, afeta também a dinâmica de ar neste meio, alterando a atividade microbiana e de enzimas, com implicações sobre a decomposição e mineralização da matéria orgânica (PAUL, 2007; STOTZKY, 1965; SYLVIA et al., 1999).

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 à ação do intemperismo (YOUNG e HAMMER, 2000) e principalmente do material de origem (CUNHA et al., 2005). A textura do solo também pode variar em função da estratigrafia da área de estudo, por exemplo, a variação textural do arenito do grupo Bauru (mais fino na base e grosseiro no topo), é indicação da mudança do ambiente deposicional (MARQUES JÚNIOR e LEPSCH, 2000).

De acordo com Gobin et al. (2001) afirma que a distribuição espacial da textura no terreno apresenta dependência espacial da direção e da intensidade dos fluxos de água, que são dependentes das formas de relevo. Assim, em áreas de forma côncava condicionam movimento das partículas na direção perpendicular ao sentido da vertente, em segmento de forma convexa e de forma linear visualiza-se a inversão dos movimentos na direção paralela ao sentido da vertente, conforme destaca Leão (2004).

O entendimento do comportamento da textura do solo é importante para se compreender a distribuição dos sedimentos, a dinâmica de formação de uma vertente e fazer inferências sobre o comportamento do solo. Sobre este aspecto, Daniels e Hammer (1992), afirmam que os sedimentos de uma encosta, são formados por processos diversos de movimento de massa e podem mascarar a variabilidade de material subjacente. Áreas de colúvios, por exemplo, apresentam variação textural dependente da fonte e história pós-deposicional de cada local.

Vale salientar que a textura também se apresenta como uma ferramenta útil, na definição de classes taxonômicas, na atuação de processos pedogenéticos, além favorecer o entendimento do movimento de água no corpo do solo, o manejo da adubação, assim como o estabelecimento de práticas conservacionistas e planejamento ambiental (MULLA e MCBRATNEY, 2002).

A textura é uma das principais características dos solos, dada a sua estreita relação com a retenção de água, a troca catiônica, a fixação de fósforo e as recomendações de calagem e adubações que são feitas com base em percentuais de argila, além de ser fundamental para caracterização de perfis de solos usados em levantamentos e classificação de solos (LOPES e GUILHERME, 1992; SOUSA et al., 1995; EMBRAPA, 1997; RESENDE et al.,

1999; OLIVEIRA et al., 2002), bem como no planejamento conservacionista do uso das terras. Portanto, a inclusão da análise granulométrica na rotina dos laboratórios é muito importante.

A finalidade da análise textural é conhecer a distribuição das partículas unitárias menores que 2,0 mm numa amostra de solo. Para que isso ocorra de forma confiável e com maior exatidão possível, é indispensável que, independentemente do método de análise granulométrica usado, se consiga obter completa dispersão das partículas do solo e mantenha essa dispersão estável durante toda a marcha analítica (KIRKHAM e POWERS, 1972), a qual pode ser dividida em três fases: pré-tratamento; dispersão química e mecânica; e separação das frações argila, silte e areia. No que diz respeito a atributos físicos, Eguchi et al. (2002) comentam que a textura e a densidade de partículas são consideradas elementos de grande importância na identificação e na classificação dos solos, pois se constituem em características físicas de elevada estabilidade.

De acordo com Journel e Huijbregts (1978), a variação espacial de atributos físicos do solo não ocorre de modo aleatório, mas segundo uma estrutura de dependência espacial, que deve ser investigada e incorporada aos processos de mapeamento.

## **2.5. Geoestatística na caracterização dos atributos do solo**

O uso da geoestatística na agricultura favorece a modelagem da variabilidade espacial dos mais diversos atributos de solo e planta (VIEIRA, 2000) possibilitando o entendimento de muitos parâmetros até então ignorados. De acordo com Grego e Vieira (2005) e Siqueira et al. (2012) a ampla diversidade dos resultados dos estudos de variabilidade espacial dos atributos físicos do solo está associada, em parte, ao sistema de manejo adotado.

A análise geoestatística permite detectar a existência da variabilidade e da distribuição espacial das medidas estudadas. Constitui importante ferramenta na análise e descrição detalhada da variabilidade das propriedades do solo (CARVALHO et al., 2002 e VIEIRA 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 uso crescente do GPS (Global Positioning System) na agricultura, associado às técnicas de geoestatística, vem auxiliando a realização do mapeamento de atributos qualitativos e quantitativos das características do solo (BOTTEGA et al., 2011).

Entretanto, o mérito da análise geoestatística não se limita apenas à averiguação da dependência espacial, mas também predizer valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência e com variância mínima, uma vez conhecido o semivariograma da variável, e havendo dependência espacial entre as amostras. A predição pode ser em um ou mais pontos específicos da área ou pode-se obter uma malha de pontos interpolados que permite visualizar o comportamento da variável na região através de um mapa de isolinhas ou de superfície, para tanto, é necessário a aplicação de um método de interpolação conhecido como krigagem (VIEIRA, 2000).

De acordo com Camargo (1997), o processo de krigagem se diferencia dos outros métodos de interpolação pela forma de atribuição dos pesos associado a cada valor medido, já que neste método não se utiliza a distância euclidiana entre os pontos, mas uma “distância estatística” que expressa tanto a distância como a estrutura da variabilidade (semivariância ou covariância). Dessa forma, os pesos são atribuídos de acordo com a variabilidade espacial expressa no semivariograma (VIEIRA e LOMBARDI NETO, 1995).

No entanto, o que torna a krigagem um interpolador ótimo é a maneira como os pesos são distribuídos, não sendo tendencioso, tendo variância mínima e possibilitar que se conheça a variância da estimativa (WEBSTER e OLIVER, 1990).

O solo apresenta heterogeneidade, tanto vertical como horizontalmente, imposta pelos fatores de formação, a começar pelo próprio material de origem que não se apresenta de forma uniforme em toda sua extensão, e ao fato do processo de intemperização não ocorrer de forma homogênea e contínua (RICHTER et al., 2011). Por outro lado, solos submetidos a intensas modificações condicionadas pelo uso e manejo, podem apresentar variação espacial dos atributos (KLEIN et al., 2009; SOUZA et al., 2010).

Segundo Mendes et al. (2008) o conhecimento da variabilidade espacial da textura do solo é importante para o entendimento de processos pedogenéticos, da dinâmica da água e acúmulo de sais, além de minimizar erros

de amostragem e manejo. Além disso, segundo Mulla e Mcbratney, (2002) favorece o entendimento do movimento de água no corpo do solo, o manejo da adubação.

Em áreas com solos aparentemente homogêneos, sob única classe de solo, com o uso de modelos de paisagem e técnicas geoestatísticas, pode-se captar dependência espacial de atributos granulométricos a curtas distâncias em grau suficiente para interferir na produtividade das culturas (CAMPOS et al., 2007). Nesse sentido, os mapeamentos da variabilidade espacial de atributos texturais nessas áreas representam um esforço importante para o manejo de aplicação de insumos com taxas variadas. Para Eguchi et al., (2002) a caracterização de solos a densidade de partículas e, principalmente, a textura são considerados elementos de grande importância na tomada de decisão, na identificação e classificação do solo, pois se constituem em características físicas bastante estáveis.

Trabalhos na região sul do Amazonas utilizando a geoestatística identificaram estrutura de variabilidade espacial em atributos físicos do solo (CAMPOS et al., 2012 e 2013; OLIVEIRA et al., 2013) e encontraram variabilidade espacial em atributos físicos em ambientes de floresta, cana-de-açúcar, mandioca e agrofloresta. Já Oliveira, (2013) estudando ambientes de floresta, TPA e pastagem, observou, nos atributos físicos, químicos e suscetibilidade magnética, estrutura de variabilidade espacial e maior afinidade dos atributos do solo ao ambiente com TPA, evidenciado pela análise estatística multivariada.

Assim o conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo em áreas florestais é essencial para o manejo dos recursos naturais (água e solo) (ROSA FILHO et al., 2011), tornando-se fundamental monitorar o comportamento dos seus atributos especialmente em ambientes naturais afim de evitar a perda de informações em ambientes não alterados (GOMES et al., 2007).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

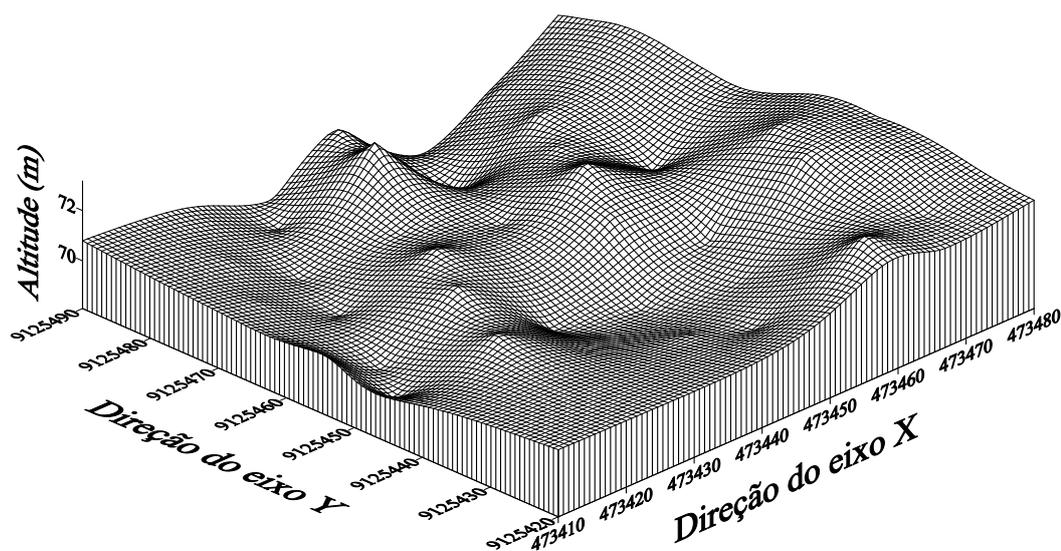
#### **3.1. Caracterização do Meio Físico**

A área em estudo encontra-se na região do município de Manicoré – Amazonas, no km 210 á 30 km da comunidade do Santo Antônio do Matupí, as

margem da BR 230, rodovia transamazônica. As coordenadas geográficas são latitude: 07° 51' 28" Sul, longitude: 61° 17' 48" Oeste, com altitude media de 109 metros acima do nível do mar.

O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo tropical chuvoso (chuvas do tipo monção), apresentando um período seco de pequena duração (AM), temperaturas variando entre 25 e 27 ° C e precipitação media 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 %.

A geologia nas imediações da comunidade de Santo Antônio do Matupí localiza-se sobre saprolitos de Granitos Rondonianos, que se caracterizam por apresentar muscovita, biotita, adamelitos, e granodioritos, de origem intrusiva cratogênica, em forma de "stocks" e batólitos (BRASIL, 1978). O relevo da área é constituído por platôs com as superfícies planas, e a zona de borda marcada por colinas e cristais alinhadas e localmente íngreme, enquanto as áreas planas tem uma superfície pediplanda como principal característica (CPRM, 2001). As variações do relevo favorecem a presença de solos distróficos no topo alto (Latossolo Vermelho Distrofico típico) e solos eutrófico (Latossolo Vermelho – Amarelo eutrofico típico) no sopé de transporte (CAMPOS et al., 2011). A região possui vegetação de Floresta Tropical Densa constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre 20 e 50 metros de altura (ZEE-AM, 2008).



**Figura 1.** Modelo de elevação digital da área de estudo da sob floresta na área de Terra Preta Arqueológica na região de Manicoré- Amazonas

### 3.2. Metodologia de Campo e Laboratório

As áreas são de Terra Pretas Arqueológicas (TPA) sob floresta nativa, onde foi estabelecido o mapeamento de uma malha de 6 x 6 m, nas profundidades de amostragem 0,0-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, totalizando 88 pontos na malha com 264 amostra nas 3 profundidades, para a análise de textura e análises físicas. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS para construção do Modelo Digital de Elevação (MDE).

### 3.3. Análises Físicas

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, utilizando solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em milk-shake de alta rotação por 15 minutos, seguindo metodologia proposta pela Embrapa (1997). A fração argila foi separada por sedimentação, a areia por tamisação, e o silte calculado por diferença.

### 3.4. Análise estatística e geoestatística

Os atributos do solo foram analisados por meio da análise estatística descritiva, sendo calculado a média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão, variância, o coeficiente de variação, o coeficiente de assimetria e curtose. As hipóteses de normalidade dos dados foram testadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, por meio do software computacional Minitab 14 (MINITAB, 2000).

Para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989). Com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada por:

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

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

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de  $\hat{\gamma}(h)$  são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita,  $C_0$ ; patamar,  $C_1$ ; variância estrutural,  $C_0 + C_1$ ; e o alcance,  $a$ ). O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva

estabiliza sobre um valor constante; o alcance é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (VIERA et al., 2000).

Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizou o exame de semivariogramas, por meio do programa GS+ (ROBERTSON, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou o melhor  $R^2$  (coeficiente de determinação) e os valores de validação cruzada que foram o coeficiente de regreção e o Y intercepto.

Para analisar o grau da dependência espacial dos atributos do solo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al., (1994), em que são considerados dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita <25% do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca, >75%.

Após o ajuste dos modelos matemáticos permissíveis foi feita à interpolação dos dados por meio da krigagem para os atributos que apresentaram estrutura de dependência espacial. A análise geoestatística realizada no *software* GS+ e os mapas de krigagem no *software* Surfer versão 8.00.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da estatística descritiva para a textura do solo da área de floresta nativa estão apresentados na (Tabela 1). As medidas de tendência central média e mediana apresentaram valores próximos na fração argila em todas as profundidades enquanto que nas frações areia na camada 0,10 – 0,20 m e silte na camada 0,00 – 0,05 m os valores se distanciaram nas respectivas profundidades. Estes resultados estão de acordo com os resultados apresentados por Campos et al. (2013) em um Argissolo vermelho sob floresta no sul do Amazonas.

**Tabela 1.** Estatística descritiva das frações textural do solo nas diferentes camadas na área de Terra Preta Arqueológica na região Manicoré- Amazonas.

Estatística Descritiva	Frações Textural								
	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
	Profundidade (m)								
	0,00-0,05 m			0,05 – 0,10 m			0,10 - 0,20 m		
Média	695,1	215,2	89,6	700,0	194,0	105,9	717,8	186,2	95,8
Mediana	694,3	208,9	88,2	697,1	194,4	105,0	724,0	185,9	95,3
Máximo	795,1	344,5	130	792,3	265,5	136,2	779,4	271,6	140,6

Mínimo	587,1	117,5	44,7	601,6	103,6	70,5	614,0	111,2	50,0
<sup>1</sup> DP	39,9	44,1	17,4	40,3	36,7	13,1	36,5	35,1	14,2
Variância	1598,2	1945,4	303,9	1628,3	1352,8	172,8	1334,6	1236,3	202,9
<sup>2</sup> CV	5,75	20,4	19,4	5,76	18,9	12,4	5,09	18,8	14,2
Assimetria	-0,10	0,41	0,05	0,33	-0,22	0,00	-0,51	0,21	0,24
Curtose	0,44	0,30	-0,48	-0,51	-0,63	-0,50	-0,23	-0,47	1,29
<sup>3</sup> d	0,06*	0,09*	0,05*	0,08*	0,05*	0,07*	0,09*	0,06*	0,06*

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

Na Tabela 1 são apresentados a maior presença da fração areia nas três profundidades é um comportamento comum encontrado nos solos com presença de horizontes antropogênicos, como já relatados por Santos et al. (2013) que justifica esta dominância da fração areia pela natureza grosseira do material de origem, da menor taxa de intemperismo e do fraco grau de desenvolvimento do solo. Já Campos et al. (2011a) afirmam que há dominância da fração areia, em particular da areia grossa no horizonte antrópico está relacionada a posição na paisagem que se encontra o ambiente em estudo e para German (2003), esses elevados teores da fração areia, podem ser explicados pela contribuição de pequenos fragmentos líticos e cerâmicos.

Nas medidas de formato assimetria e curtose, as frações granulométricas apresentaram valores próximos ao valor central zero, sendo exceção apenas a curtose para a argila na profundidade de 0,10 a 0,20 m com valores maiores que 1 (Tabela 1). De acordo com Diggle e Ribeiro Júnior (2007) os coeficientes de assimetria e curtose são mais sensíveis a valores extremos que a média, mediana e desvio padrão, pois um único valor pode influenciar fortemente nos valores desses coeficientes, uma vez que os desvios entre cada valor e a média são elevados à terceira potência.

Com relação ao teste de normalidade dos dados submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov verificou-se que todas as frações granulométricas apresentaram normalidade (Tabela 1). Constatado através dos resultados da análise exploratória dos dados que as variáveis apresentam distribuição suficientemente simétrica ao uso da geoestatística.

O coeficiente de variação nas propriedades granulométricas foi classificado conforme os critérios determinados por Warrick e Nielsen (1980). A fração areia foi classificada como baixo (CV<12%) em todas as profundidades, indicando que os dados são mais homogêneos, fazendo comparação com a média dos

resultados. Já as frações silte e argila foram classificadas como moderada (CV 12 a 24%), o que lhes conferem uma baixa e moderada variabilidade no ambiente de floresta pelo critério do coeficiente de variação (Tabela 1). Nos estudos de Aquino et al. (2014) com um solo antropogênico em comparação com um ambiente de floresta natural verificou que o as frações granulométricas apresentaram variabilidade moderada no ambiente antropogênico.

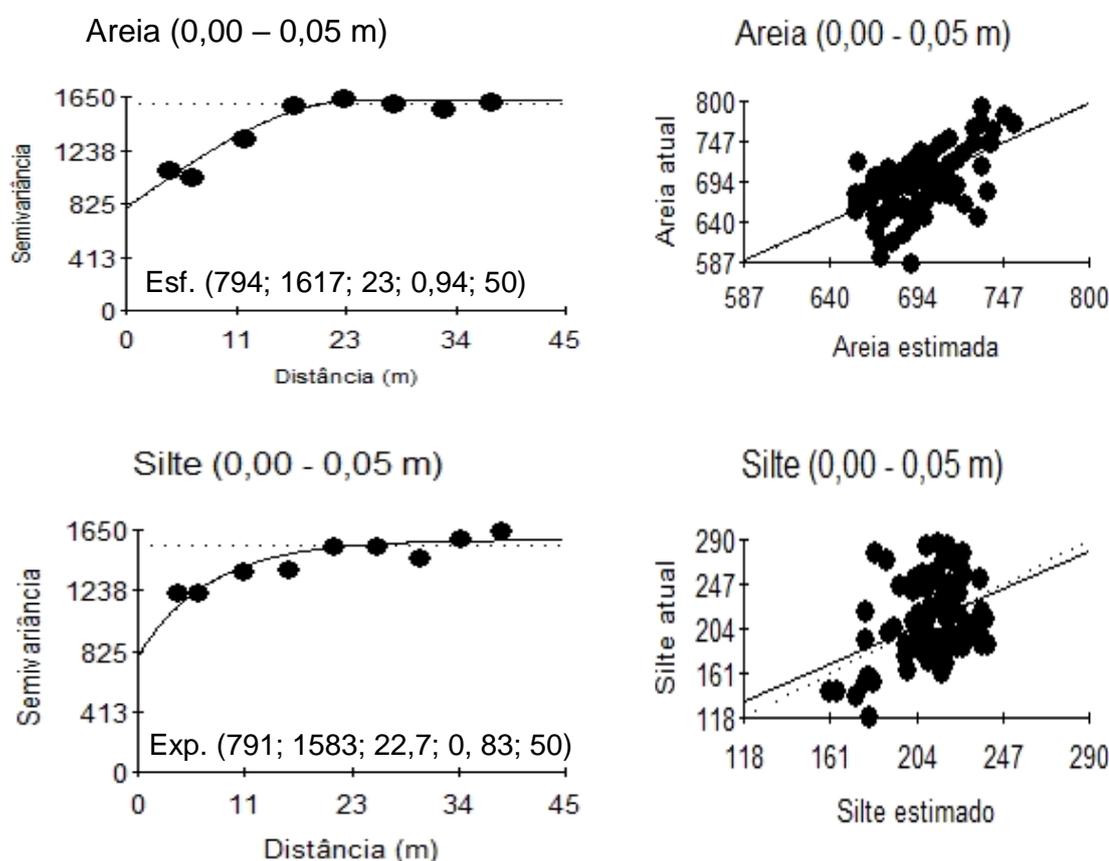
A semelhança dos valores de CV das três profundidades no atributo granulométrico areia permite afirmar que os agentes causadores da variabilidade atuam continuamente em profundidade. Todavia, é importante ressaltar que, ainda que o coeficiente de variação permita comparar a variabilidade entre amostras com unidades diferentes, o emprego dessa medida não deve ser generalizado, mas relevante segundo as finalidades que se destina o trabalho (SOUZA, 2004; CAMPOS et al., 2007).

Os modelos que melhor se ajustaram aos dados de areia, silte e argila foram o esférico e exponencial, exceção a fração argila na profundidade 0,00-0,05 m que apresentou efeito pepita puro (EPP). Segundo Isaaks; Srivastava (1989), os modelos exponenciais são melhor ajustados a fenômenos erráticos na pequena escala, enquanto os modelos esféricos descrevem propriedades com alta continuidade espacial, ou menos fenômenos erráticos na curta distância. Os modelos esféricos e exponenciais apresentam-se como os modelos teóricos mais comuns aos atributos do solo (CORÁ et al., 2004; MONTANARI et al., 2008; MONTOMIYA et al., 2011).

O ajuste do modelo matemático aos semivariogramas experimentais foi realizado utilizando-se como critérios de seleção dos modelos a técnica da validação cruzada (VC) "*cross-validation*" que fornece o coeficiente de regressão e mostra como resultado uma reta que passa entre as observações reais e estimadas (WOJCIECHOWSKI et al., 2009), no qual os valores variam de 0 a 1, sendo os valores mais próximos de 1 o mais eficiente modelo para representar o fenômeno estudado (RIBEIRO JUNIOR, 1995) e também o y intercepto onde quanto mais baixo é o seu valor melhor ajustado encontra-se o gráfico. Outro critério de escolha do melhor modelo experimental foi o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) que é muito usual nos trabalhos com geoestatística, onde o seu melhor ajuste se dá quanto mais próximo fica do valor 1.

O EPP é importante e indica distribuição casual, ou seja, variabilidade não explicada ou variação não detectada, e pode ocorrer devido a erros de medidas, amostragem ou microvariação não detectada, considerando ser o espaçamento de amostragem utilizado maior que o necessário para detectar a dependência espacial (Cambardella et al. 1994). Para as demais variáveis, o espaçamento amostral utilizado foi adequado para se verificar a dependência espacial.

Na camada de 0,00-0,05 m foi o modelo esférico para a fração areia e exponencial para a fração silte. O  $R^2$  foi de 0,94 e 0,83 respectivamente, e os valores da validação cruzada foram na regressão de 0,98 e 0,84 respectivamente (Figura 2). Segundo Azevedo (2004) quando  $R^2$  for maior que 50%, melhor será a estimativa de seus valores pelo o método de interpolação krigagem ordinária.



Regressão = 0,846; y intercepto = 33,29

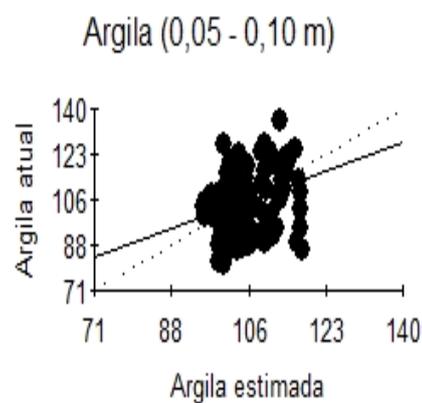
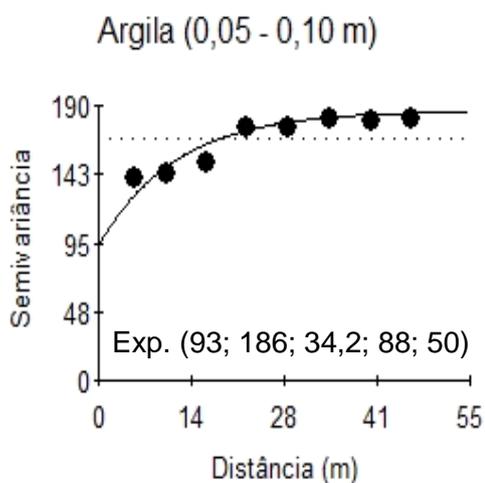
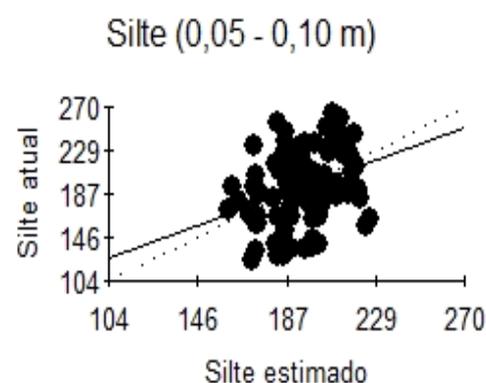
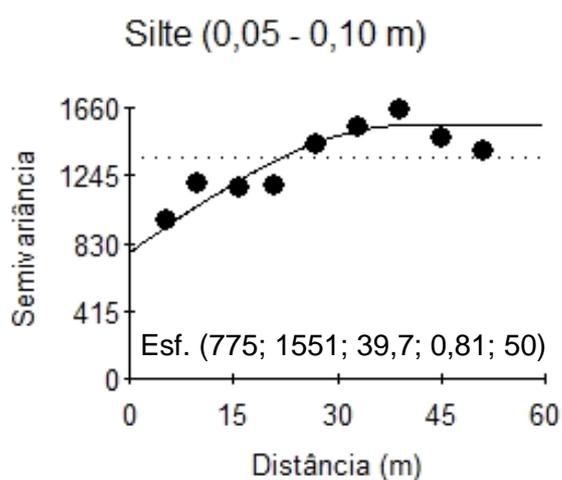
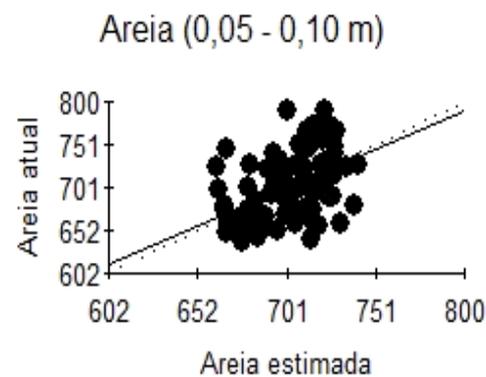
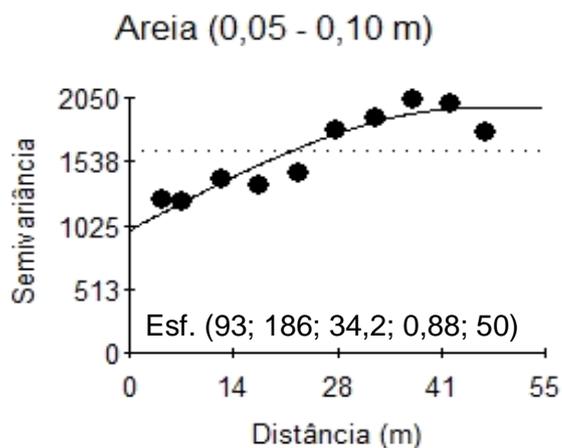
**Legenda:** Modelo (Efeito Pepita ( $C_0$ ), Patamar ( $C_1$ ), Alcance ( $a$ ), Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), Grau de Dependência Espacial (GDE))

**Figura 2.** Semivariogramas e mapas de validação cruzada das variáveis, areia, silte na camada de 0,00-0,05 m em área de TPA sob floresta nativa na região de Manicoré - AM.

Na profundidade de 0,00-0,05 m o GDE foi moderado para as frações de areia e silte (Figura 2). Cambardella et al. (1994) cita que as variáveis que apresentam forte dependência espacial são mais influenciadas por propriedades intrínsecas do solo, ou seja, pelos fatores de formação do solo, enquanto a dependência espacial moderada deve-se à homogeneização do solo, ao passo que aos extrínsecos atribui-se fraca dependência.

O alcance é uma medida importante no planejamento e na avaliação experimental, já que pode auxiliar na definição de procedimento de amostragem (MCBRATNEY e WEBSTER, 1986). Esse parâmetro representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados. Com o conhecimento do alcance da dependência espacial, define-se o raio de amostragem, em que os atributos estudados apresentaram diferentes valores de alcance em ambas as áreas, mas com valores acima do estipulado pela malha. Os valores de alcance foram muito próximos (23 e 22,7 m) respectivamente na profundidade 0,00-0,05 m conforme observado na (Figura 2).

Na camada 0,05-0,10 m o semivariograma ajustado para a fração areia e silte foi o esférico, já a fração argila foi o exponencial (Figura 3). Esses resultados assemelham-se a vários estudos que apontam os modelos esférico e exponencial como os que melhor se ajustam as frações textural do solo (MENDES et al., 2008; CHIG et al., 2008; SILVA et al., 2010). Quanto aos valores de  $R^2$  foram 0,88, 0,81 e 0,88, respectivamente, e os valores de regressão da validação cruzada foram 0,89, 0,75 e 0,62, respectivamente (Figura 3). Estes valores estão dentro dos padrões aceitáveis aconselhados para um bom ajuste de semivariograma.



Modelo (Efeito Pepita ( $C_0$ ), Patamar ( $C_1$ ), Alcance ( $a$ ), Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), Grau de Dependência Espacial (GDE))

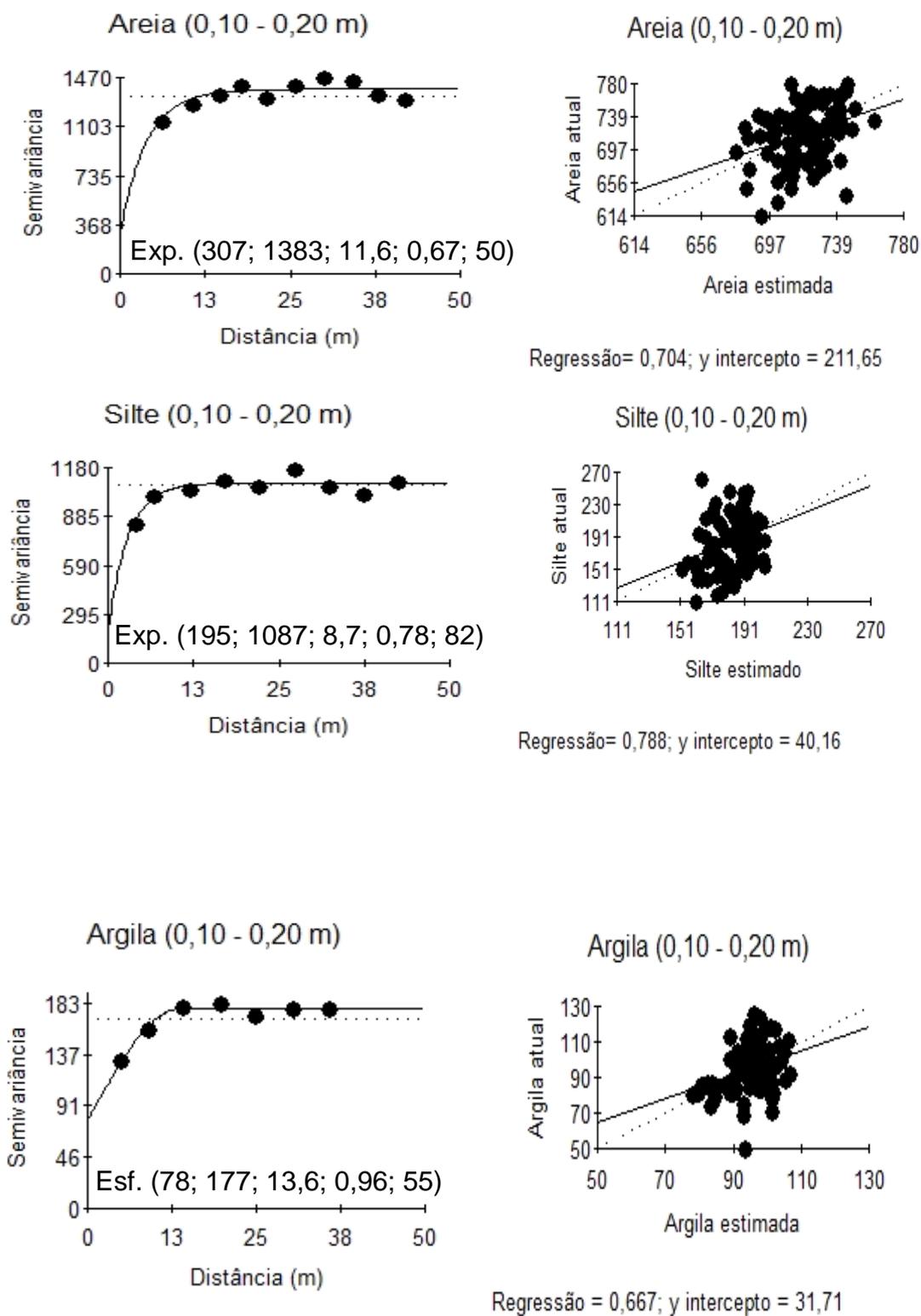
**Figura 3.** . Semivariogramas e mapas de validação cruzada das variáveis, areia, silte e argila na camada de 0,05-0,10 m em área de TPA sob floresta nativa na região de Manicoré - AM.

Em relação ao GDE, foi observado comportamento semelhante ao apresentado na primeira profundidade, sendo da mesma forma classificado com moderado GDE todas as frações granulométricas. Os valores do alcance também não apresentaram variação entre as frações granulométricas estando entre 34,2 a 39,7 m. Este comportamento indica uma mesma continuidade espacial semelhante das frações granulométricas mesmo com o aumento em profundidade. Estudando um ambiente de floresta e pastagem no município de Manicoré ao sul do Amazonas Aquino et al. (2014) encontrou no ambiente de floresta nativa GDE moderado na fração areia e silte, e fraca na fração argila e valores de alcance variando entre 17,30 a 44,56 m. Já Oliveira et al. (2013) estudando diversos ambientes no município de Humaitá no sul do Amazonas encontrou nas frações granulométricas GDE moderado e valores de alcance entre 17,21 a 88,0 m.

Na camada 0,10-0,20 m o semivariograma exponencial foi o que se ajustou as frações areia e silte, já a fração argila ajustou-se ao semivariograma esférico. Quanto ao coeficiente de determinação  $R^2$  seus valores foram 0,67, 0,78 e 0,96 e os valores de regressão da validação cruzada foram 0,70, 0,78 e 0,66 (Figura 4). Estes valores de coeficientes de determinação concordam com os trabalhos desenvolvidos na região sul do Amazonas de Campos et al., (2012; 2013 e 2014) e os de validação cruzada com os apresentados no trabalho de Oliveira et al. (2014).

O GDE na profundidade 0,10-0,20 m foi moderado na fração areia e argila e fraca na fração silte. Quanto ao alcance das frações granulométricas variaram de 8,7 a 13,6 m, sendo estes valores bem menores aos apresentados pelas profundidades anteriores, indicando que nesta profundidade ocorre maior heterogeneidade das frações granulométricas com o aumento em profundidade (Figura 4). Nos estudos de Campos et al. (2013) em um ambiente de floresta no sul do Amazonas foi encontrado GDE moderado para a fração areia e silte e fraco na fração argila com valores de alcance variando de 17,30 a 44,56 m. Já nos trabalhos de Aquino et al. (2014) onde se estudou um ambiente antropogênico foi encontrado baixo GDE para as frações areia e argila e

moderado para a fração silte, com valores de alcance variando de 19,80 a 31,20 m.

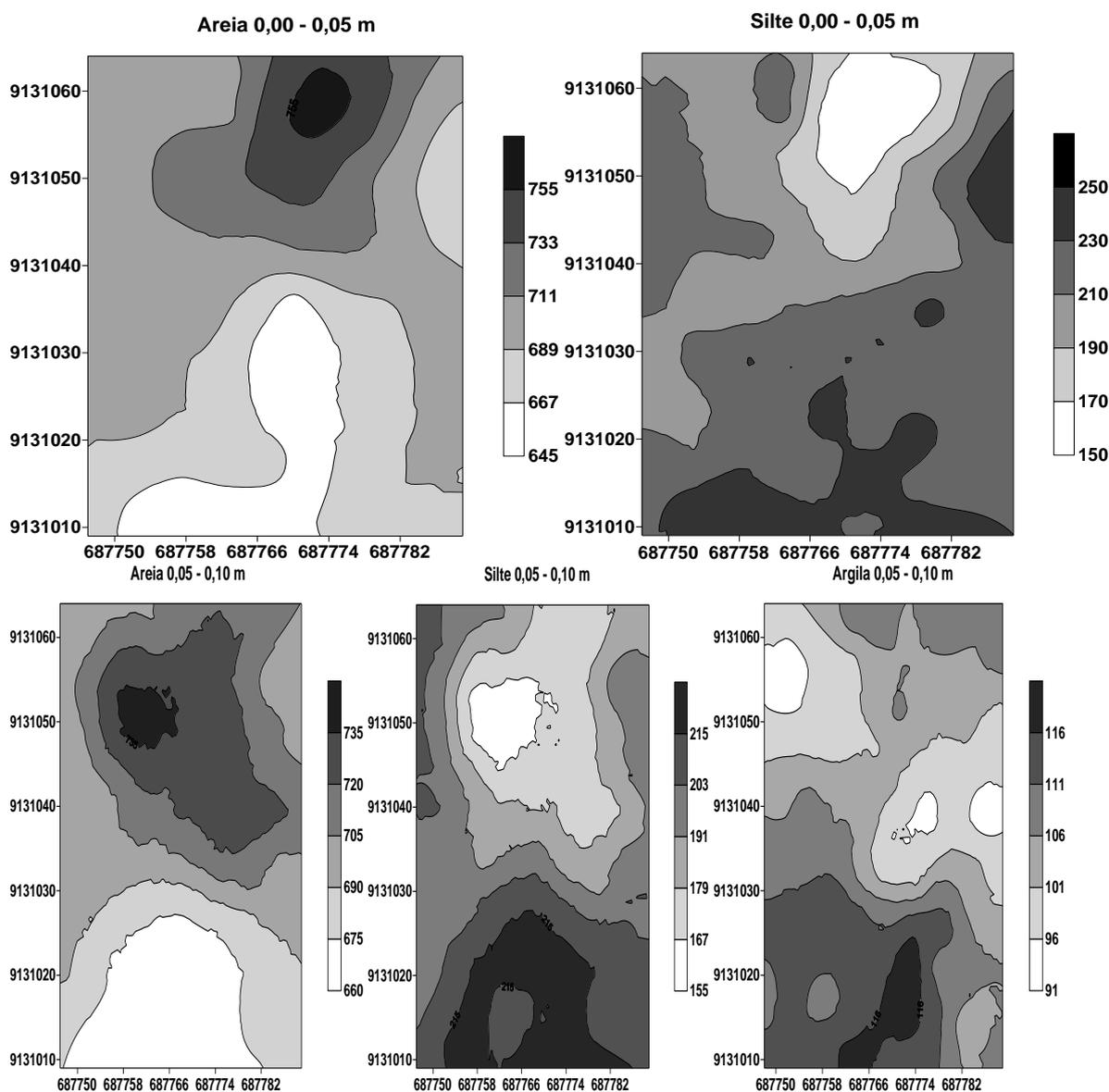


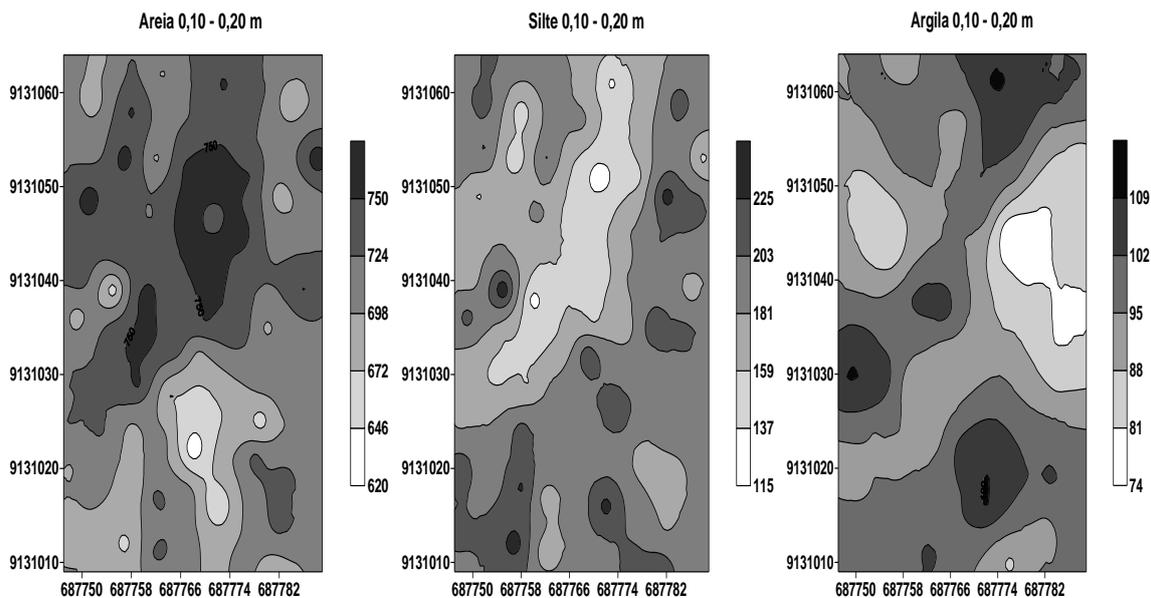
Modelo (Efeito Pepita ( $C_0$ ), Patamar ( $C_1$ ), Alcance ( $a$ ), Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), Grau de Dependência Espacial (GDE))

**Figura 4.** . Semivariogramas e mapas de validação cruzada das variáveis, areia, silte e argila na camada de 0,10 – 0,20 m em área de TPA sob floresta nativa na região de Manicoré - AM.

Os mapas de isolinhas dos respectivos semivariogramas são apresentados na (Figura 5). Por meio dos mapas de isolinhas, percebe-se que a textura do solo apresentou mapas de areia, silte e argila inversamente proporcionais.

Os mapas de isolinhas possibilita verificar a dinâmica dos atributos do solo em ambientes cujo relevo apresenta variações, ainda que estas variações sejam de pequena expressão, como ocorre neste ambiente de estudo.





**Figura 5.** Mapas de isolinhas dos dados textura do solo nas respectivas camadas 0,00-0,05, 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m em área de Terra Preta Arqueológica em Manicoré – AM.

Os mapas de isolinhas da camada 0,00-0,05 m confirma a predominância da fração areia no ambiente, onde ocorre à dominância dos valores da fração areia entre 711 a 645  $\text{g kg}^{-1}$  no ambiente, enquanto que na fração silte ocorre maior presença de valores entre 230 a 170  $\text{g kg}^{-1}$ . Na camada 0,05-0,10 m nota-se a dominância da fração areia e seguindo o mesmo comportamento da primeira profundidade com domínio dos valores intermediários entre 705 a 660  $\text{g kg}^{-1}$ , enquanto que a profundidade 0,10-0,20 m apresenta grande variação dos seus valores distribuídos no ambiente em todas as profundidades (Figura 4).

É importante salientar também o aumento que ocorre nas frações granulométricas conforme aumenta a profundidade, sendo a profundidade de 0,10-0,20 m com a maior variabilidade apresentada nos mapas de isolinhas (Figura 5) e confirmada pelos valores de alcance de areia, silte e argila (Figura 4).

De forma geral, a maior presença da fração areia encontrada no ambiente de floresta nativa com horizonte antropogênico está de acordo com os estudos de outros pesquisadores que indicam com frequência a maior presença desta fração no horizonte antropogênico. Trabalhos que utilizaram a geoestatística como ferramenta para verificar a variabilidade espacial das frações granulométricas nestes ambientes na região sul do Amazonas como os de Aquino et al. (2014 e 2015), outros trabalhos que visaram a caracterização dos

atributos físicos e químicos como os de Campos et al. (2012) e Santos et al. (2012 e 2013) também foi encontrado predominância da fração areia.

## **5. CONCLUSÕES**

1. As frações texturais apresentaram estrutura de dependência espacial, com o maior alcance de 39,7 m observado na profundidade 0,05 – 0,10 m.
2. Na área com terra preta arqueológica sob floresta nativa a variabilidade das frações texturais foram maiores conforme aumenta a profundidade.
3. A fração areia foi predominante em todas as profundidades analisadas na área com terra preta arqueológica sob floresta.
4. Aumenta as frações texturais conforme aumenta a profundidade sendo a camada de 0,10-0,20 m com a maior variabilidade espacial apresentada nos

mapas de isolinhas na área de Terra Preta Arqueológica sob floresta na região de Manicoré - Amazonas.

## 6. REFERÊNCIAS

ANDERSON, A.B. Forest management patterns in the floodplain of the Amazon Estuary. **Conservation Biology**, v. 9, n. 1, p. 47-61, 1995.

AQUINO, R. E.; MARQUES JR, J.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; TEIXEIRA, D. B.; CUNHA, J. M. Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in southern Amazonas, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 39:21-30, 2015.

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; MARQUES JR, J.; SILVA, D. M. P.; SILVA, D. A. P. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênico e não antropogênico não região de Manicoré, AM. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, p. 988-997, 2014.

ARAÚJO, A. A. V. **Variabilidade espacial de propriedades químicas e granulométricas do solo na definição de zonas homogêneas de manejo**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de São Paulo, Jaboticabal. 80p. 2002.

ARAÚJO, A. E.; SILVA, C. A. D.; AZEVEDO, D. M. P. de; FREIRE, E. C.; RAMALHO, F. S.; ANDRADE, F. P.; FERREIRA, G. B., SANTANA, J. C. F.; AMARAL, J. A. B./ MEDEIROS, J. C.; BEZERRA, J. R. C.; PEREIRA, J. R.; SILVA, K. L.; SILVA, L. C.; BARROS, M. A. L.; CARVALHO, M. C. S.; LUZ, M. J. S.; BELTRÃO, N. E. de M.; SUASSUNA, N. D.; FERREIRA, P. F; SANTOS, R. F, FONSÊCA, R. G. Cultivo do algodão irrigado. **Sistemas de Produção**, 3 jan. 2003.

ASSIS, R.L.; LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 29 p.515-522, 2005.

AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D. **Solos e ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Palotti, 100p.2004.

AYRES, J.M., **As Matas de Várzea do Mamirauá**. MCT-CNPq/Programa do Trópico Úmido - Sociedade Civil Mamirauá. 123 p.1993.

BOTTEGA, E. L., BOTTEGA, S. P., SILVA, QUEIROZ, S. A., SOUZA, C M. A., RAFULL, L. Z. L.. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 6 p.331-336., 2011.

BOUMA, J.; STOOORVOGEL, J.; ALPHEN, B.J. van; BOOLTINK, H.W.G. **Pedology, precision agriculture, and the changing paradigm of agricultural research**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.63, n.6, p.1763-1768, 1999.

BURROUGH, P.A.; BOUMA, J.; YATES, S.R. The state of the art in pedometrics. **Geoderma**, Amsterdam, v.62, n.1/3, p.311-326, 1994.

BRAUN, E.H.G.; RAMOS, J.R.A. Estudo agroecológico dos campos Puciarí-Humaitá (Estado do Amazonas e Território Federal de Rondônia). **Revista Brasileira de Geografia**. v. 21 p. 443-497, 1959.

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

CAMARGO, O. A.; Alleoni, L. R. F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, 132p, 1997

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

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

CAMPOS, M.C.C.; RIBEIRO, M R.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO FILHO, M.R.; SOUZA, R.V.C.C.; ALMEIDA, M.C. Características mineralógicas de Latossolos e Argissolos na região Sul do Amazonas. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientes**, Curitiba-PR, v.9, n.1, p.11-18, 2011.

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, 2011a.

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.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SANTOS, L. A. C.; OLIVEIRA, I. A.; AQUINO, R. E.; BERGAMIN, A. C. Variabilidade espacial dos atributos físicos em um Argissolo Vermelho sob floresta. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v.4, n.2, p.168-178, 2013.

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 Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.35, p.613-622, 2011.

CPRM – Centro de Pesquisa de Recursos Minerais. **Hidroclimatologia, geologia, recursos minerais, geomorfologias e unidades de paisagens**. 2001. 93p. (relatório técnico).

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.

CORÁ, J. E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciênciado Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

CORÁ, J.E.; BERARDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após a calagem e fosfatagem em doses variadas na agricultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v.26, p.374-387, 2006.

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)**. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, 115p 2007.

CORRÊA, A.N.; TAVARES, M.H.F.; URIBE-OPAZO, M.A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. *Semina: Ciencia Agraria*, Londrina-PR, v. 30, n. 1, p. 81-94, 2009.

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

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

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BENITES, V. M.; SANTOS, G. A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths 21 (terra preta de índio) in the brazilian amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 85-93. 2009.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônica**, v. 37, p. 91-98, 2007.

DANIELS, R. B.; HAMMER, R. D. **Soil geomorphology**. New York: John Wiley, 236p.1992.

DIGGLE, P.J. & RIBEIRO JUNIOR, P.J. **Model-based geostatistics**. New York, Springer, 230p. 2007.

DILUSTRO, J. J.; COLLINS, B.; DUNCAN, L.; CRAWFORD, C. Moisture and soil texture effects on soil CO<sub>2</sub> efflux components in southeastern mixed pine forests. **Forest Ecology and Management**, Elmsford, NL, v. 204, p. 87-97, 2005.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L. DA; OLIVEIRA, M. S. de. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no Município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, 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, 212p. 1997.

FALCÃO, N.P.S.; CARVALHO, E.J.M. & COMERFORD, N. Avaliação da fertilidade de solos antropogênicos da Amazônia Central. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE DE ARQUEOLOGIA BRASILEIRA, 11., Rio de Janeiro, 2001. **Grupo de trabalho: Terras pretas arqueológicas na Amazônia**: Estado da Arte. Rio de Janeiro, 2p, 2001.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; MIRANDA, S. A. F.; SILVA, M. S. R.; VITAL, A. R.T. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira. **Acta Amazônica**, v. 36, n. 1, p. 59-68, 2006.

FIETZ, C.R. **Variabilidade espacial do armazenamento de água no solo visando o manejo da irrigação por aspersão**. Piracicaba, 1998. 97 f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

FREITAS, H. A.; PESSENDA, L. C. R.; ARAVENA, R.; GOUVEIA, S. E. M.; RIBEIRO, A. S.; BOULET, R. Florestas X Savanas no passado na Amazônia. **Ciência Hoje**. São Paulo, v. 32, p. 40-46, 2002.

FREITAS, H.A.; PESSENDA, L.C.R; ARAVENA, R.; GOUVEIA, S.E.M.; RIBEIRO, A.S.; BOULET, R. Florestas X Savanas no passado na Amazonia. **Ciência Hoje**. Rio de Janeiro-RJ, 32:40-46, 2006.

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.

GENTRY, A. H. & DODSON, Sumario de Patrones Fitogeograficos Neotropicales y sus Implicaciones para el Desarrollo de la Amazonia. Colombia. **Ac. Colombiana de Ciencias Exactas, Física y Naturales**. Vol. 61, no. 16, p. 101-116. 1986.

GOBIN, A.; CAMPLING, P.; FEYEN, J. Soil-landscape modelling to quantify spatial variability of soil texture. **Physics Chemical Earth**, v.26, p.41-45, 2001.

GOMES, N.M.; FARIA, M.A.; SILVA, A.M.; MELLO, C.R.; VIOLA, M.R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande-PB, v.11, n.4, p.427-435, 2007.

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 Amazonica**, Manaus-AM, v.38, p.715-722, 2008.

GLASER, B.; LEHMANN, J., ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soil in the tropics with charcoal – a review. **Biology Fertility Soils**, v. 35, p. 219-230, 2002

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

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

GRAÇA, P. M. L. A.; MALDONADO, F. D.; FEARNSIDE, P. M. : Detecção de desmatamento em novas áreas de expansão agropecuária no sul do Amazonas utilizando imagens CBERS-2: Anais XIII **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, p. 917-924, INPE, 2007.

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

GRIGOLON, G. B. **Curvas de retenção de água no solo determinada a partir de um número mínimo de pares de umidades e tensão na câmara de Richards**. 82f. 2013. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Piracicaba, SP. 2013.

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

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1991. 600 p.

KAMPF, N.; KERN, D.C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDALTORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E. J. (Org.). **Tópicos em Ciência do solo**. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.5, p.277-320, 2005.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.857-67, 2002.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T. Indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2475-2481, 2009.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.7, p.1550-1556, 2010.

KIRKHAM, D. & POWERS, W. L. 1972. **Advanced Soil Physics**. New York, Wiley - Interscience, a division of John Wiley & Sons, 533 p.

LEÃO, M. G. A. Relação entre atributos de uma vertente com Latossolos e qualidade de frutos cítricos. Jaboticabal, 2004. 119f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

LEHMANN, J.; SILVA JUNIOR, 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.

LEMOS FILHO, L. C. A. et al. 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, n. 2, p. 193-202, 2008.

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

LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. R.; MELLO, J. W. V.; GILKES, R. J. ; KER, J. C. Pedogenesis and pre-Colombian land use of "Terra Preta Anthrosols" ("Indian black earth") of western Amazonia. **Geoderma**, Amsterdam, v.11, n.1-2, p. 1-17, 2002.

LOPES, A. S. & GUILHERME, L. R. G. Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária. São Paulo, ANDA, 1992. 49p.

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

MACEDO V. R. M.; SILVA A. J. N. ; CABEDA M. S. V. Influência de tensões compressivas na pressão de pré-compactação e no índice de compressão do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.8, p.856-862, 2010.

MARQUES JÚNIOR, J. **Distribuição e atributos dos solos em relação à forma e evolução de uma vertente em Monte Alto, SP**. 1995. 226f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1995.

MARQUES JÚNIOR, J.; LEPSCH, I. F. Depósitos superficiais neocenozóicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto, SP. **Geociências**, v.19, p.265-281, 2000.

MARTINS, G. C. **Matas e Campos naturais da região de Humaita (AM): atributos diferenciais dos solos e implicações do uso e manejo**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, 65f, 2001.

MARTINS, G. C.; FERREIRA, M. M.; CURTI, N.; VITORINO, A. C. T. SILVA, M. L. N. Campos nativos e matas adjacentes da região de Humaitá (AM): atributos diferenciais dos solos. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.30, p.221-227, 2006.

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

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

MOREIRA, A. Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da Amazônia Ocidental. **Bragantia**, v. 66, p. 307-315, 2007.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. **Variação das propriedades químicas e físicas do solo e na matéria orgânica em agroecossistemas da Amazônia Ocidental (Amazonas)**. Piracicaba: CENA/USP, p. 79, 2002.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasil**, Brasília-DF, v.40, n.1, p.69-77, 2005.

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.

MOTOMIYA, A. V. A. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produtividade do algodoeiro. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2011.

MULLA, D. J.; McBRATNEY. **Soil spatial variability**. In: WARRICK, A.W Soil physics companion, (ed.). Boca Raton: CRC Press, p. 343-347. 2002.

McBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.37, n.4, p.617-639, 1986.

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, 29-50; 2003.

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 NETO, D.N.:Atributos físicos e químicos do solo em ecossistema de capim-mombaça na Amazônia Oriental. **Revista Ciência Agraria**, v. 55, n. 2, p. 75-84, abr./jun. 2012.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; VITORINO, A.C.T.; FERREIRA, M.M.; SÁ, M.A.C. & LIMA, J.M. Agitador horizontal de movimento helicoidal na dispersão mecânica de amostras de três Latossolos do sul e campos das vertentes de Minas Gerais. **Ciência Agrotécnica**, 26:881-887, 2002.

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.

OVALLES, F. & REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad em suelos de la depresión del Lago de Valencia. **Agronomia Tropical**, 44:41-65, 1994.

PAUL, E. A. **Soil microbiology, ecology and biochemistry**, Third edition. Burlington, USA: Academic Press, 532p., 2007.

PIRES, J.M. & PRANCE, G.T. The Vegetation types of the brasilian Amazon. In: PRANCE G.T. & LOVEJOY, T.E. (Eds.) **Environments, Amazonia**. N.Y. Pergmon Press. p. 109-145. 1985.

RESENDE, M.; CURI, N.; RESENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia:bases para distinção de ambientes**. 3 ed. Viçosa: NEPUT, 338p., 1999.

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

RICHTER, R.L.; AMADO, T.J.C.; FERREIRA, A.O.; ALBA, P.J.; HANSEL, F. D. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo sob plantio direto influenciados pelo relevo e profundidade de amostragem.**Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia-GO, v.7, n.13; p.1043-1059; 2011.

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

RODRIGUES, T. E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ, V. H. V.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Eds.). **Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: UFV, p. 16-60, 1996.

RODRIGUES, T. E.; OLIVEIRA, R. C.; **Solos de várzeas da Amazônia: uso e potencialidade**. In: Amazônia: agricultura sustentável. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 215-221, 1997.

ROSA FILHO, G., CARVALHO, M.P., MONTANARI, R., SILVA, J.M., SIQUEIRA, G.M., ZAMBIANCO, E.C.. Variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Bragantia**70: 439-446, 2011.

SANCHEZ, E. **Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno**. 48f. 2012. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava, PR. 2012.

SANTOS, G.A.; PEREIRA, A.B. & KORNDÖRFER, G.H. Uso do sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) para análises de matéria orgânica e fração argila em solos e teores foliares de silício e nitrogênio em cana-de-açúcar. **Biosci. J.**, 26:100-108, 2010.

SANTOS, L. A. C.; CAMPOS, M. C. C SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOARES, M. D. R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e desolos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Agro@mbiente On-line**. Boa Vista, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.

SANTOS, L. A. C.; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; BERGAMIN, A. C.; SILVA, D. M. P.; MARQUES JUNIOR, J.; FRANCA, A. B. C. Caracterização e gênese de terras pretas arqueológicas no sul do Estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 825-836, 2013.

SILVA, E. A. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; ROCHA, J. V.; SOUZA, E. G. Um Estimador robusto e o semivariograma cruzado na análise de variabilidade espacial de atributos do solo e planta. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 365-371, 2003.

SILVA, V.R. REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.2, p.399-406, 2004.

SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G. S.; MENDES, A. M. S.; FREIRE, F. J.; CAMPOS, M. C. C.; AMORIM, L. B. Discriminação de diferentes classes de solos irrigados com águas salinas, na região de Mossoró (RN), com o uso de análise multivariada. **Ambiência**, Guarapuava, v. 6, n. 2, p. 261–270, 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, p.55-66, 2010.

SIQUEIRA, G. M.; DAFONTE DAFONTE, J.; VIDAL VÁZQUEZ, E.; VALCARCEL ARMESTO, M. Distribuição espacial da rugosidade do solo em microparcels experimentais sob diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.4, p.671-679, 2012.

SCHAFFRATH, V. R.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; ANDRADE GONÇALVES, A. C. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas

de solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1369-1377, 2008.

SMITH, N. K. H. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 70, n.4, p. 553-566, 1980.

STOTZKY, G. In: Black, C.A., ed. **Methods of soil analysis**, 2 edition. Madison: American Society of Agronomy, p. 1551-1572, 1965.

STROCK, J.S.; CASSEL, D.K.; GUMPERTZ, M.L. Spatial variability of water and bromide transport through variably saturated soil blocks. **Soil Science**. Soc. Am. J., Madison, v.65, n.6, p.1607-1617, 2001.

SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. J., HARTEL, P. G.; ZUBERER, D. A. **Principles and applications of soil microbiology**. New Jersey: Prentice Hall, 1999, 550p.

SOUZA, Z.M. **Variabilidade especial e atributos de um Latossolo sob diferentes formas de relevo**. 2004. 153 f. (Tese de Doutorado). Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2004.

SOUZA, Z. M, MARQUES JUNIOR, J., PEREIRA G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 39 p. 491-499.2004b.

SOUZA, Z.M.; CAMPOS, M.C.C.; CAVALCANTE, I.H.L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L.G.; SOUZA, S.R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v.36, n.1, 2006.

SOUZA, G.S.; LIMA, J.S.S.; SILVA, S.A.; OLIVEIRA, R.B. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. **Acta Science Agronomic**. Maringá-PR, v.30, n. 4, p. 589-596, 2008.

SOUZA, Z.M.; CERRI, D.G.P.; MAGALHÃES, P.S.G.; SIQUEIRA, D.S. Spatial variability of soil attributes and sugarcane yield in relation to topographic location. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.14, n.12, p.1250–1256, 2010.

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.

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

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

VIDOTTO, E.; PESSEDA, L.C.R.; RIBEIRO, A.S.; FREITAS, H.A.; BENDASSOLLI, J.A. Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno, através de estudos isotópicos e fitossociológicos. **Acta Amazônica**. Manaus-AM, vol.37, n.3, p.1-24. 2007.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. *Amazônia: seus solos e outros recursos naturais*. São Paulo: **Agronômica Ceres**, p. 416, 1987.

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. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo Campinas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-54, 2000.

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M., eds. **Tópicos em Ciência do Solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p. 1-45. 2002.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial de potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.54, n.2, p.405-412, 1995.

WEBSTER, R.; BUTLER, B.E. Soil classification and survey studies at Ginninderra. **Australia Journal of Soil Research**, Collingwood, v.14, n.1, p.1-24, 1976.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford: Oxford University Press, 316p. 1990.

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-RS, v.19, n.4 p. 383-391, 2009.

WOODS, W. I. Development of antrosol research. In: LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. (Ed.). **Amazonian dark earths**; origin, properties and management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 3-14, 2003.

YOUNG, F.J.; HAMMER, R.D.; LARSEN D. **Frequency distribution of soil properties on a loess- mantled Missouri watershed**. Soil Science Society American Journal, Madison, v.63, n.2, p.178-185, 1999.

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

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