

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS
EM CAMBISSOLO E ARGISSOLO NA REGIÃO DE HUMAITÁ, AM**

LEANDRO COUTINHO ALHO

**MANAUS
2013**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL**

LEANDRO COUTINHO ALHO

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS
EM CAMBISSOLO E ARGISSOLO NA REGIÃO DE HUMAITÁ, AM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Milton César Costa Campos

**MANAUS
2013**

Ficha Catalográfica
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Alho, Leandro Coutinho

A397v Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em Cambissolo e Argissolo na região de Humaitá, AM / Leandro Coutinho Alho. - Manaus: UFAM, 2013.

99 f.; il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) — Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

Orientador: Prof. Dr. Milton César Costa Campos

1. Solos florestais 2. Solos - Análise 3. Florestas – Humaitá (AM)
I. Campos, Milton César Costa Campos (Orient.) II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

CDU (2007): 631.412 (811.3)(043.3)

LEANDRO COUTINHO ALHO

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS
EM CAMBISSOLO E ARGISSOLO NA REGIÃO DE HUMAITÁ, AM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

APROVADA: 08 de abril de 2013

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Milton César Costa Campos, Presidente
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Afrânio Ferreira Neves Júnior, Membro
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Anderson Cristian Bergamin, Membro
Universidade Federal do Amazonas

“... Melhor a sabedoria do que a força, ainda que a sabedoria do pobre foi desprezada, e as suas palavras não foram ouvidas.”

Eclesiastes 9:16

A Deus, fonte inesgotável de vida.

À minha família, meu presente de Deus.

Aos meus pais, meus verdadeiros mestres.

DEDICO

À minha esposa *Ingrid* pelo
companheirismo e compreensão.

A todos os meus *amigos* e *familiares*
pelo entusiasmo, poio e encorajamento.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, que tudo conhece, minhas limitações e capacidade. Obrigado por tudo Senhor!

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical (PPGATR) pela oportunidade de realizar esse mestrado.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão de bolsa de estudo e por contribuir para o desenvolvimento da pesquisa no Amazonas.

Ao Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA) que disponibilizou toda sua estrutura e viabilizou a realização desse trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Milton César Costa Campos, por todo o ensinamento, pela orientação, apoio, amizade e confiança em mim acrescida durante todos esses anos de trabalho, meu muito obrigado.

À banca examinadora da defesa desse trabalho, integrada pelos professores Anderson Cristian Bergamin e Afrânio Ferreira Neves Júnior pelas considerações, discussão e sugestões.

Aos demais professores do PPGATR pela dedicação a transmissão do conhecimento.

Aos meus pais Pedro Brasil Alho e Elieth da Silva Coutinho por todo o ensinamento, amor, incentivo, apoio e encorajamento que me serviram como nova energia principalmente nos momentos difíceis.

À minha esposa Ingrid Alho e aos meus filhos Daniel, Gabriel, Thiago e Aline pelo companheirismo, amor, carinho e compreensão durante esses anos de idas e vindas.

Aos meus tios Raimundo Coutinho e Maria Raimunda que carinhosamente me acolheram no lar durante o período que estive em Manaus.

À minha sogra Luzia Ribeiro e meu sogro Olival Bentes “*in memorian*” por todo apoio, incentivo e ajuda, principalmente nos momentos mais difíceis.

Aos meus irmãos Marcos, Mathias e Patrícia por todo apoio e incentivo.

Agradeço de maneira especial a toda equipe do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do IEAA composta por mestrandos, alunos de iniciação científica e colaboradores Douglas Marcelo, Bruno Mantovanelli, Romário Gomes, Mailson Ferreira, Ediana Pereira, Pésio de Paula, Uilson Franciscan, Diogo Pinheiro, Felipe Weckner, Magno Alves, Luís Antônio, Marcelo Dayron, Paula Carolina, Anne Relvas, Rwanyelle Castro, Selma Viana, Maria Parente e Júlio por toda a ajuda nas atividades de campo e laboratório.

Ao Renato Eleotério de Aquino pelas instruções e apoio ao uso das ferramentas geoestatísticas.

Aos amigos Jolemia Cristina, Catiele Borges, Luciana Batalha, Tainah Manuela, Keith Soares, Iza Maria, Benone Oliveira, Amazonino Lemos, Joelma Keith, Jaisson Miyosi, Daiane Silva, Silvio da Silva e Pablo Ozório que foram excepcionais em todos os momentos ofertando carinho, amizades, conselhos e compreensão.

A todos os colegas da pós-graduação, pela companhia e convívio, pelo compartilhar do conhecimento e, principalmente, pelos momentos de descontração.

Aos demais familiares e amigos, que próximos ou distantes, estiveram sempre presentes com o apoio e incentivo mantendo-me firme nessa caminhada.

Agradeço enfim, as demais pessoas que, mesmo aqui não citadas, contribuíram de alguma forma para que esse trabalho fosse realizado.

A todos vocês, meus sinceros sentimentos de gratidão!

RESUMO

Em ambiente amazônico poucos são os estudos que avaliam a dependência espacial dos atributos do solo, especialmente em campos naturais e florestas. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em Cambissolo e Argissolo sob campo natural e floresta na região de Humaitá, AM. Foi instalada uma malha amostral para cada área de estudo, com dimensões de 70 x 70 m e espaçamento regular entre os pontos amostrais de 10 m. Os solos foram amostrados nas profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m e nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,40-0,60 m para a análise textural do solo, totalizando 64 amostras por profundidade. Os pontos amostrais das malhas foram georreferenciados com aparelho de GPS e altitude foi mensurada com nível de precisão para construção do modelo digital de elevação (MDE). De modo geral, todos os atributos apresentaram estrutura de dependência espacial de moderada a forte. No entanto, a maior variabilidade espacial foi encontrada para os atributos da área de campo natural, reflexo da variação no formato do relevo e da cobertura vegetal que expõe o solo aos fatores climáticos. Por outro lado, os maiores alcances foram observados para os atributos da área de floresta, expressando a maior estabilidade desse ambiente. Apesar dos diferentes ambientes apresentarem valores similares de matéria orgânica, a estabilidade de agregados foi maior na área de campo natural em relação a floresta. Todavia, os valores de densidade do solo, resistência do solo à penetração e macroporosidade apontam deficiência na qualidade estrutural do solo que podem causar restrições ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Os mapas de krigagem possibilitaram visualizar a distribuição dos atributos do solo nas áreas de estudo, assim como inferir sobre a correlação entre os atributos e desses com a pedoforma.

Palavras chave: ambiente amazônico, qualidade do solo e geoestatística.

ABSTRACT

In Amazonian environment there are few studies that evaluate the spatial dependence of soil properties, especially in grasslands and forests. The objective of this study was to analyze the spatial variability of physical and chemical Cambisol and Alfissol under grassland and forest in the region Humaita, AM. We installed a sample grid for each study area, with dimensions of 70 x 70 m and regular spacing between sampling points 10 m. Soils were sampled at depths of 0.0-0.05; 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m, in the depths of 0.0-0.20 and 0.40-0.60 m for soil textural analysis, totaling 64 samples per depth. The sampling points of the meshes were georeferenced with GPS device and altitude was measured with accuracy level for the construction of digital elevation model (DEM). In general, all attributes showed spatial dependence structure of moderate to strong. However, the higher spatial variability was found for the attributes of the area of unspoilt countryside, reflecting the variation in the shape of relief and vegetation cover that exposes the soil to climatic factors. On the other hand, the major ones were observed for the attributes of the forest area, expressing that environment stability. Despite the different environments present similar values of organic matter, aggregate stability was higher in the country compared to natural forest. However, the values of bulk density, soil resistance to penetration and macroporosity indicate deficiency in the quality of the soil that can cause constraints to growth and development of plants. Kriging maps were possible to visualize the distribution of soil properties in the study areas, as well as inferences about the correlation between attributes and those with the landform.

Keywords: Amazon environment; soil quality and geostatistics.

ÍNDICES DE TABELAS

Tabela 1-	Estatística descritiva das frações textural do solo nas diferentes profundidades	38
Tabela 2-	Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais das frações textural do solo nas diferentes profundidades	40
Tabela 3-	Estatística descritiva dos atributos físico-hídricos do solo nas diferentes profundidades	44
Tabela 4-	Modelos e parâmetros estimados para os semivariogramas dos atributos físico-hídricos do solo nas diferentes profundidades	48
Tabela 5-	Estatística descritiva dos índices da estabilidade de agregados do solo, carbono orgânico, matéria orgânica e estoque de carbono nas diferentes profundidades	53
Tabela 6-	Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais dos índices da estabilidade de agregados do solo, matéria orgânica, carbono orgânico e estoque de carbono do solo nas diferentes profundidades	56
Tabela 7-	Estatística descritiva das frações textural do solo nas diferentes profundidades	61
Tabela 8-	Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais das frações textural do solo nas diferentes profundidades	63
Tabela 9-	Estatística descritiva dos atributos físico-hídricos do solo nas diferentes profundidades avaliadas	67
Tabela 10-	Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas dos atributos físico-hídricos do solo nas diferentes profundidades avaliadas	69
Tabela 11-	Estatística descritiva dos índices da estabilidade de agregados do solo, carbono orgânico total, matéria orgânica e estoque de carbono do solo nas diferentes profundidades	75
Tabela 12-	Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais dos índices da estabilidade de agregados do solo, carbono orgânico total, matéria orgânica, e estoque de carbono do solo nas diferentes profundidades.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-	Semivariograma experimental	21
Figura 2-	Perfil esquemático da vegetação de campo natural e floresta na região de Humaitá, AM. PValf.: Argissolo Vermelho Alítico plíntico; CXalf.: Cambissolo Háptico Alítico plíntico	30
Figura 3-	Contato de campo com floresta no município de Humaitá, AM	31
Figura 4-	Esquema da malha de amostragem nos ambientes de campo natural e floresta	32
Figura 5-	Saturação das amostras por elevação gradual de um lamina d'água e mesa de tensão	33
Figura 6-	Análise da resistência do solo à penetração em penetrógrafo eletrônico de bancada	34
Figura 7-	Mapas de krigagem das frações textural do solo nas profundidades de 0,0-0,2 m e 0,4-0,6 m	43
Figura 8-	Mapas de krigagem dos atributos físicos densidade do solo, resistência do solo à penetração (RP), macroporosidade, microporosidade, volume total de poros e umidade volumétrica do solo na profundidade de 0,0-0,05 m.....	50
Figura 9-	Mapas de krigagem dos atributos resistência do solo à penetração (RP), umidade volumétrica do solo, macroporosidade e microporosidade na profundidade de 0,05-0,10 m.....	51
Figura 10-	Mapas de krigagem dos atributos físicos densidade do solo, resistência do solo à penetração (RP), macroporosidade, microporosidade, volume total de poros e umidade volumétrica do solo na profundidade de 0,10-0,20 m.....	51
Figura 11-	Mapas de krigagem dos índices diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), % de agregados maiores que 2 mm (Agr.>2 mm), % de agregados menores que 2 mm (Agr.<2 mm) na profundidade de 0,0-0,05 m	59
Figura 12-	Mapas de krigagem dos índices diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), % de agregados maiores que 2 mm (Agr.>2 mm), % de agregados menores que 2 mm (Agr.<2 mm) na profundidade de 0,10-0,20 m	60
Figura 13-	Mapas de krigagem dos atributos carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono do solo (Est C) nas profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m	60

Figura 14-	Mapas de krigagem das frações textural do solo nas profundidades de 0,0-0,2 m e 0,4-0,6 m	65
Figura 15-	Mapas de krigagem dos atributos físicos densidade do solo, umidade volumétrica do solo, macroporosidade e microporosidade da profundidade de 0,0-0,05 m	71
Figura 16-	Mapas de krigagem dos atributos físicos densidade do solo, resistência do solo a penetração (RP), umidade volumétrica do solo, macroporosidade e volume total de poros na profundidade de 0,05-0,10 m	72
Figura 17-	Mapas de krigagem dos atributos físicos densidade do solo, resistência do solo a penetração (RP), macroporosidade, microporosidade, volume total de poros e umidade volumétrica do solo da profundidade de 0,10-0,20 m.....	73
Figura 18-	Mapas de krigagem dos atributos da estabilidade de agregados do solo das profundidades de 0,0-0,05 m	79
Figura 19-	Mapas de krigagem dos atributos da estabilidade de agregados do solo nas profundidades de 0,05-0,10 m	80
Figura 20-	Mapas de krigagem dos índices da estabilidade de agregados do solo na profundidade de 0,10-0,20 m.....	81
Figura 21-	Mapas de krigagem dos atributos carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono do solo (Est C) nas profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m	82

SUMÁRIO

RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE DE TABELAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. Caracterização dos campos naturais e floresta da região sul do Amazonas	17
2.2. Geoestatística	19
2.3. Variabilidade espacial de atributos do solo	25
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1. Caracterização do meio físico.....	30
3.2. Metodologia de campo e laboratório	33
3.2. Análise estatística descritiva e geoestatística.....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de um Cambissolo sob área de campo natural na região de Humaitá, AM	37
4.1.1. Análise textural	37
4.1.2. Densidade do solo, resistência do solo a penetração, macro e microporosidade, volume total de poros e umidade volumétrica do solo.....	43
4.1.3. Estabilidade de agregados do solo, carbono orgânico total, matéria orgânica e estoque de carbono do solo	52
4.2. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de um Argissolo sob área de floresta na região de Humaitá, AM.....	61
4.2.1. Análise textural	61
4.2.2. Densidade do solo, resistência do solo a penetração, macro e microporosidade, volume total de poros e umidade volumétrica do solo.....	66
4.2.3. Estabilidade de agregados do solo, carbono orgânico total, matéria orgânica e estoque de carbono do solo	73
5. CONCLUSÕES	83
6. REFERÊNCIAS	84
7. ANEXOS	93

1. INTRODUÇÃO

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 km², destes, cerca de 630 km² 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).

A região dos “Campos de Puciari-Humaitá” apresenta paisagens marcada por pequenas variações da topografia que por sua vez, imprimem alterações nos atributos do solo e no nível do lençol freático (CAMPOS *et al.*, 2012a). Quanto à vegetação, verifica-se formações de porte herbáceo com predomínio de poáceas e ciperáceas, porte arbustivo com espécies de caules retorcidos e espaçadas, enquanto que nos ambientes de floresta encontram-se porte arbóreo, com domínio de palmeiras.

A conversão de áreas de vegetação natural em agrícolas é uma preocupação crescente, especialmente quando não se conhece previamente as condições do solo (SILVA *et al.*, 2008; CARDOSO *et al.*, 2011), pois tais mudanças causam desequilíbrio no ecossistema, modificando os atributos do solo, cuja intensidade varia com as condições de uso e manejo (ARAÚJO *et al.*, 2007; CARNEIRO *et al.*, 2009). Diante desse contexto, tem crescido o número de estudos que utilizam solos sob áreas de vegetação nativa como referência de qualidade, sobretudo por representarem as condições ecológicas de estabilidade do ambiente. Nesse sentido, são verificados em trabalhos como de Araújo *et al.* (2004); Gomes *et al.* (2007) e Cardoso *et al.* (2011), degradações da qualidade do solo, notadamente pela substituição de ambientes nativos pelo uso agropecuário.

Embora a maioria dos estudos atenda a um objetivo comum de avaliar as modificações nos atributos solo quando áreas nativas são substituídas pelo cultivo e outros usos, ressalta-se

que diferentes vegetações nativas são reflexos das características do solo em cada ambiente (CAMPOS *et al.*, 2012a), essas características são, sobretudo, devido ao fato da formação do solo ser resultante de uma série de fatores que atuam em processos dinâmicos, cuja o produto final é bastante heterogêneo. Sobre este assunto, Abreu *et al.* (2003), afirmaram que o solo por ser um corpo tridimensional formado pela ação de vários fatores e processos, apresenta uma variação de suas características ao longo da paisagem.

A variabilidade espacial dos atributos do solo vem sendo uma das preocupações de pesquisadores praticamente desde o início do século XX (VIEIRA, 2000). Segundo o autor, durante esse período alguns métodos foram desenvolvidos para reduzir os efeitos da variabilidade, como a subdivisão de grandes áreas em pequenas parcelas experimentais e a adoção de técnicas, como casualização e repetição, além do melhor conhecimento de funções de distribuição, que levaram a adoção de amostragem ao acaso, desconsiderando nas análises os locais amostrados, que somado a distribuição normal de frequências, era, e ainda é usado para assumir independência entre as amostras e assim garantir o uso da média e do desvio-padrão para representar o fenômeno da variabilidade espacial.

Todavia, quando um determinado atributo do solo varia de um lugar para outro com algum grau de organização ou continuidade pode estar ocorrendo a “dependência espacial” do atributo do solo com a distância amostral que os separa. Para investigar a existência ou não de dependência espacial é necessário o uso de uma ferramenta estatística capaz de solucionar problemas de estimativas envolvendo variáveis espaciais, a geoestatística (ASCE, 1990).

A análise geoestatística da variabilidade espacial é fundamentada no cálculo do semivariograma, um gráfico que descreve a existência ou não de dependência espacial da variável do solo (FIETZ *et al.*, 1999; VIEIRA *et al.*, 2002). De acordo com Vieira (2000), a geoestatística não anula o uso da estatística clássica, pois ambas têm validade de aplicação em condições perfeitamente distintas, como por exemplo, quando o semivariograma constata a

independência espacial do atributo do solo, considerando a distância entre as amostras. Nesse caso a estatística clássica é o melhor método para caracterizar o fenômeno da variabilidade. Entretanto, ocorre que não se pode determinar qual das duas estatísticas deverá ser usada sem que se analise primeiramente o semivariograma da variável.

Uma vez conhecido o semivariograma da variável e havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência e com variância mínima, e por meio de uma malha de pontos interpolados visualizar o comportamento da variável por meio de mapa de isolinhas ou krigagem (VIEIRA, 2000). Os mapas de isolinhas são imprescindíveis em estudos que se propõe investigar a distribuição espacial de determinado atributo do solo, especialmente quando analisado em conjunto com o modelo digital de elevação (MDE), pois fornecem informações concernentes a localização dos diferentes níveis de valores da variável do solo na área de estudo.

Diante do contexto, o monitoramento dos atributos do solo em áreas de vegetação natural utilizando as ferramentas geoestatísticas é prática fundamental para avaliar a variabilidade espacial desses atributos em decorrência da ação dos processos pedogenéticos, gerando subsídio para predições de mudanças ocorridas mediante ações antrópicas tendo a vegetação nativa como referência para tais mudanças. Desse modo, objetivou-se com este trabalho analisar a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos em Cambissolo e Argissolo sob campo natural e floresta na região de Humaitá, AM.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caracterização da região de campos naturais e floresta

O termo campo natural é uma das mais de duas centenas de termos relacionados à palavra savana, o qual se deve ao grande número de interpretações desse tipo de vegetação (AQUINO *et al.*, 2009). De acordo com Veloso *et al.* (1991) o conceito de savana está associada aos critérios usados na definição e/ou classificação da mesma pelo mundo, sendo que a maioria das definições encontradas na literatura incluem aspectos fisionômicos, climáticos, latitudinais, geográficos, florísticos e ecológicos. Para Aquino *et al.* (2009) as savanas também poderiam ser determinadas pelas condições edáficas, de maneira que as propriedades físico-químicas do solo é que determinariam a ocorrência desse tipo de vegetação, como é o caso das savanas amazônica, existente em uma região de clima favorável a formação de floresta, e que certamente, são reflexos das condições edáficas locais.

De acordo com Campos *et al.* (2011) a região sul do Amazonas apresenta de forma genérica três diferentes fisiografias: várzea/terra firme, campo/floresta e áreas de relevo movimentado. Os campos naturais, segundo Vidotto *et al.* (2007) fazem parte do complexo de vegetação de campo/floresta, abrangendo desde o sul do estado do Amazonas até o norte do estado de Rondônia, ocupando uma área estimada em 3.418 km², o qual recebe a denominação de “Campos de Puciri-Humaitá” na região do município de Humaitá. Braun e Ramos (1959) afirmam que os campos de Puciri-Humaitá abrangem aproximadamente 629,92 km², em transição com as florestas e, apresentam aspectos fisionômicos característicos, que pode ser resumidos na seguinte sequência: floresta – cerradão – cerrado – campo sujo – campo.

Freitas *et al.* (2006) mencionaram que os campos formam alguns mosaicos com as florestas circundantes, onde o contato entre as vegetações de floresta e campos naturais ocorre, em alguns locais de maneira abrupta, enquanto em outros locais a mudança é gradual.

Para Campos (2009) a mudança no padrão de vegetação dos campos naturais ocorre de acordo com a mudança da forma do relevo ao longo do terreno, pois à medida que a altitude do terreno aumenta, a vegetação vai mudando de fisionomia, cedendo lugar a uma formação de aspecto mais uniforme, dotada de árvores baixas, que constitui o “cerrado”. Seguindo o declive do terreno, a vegetação transforma-se, gradativamente, com espaçamento cada vez maior das árvores e a predominância de vegetação rasteira, que domina logo depois, constituídos os campos propriamente ditos (BRAUN e RAMOS, 1959).

Com base na vegetação em concordância com o relevo, Campos *et al.* (2012a) subdividiu a fisionomia campo/floresta em quatro unidades pedoambientais: *campo alto*, situado no platô rebaixado da paisagem, que, por sua vez, apresenta característica de cerrado; *campo baixo*, formado por depressões que inundam durante as chuvas e secam na estiagem, com predomínio de plantas herbáceas; *zona de ecótono* caracterizando-se por um ambiente de tensão ecológica entre dois ecossistema (campo/floresta), com presença de herbáceas e espécies de pequeno e médio porte (cerrado); e *florestas*, localizadas nas áreas mais altas da paisagem, exibindo uma fisiografia de floresta densa estabelecida (Figura 3).

O estrato herbáceo dos campos naturais, segundo Vidotto *et al.* (2007), caracteriza-se pelo grande número de Poáceas e Ciperáceas, onde predominam as espécies do gênero *Andropogon* e *Paspalum*. Associados às espécies herbáceas, os campos apresentam arbustos e árvores, com presença de mangabeiras (*Hancornia speciosa*) e grande número de lixeiras (*Curatella americana*), além de ocorrer nas áreas próximas aos bordos dos campos, verdadeiros bosques, onde o espaçamento entre as árvores varia de 1 a 3 metros, atingindo poste que vão de 3 a 5 metros (Figura 3) (BRAUN e RAMOS, 1959).

Quanto à tipologia vegetal da floresta na região, a floresta tropical densa, 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 “buriti” (*mauritia flexuosa*).

É provável que os padrões de vegetação na fisiografia campo/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.*, 2012a). Referente à geologia, Braun e Ramos (1959) e Campos *et al.* (2011) relatam que a região é formada por aluviões antigos indiferenciados referidos ao Holoceno e os sedimentos desta formação são advindos de dois ciclos de sedimentação: a) bancos arenosos, inferiores, que representam a sedimentação plúvio-fluvial e b) sedimentos argilosos superiores, indicando sedimentação lacustre.

2.2. Geoestatística

A variabilidade espacial de atributos do solo vem sendo discutida por pesquisadores, praticamente desde o início do século XX como relata Vieira (2000). A principal preocupação era os efeitos da variabilidade espacial dos atributos do solo sobre a vegetação que o cobria, principalmente as espécies de caráter agrônômico. Na tentativa de caracterizar ou conhecer a variabilidade que afetavam notadamente a produtividade das culturas, vários estudos foram desenvolvidos nesse período, porém, a busca pelo entendimento das causas da variabilidade espacial dos atributos do solo não tiveram continuidade no tempo.

Ainda Vieira (2000) comenta que a maior causa dessa descontinuidade foi à adoção de técnicas, como casualização e repetição, e melhor conhecimento de funções de distribuição, que levaram a adoção de amostragem ao acaso, desprezando, as coordenadas geográficas dos pontos amostrados, somado a distribuição normal de frequências, que era, e ainda é usado

para assumir independência entre as amostras e assim garantir o uso da média e do desvio-padrão para representar o fenômeno da variabilidade espacial.

Para Carvalho *et al.* (2002), a estatística clássica ostenta que a variação das características do solo dentro das unidades amostrais não são correlacionadas, e que a média das amostras é o melhor estimador das características do solo em qualquer local na unidade amostral. Entretanto, uma variável do solo apresenta dependência espacial quando há existência de correlação de amostras com a distância que os separa (VIEIRA, 2000).

Segundo Silva (1988), não é possível saber antes de amostrar, a dependência ou independência da amostra. Pelo fato dos solos serem heterogêneos, ou seja, a maioria de seus atributos varia no espaço e no tempo, é que se torna necessário a utilização de procedimentos estatísticos adicionais, que considerem e reflitam essas variações.

Embora muitos métodos possam inferir sobre a variabilidade espacial do solo, como métodos de estatística multivariada, classificação contínua (fuzzy), métodos fractais, a dependência espacial entre as amostras somente pode ser modelada por meio da geoestatística, expressa por meio do semivariograma (VIEIRA, 2000; WEBSTER, 2001).

A geoestatística é uma ferramenta que descreve a variabilidade espacial de atributos do solo, da produção das culturas, entre outros. Surgiu quando o matemático sul-africano D. G. Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia encontrar sentido nas variâncias, se não levasse em conta a distância entre as amostras. E baseado nessa informação, Matheron (1963) desenvolveu uma teoria a qual ele chamou de Teoria das Variáveis Regionalizadas e que contém os fundamentos da geoestatística.

O semivariograma é um gráfico que descreve a existência ou não de dependência espacial da variável do solo, e constitui o primeiro passo da análise geoestatística, consistindo-se de uma função que relaciona a semivariância com o vetor distância, podendo

ser representada analiticamente e/ou graficamente (SOUZA, 2004), e é estimado pela seguinte equação. Onde o semivariograma é por definição:

$$\gamma(h) = (1/2) E \{[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2\} \quad (1)$$

e pode ser estimado por:

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

Onde $N(h)$ é o número de pares de valores medidos, $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$, separados pela distância h , se a variável for escalar (VIEIRA *et al.*, 1983), e Z representa os valores medidos para os atributos do solo. O gráfico de $\hat{\gamma}(h)$ versus os valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é uma função do vetor h , que permite obter a estimativa do valor da variância para as diferentes combinações de pares de ponto e assim assinalar o grau de dependência espacial da variável estudada e definir os parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados (SOUZA, 1999). A Figura 1 apresenta um modelo de semivariograma com características próximas da ideal de um atributo que apresenta dependência espacial.

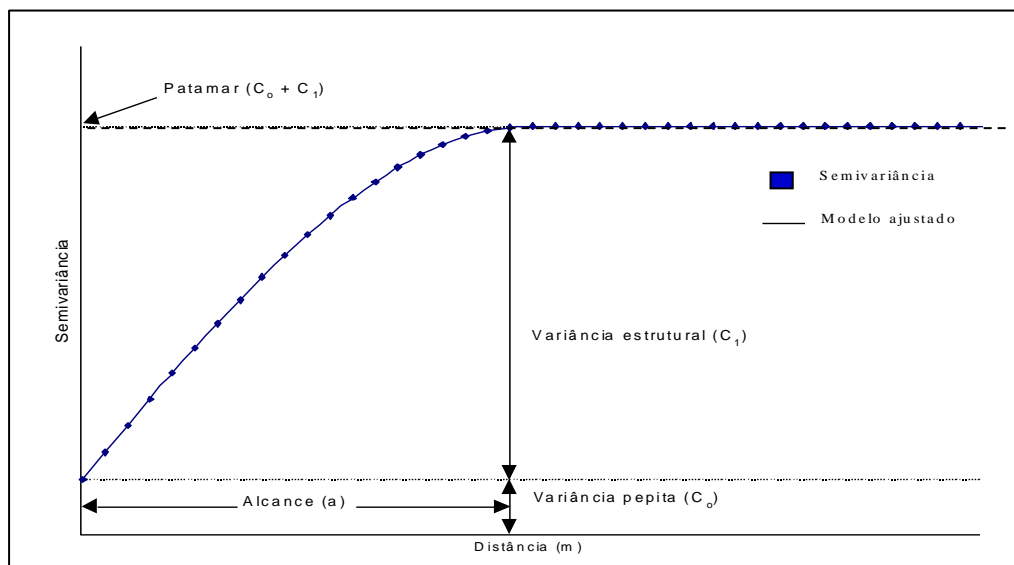


Figura 1. Semivariograma experimental

Fonte: Adaptado de Souza (2004)

Pressupõe-se que à medida que h tende para 0 (zero), $\gamma(h)$ também chegue a 0 (zero). Entretanto, na prática observa-se que $\gamma(h)$ começa com um valor positivo, chamado efeito pepita (“nugget effect”) e recebe o símbolo C_0 , onde o valor do efeito pepita indica a variabilidade não explicada pelo semivariograma, considerando a distância de amostragem utilizada (CAMBARDELLA *et al.*, 1994; VIEIRA, 2000).

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). Esse valor no qual $\gamma(h)$ se estabiliza chama-se patamar (“sill”) e é por definição $C_0 + C_1$, obtido pela soma do efeito pepita e a variância estrutural (C), sendo aproximadamente igual a variância dos dados (VIEIRA, 2000).

A distância na qual $\gamma(h)$ atinge o patamar é chamada de alcance (“range”), recebe a denominação de a , e é a distância limite da dependência espacial e representa a distância na qual os pontos estão correlacionados entre si, isto é, os pontos localizados numa área de raio igual ao alcance possuem maior semelhança entre si que aqueles localizados fora desta. Entretanto, modelos matemáticos devem ser ajustados aos semivariogramas, os quais permitem visualizar a natureza da variação espacial das variáveis estudadas, além de serem necessários para outras aplicações, como por exemplo, krigagem (CARVALHO *et al.*, 2002).

O ajuste de um modelo teórico ao semivariograma experimental é um dos aspectos mais importantes das aplicações da Teoria das Variáveis Regionalizadas, onde todos os cálculos da geoestatística dependem do modelo do semivariograma para cada distância especificada e, do ajuste do modelo matemático aos dados do gráfico, ou seja, a uma função, define os parâmetros do semivariograma (VIEIRA, 2000).

Para grandes vetores de h , o modelo do semivariograma usado pode ser classificado em duas categorias: a) modelo sem patamar e b) modelo com patamar. Este último é o mais

frequentemente usado e subdivide-se em outros quatro modelos: a) modelo linear; b) modelo esférico; c) modelo exponencial e d) modelo gaussiano.

É possível verificar o quanto o semivariograma explica a variabilidade espacial, pelo grau de dependência espacial (GDE) dos atributos do solo (CAMBARDELLA *et al.*, 1994), o qual é conferido pela relação entre o efeito pepita e o patamar, apresentado em percentagem $((C_0/C_0+C_1).100)$, e quando apresenta valores baixos demonstra que os semivariogramas explicam a maior parte da variância dos dados experimentais. Dessa forma, é classificado como forte dependência espacial o atributo que apresentar efeito pepita $\leq 25\%$ do patamar, moderada dependência quando $> 25\%$ e $< 75\%$ e fraca quando $\geq 75\%$ e $< 100\%$ do patamar (CAMBARDELLA *et al.*, 1994).

Pode ocorrer que a relação entre o efeito pepita e o patamar seja igual a 100%, o que significa efeito pepita puro (EPP), e pode ser entendido como a ausência total de dependência espacial para distâncias maiores que a menor distância adotada entre as amostras. Contudo, deve-se levar em consideração o espaçamento utilizado dos pontos de amostragem. E para os casos de EPP a estatística clássica pode ser aplicada sem restrições (VIEIRA, 2000).

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).

A condição de não tendência significa que, em média, a diferença entre valores estimados e medidos para o mesmo ponto deve ser nula, e a condição de variância mínima significa que, embora possam existir diferenças ponto por ponto entre o valor medido e o estimado, essas diferenças devem ser mínimas (FIETZ, 1998). Desse modo, a krigagem é uma técnica usada na geoestatística com o objetivo de estimar os valores para locais onde as mesmas não foram medidas a partir de valores adjacentes interdependentes e para construção de mapas (VIEIRA, 2000).

De acordo com Corá e Beraldo (2006), dentro do conceito de agricultura de precisão, são definidos três tipos de mapas de isolinhas: mapas de condição, mapas de recomendação ou prescrição e mapas de desempenho. Os mapas de condição mostram a distribuição espacial dos parâmetros avaliados em uma determinada área, antes de qualquer intervenção; mapas de recomendação são derivados de um ou mais mapas de condição e contêm informações sobre as quantidades necessárias de insumos e/ou práticas agrícolas que cada local específico da área deverá receber (manejo específico), respeitando a variabilidade dos atributos avaliados (mapas de condição), sendo a base para a tecnologia da aplicação em doses variáveis; o mapa de desempenho permite avaliar como a área se apresenta após o manejo específico, caracterizando também como mapa de condição para um próximo ciclo no contexto da agricultura de precisão.

Estudos sobre variabilidade espacial de atributos do solo desenvolvidos por Souza *et al.* (2008); Chaves e Farias (2009) e Corrêa *et al.* (2009), mostraram que com a confecção de mapas para os atributos avaliados foi possível visualizar a distribuição na área e monitorar as alterações desses atributos, como também a relação com a produtividade das culturas.

2.3. Variabilidade espacial dos atributos do solo

O solo apresenta heterogeneidade, tanto vertical como horizontalmente, imposta pelos fatores de formação, a começar pelo próprio material de origem que não apresenta-se 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).

Para Trangmar *et al.* (1985), alguns fatores de formação atuam em larga escala, mas, mas o efeito pode ser alterado por outros, que atuam em escalas menores, proporcionando um caráter hierárquico de atuação na variação dos atributos do solo no espaço. A esse respeito, Strock *et al.* (2001) e Campos *et al.* (2012a), mencionam que as condições do relevo influenciam em vários atributos do solo, tendo em vista que a declividade cria um padrão complexo de transporte de água e solutos, atuando, sobretudo, no desenvolvimento do perfil do solo. Para Marques Júnior (1995) e Souza (2004), a água é o elemento principal dos processos que determinam a variabilidade dos atributos do solo, agindo tanto por fluxos verticais como horizontais, superficiais ou subsuperficiais, condicionado pela posição deste no relevo, ainda que a declividade seja de pequena expressão.

Diante dos efeitos que a variabilidade espacial dos atributos do solo exerce sobre a vegetação que o recobre, especialmente as culturas agrícolas, pesquisadores ligados a ciência do solo e outras áreas agronômicas, vêm exaustivamente, buscando solucionar os problemas

relacionados à variabilidade. A esse respeito Souza (1992) e Souza Neto *et al.* (2008) comentam que a obtenção de informações sobre a variabilidade espacial dos atributos do solo é de grande importância para a avaliação da fertilidade, levantamento, mapeamento e desenvolvimento de esquemas mais adequados de amostragem, entre outros, visando à melhoria das condições de manejo e o incremento de produtividade das culturas, e em outras aplicações, como em mapeamentos de ambientes homogêneos e entendimentos dos processos pedogenéticos.

Para Carvalho *et al.* (2002) o melhor entendimento da variabilidade espacial de atributos do solo junto com os avanços tecnológicos no setor agropecuário têm possibilitado manejar a variabilidade espacial do solo em função da melhor aplicação de insumos e práticas agrícolas que otimizam a aplicação de recursos e diminuem custos.

Para tanto é necessário coleta e manipulação de uma grande quantidade de dados que só podem ser gerenciados por métodos apurados de estimativas envolvendo variáveis do solo, como a geoestatística, uma ferramenta estatística compreensível para analisar e usar a variabilidade espacial de atributos do solo que se diferencia de outros métodos por mensurar a dependência espacial e temporal dos atributos do solo e das culturas (FIETZ *et al.*, 1999; VIEIRA *et al.*, 2002; SOUZA, 2004).

Na literatura são recorrentes os trabalhos que enfatizam as alterações nos atributos do solo procedidas das diversas formas de uso e manejo (ARAÚJO *et al.*, 2007; CARDOSO *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2008). Nesses estudos alguns atributos do solo são significativamente avaliados por representarem os indicadores da qualidade do solo. Todavia, se observa que as aplicações dos estudos da variabilidade do solo buscam prioritariamente atender o setor agropecuário. Dessa forma, são relatados a seguir alguns estudos que caracterizam a variabilidade espacial de atributos do solo em decorrência das diversas formas de uso e manejo.

Em trabalhos como de Campos *et al.* (2007) e Cajazeira e Assis Júnior (2011) foi encontrado dependência espacial da textura do solo em razão do material de origem e do relevo, mostrando as diferenças existentes entre as regiões representadas pelos diversos pontos amostrais levantados, permitindo a identificação de subáreas onde o gerenciamento das práticas de campo pode ser orientadas em conformidade com a variabilidade deste atributo.

Souza *et al.* (2006) e Marasca *et al.* (2011) encontraram correlação do teor de água no solo com a dependência espacial da resistência do solo à penetração. Fidalski *et al.* (2006) encontraram semelhanças na variação espacial da resistência do solo à penetração com a taxa de estratificação do carbono orgânico do solo em sistema de plantio direto. Por outro lado, Mercante *et al.* (2003) não encontraram correlações da dependência espacial da resistência do solo à penetração com o sistema de manejo avaliados, os quais foram com manejo químico localizado e sem manejo químico localizado.

A estabilidade de agregados é um fator físico do solo importante, visto que a manutenção de uma boa estabilidade de agregados é condição primordial para garantir altas produtividades. A formação e a estabilização dos agregados do solo ocorrem simultaneamente na atuação de processos físicos, químicos e biológicos, porém, os processos atuam por mecanismo próprio, em que são envolvidos por substâncias que agem na agregação e na estabilização, tais como argila, sílica coloidal, compostos orgânicos, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxido e hidróxido de ferro e alumínio (SOUZA *et al.*, 2004a) e ainda, de acordo com Souza *et al.* (2009) podem apresentar variabilidade espacial dentro de uma mesma paisagem.

Do arranjo das partículas sólidas do solo resultam sua estrutura e agregação de vital importância para a agricultura, pois estão relacionadas com a disponibilidade de água e de ar para as raízes, com o suprimento de nutrientes, com a resistência do solo à penetração e com o

desenvolvimento radicular, sendo extremamente importantes na definição da taxa de erosão que poderá incidir sobre um determinado solo (KIEHL, 1979; MELLO, 2002; VIEIRA *et al.*, 2011).

Avaliando a variabilidade espacial da estabilidade de agregados de diferentes ambientes, Longo *et al.* (1999) e Mendes *et al.* (2006) observaram diferenças no tamanho dos agregados, constatando que solos de áreas degradadas tendem a ter maior quantidade de agregado menores que 0,25 mm, com baixos valores de diâmetro médio geométrico (DMG) que indica menor estruturação do solo quando comparado à áreas nativas. Áreas nativas como floresta, o maior teor de matéria orgânica do solo aumenta a estabilidade dos agregados, melhorando a estrutura do solo, de forma a permitir maior infiltração e diminuir o escoamento superficial de água (MELLO, 2002; SOUZA *et al.*, 2009).

Sobre este assunto, Siqueira (2006) e Cajazeira e Assis Júnior (2011) observaram que o solo cultivado exposto às chuvas, recebe a maior parte da energia cinética da precipitação, quebrando os agregados e iniciando o processo de erosão, todavia, constataram incremento na estabilidade dos agregados do solo na camada mais subsuperficial, atribuindo a essa maior resistência às forças desintegradoras o fato que nas camadas mais profundas, os implementos agrícolas não exercem tanta influência como na camada superficial, além de não sofrer ação direta das gotas d'água.

Vieira *et al.* (2011) estudando a variabilidade espacial da estabilidade de agregados notou que esta é influenciada pelo sucessivo manejo de fertilizantes no solo. Os autores observaram que nas áreas com maior concentração de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) houve um decréscimo nos valores de matéria orgânica do solo (MOS) e diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), isso ocorre porque, segundo eles, o Ca e o Mg no primeiro momento e em quantidades adequadas funcionam como agentes agregantes, porém, o excesso desses elementos no solo favorece a dispersão das argilas e por conseguinte, favorece a diminuição

da estabilidade dos agregados, bem como o sucessivo cultivo do solo acarreta à perda da matéria orgânica, um excelente agente agregante do solo.

Quanto aos atributos químicos do solo, Machado *et al.* (2007) afirmam que na agricultura brasileira, grandes áreas são consideradas homogêneas, promovendo a atilização de doses iguais de fertilizantes, desconsiderando a variabilidade espaço-temporal, sobrecarregando uma gleba que é fértil e não atingindo níveis ótimos para uma alta produtividade em outras glebas deficientes, comprometendo o rendimento das lavouras.

Para Corá *et al.* (2004) o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade do solo são imprescindíveis para o controle da produtividade das culturas e dos riscos de contaminação do ambiente e, portanto, as investigações das causas dessa variabilidade são fatores importantes em um sistema de produção que visa sustentabilidade por meio do manejo regionalizado de insumos e práticas agrícolas, como é o sistema de agricultura de precisão.

Para Souza *et al.* (2008), atributos químicos do solo que apresentam grande amplitude de seus valores, indicam os problemas que podem ocorrer quando se usa a média dos valores para o manejo da fertilidade, constatando que uma amostragem ao acaso, sem levar em consideração o alcance da dependência espacial, falharia em apresentar as variações encontradas no campo.

Segundo Rachid Junior *et al.* (2006) em áreas intensamente manejadas é imprescindível avaliar o padrão de fertilidade do solo. Os autores observaram avaliando a variabilidade espacial e temporal de atributos químicos do solo e da produtividade da soja em área com bom padrão de fertilidade, que em algumas regiões não havia mais necessidade de aplicação de nutrientes, concluindo que o gerenciamento localizado da aplicação de nutrientes pode diminuir os gastos com fertilizantes, aumentando a lucratividade da área e, conseqüentemente, reduzir o impacto gerado pelo setor agrícola ao ambiente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do meio físico

A área de estudo está situada no município de Humaitá, sul do estado do Amazonas, sob as coordenadas geográficas de 7° 30' 24" S e 63° 04' 56" W, em área do 54º Batalhão de Infantaria de Selva do Exército Brasileiro, distante 06 km da sede do município. A zona climática da região, segundo a classificação de Köppen pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo climático Am (chuvas do tipo monção), apresentando um período seco de pequena duração, com precipitação média anual variando entre 2.250 e 2.750 mm e com período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho. As médias anuais de temperatura variam em torno de 25 e 27 °C e a umidade relativa do ar entre 85 e 90%.

De acordo com Braun e Ramos (1959) o relevo da região é aproximado ao do tipo “tabuleiro”, com desníveis muito pequenos e bordos ligeiramente abaulados (Figura 2), sendo que as terras mais altas constituem os divisores topográficos de água entre os rios da região, onde o desnível dessas zonas elevadas, relativamente ao vale dos igarapés é da ordem de 15 a 29 m, ocorrendo, contudo, de maneira súbita (CAMPOS *et al.*, 2012a).

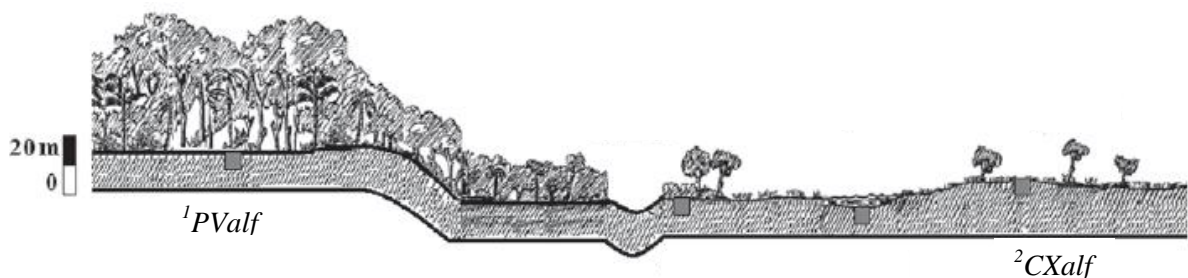


Figura 2. Perfil esquemático da vegetação de campo natural e floresta na região de Humaitá, AM. ¹PValf: Argissolo Vermelho Alítico plúntico em área de floresta; ²CXalf: Cambissolo Háplico Alítico plúntico em área de campo natural (campo alto).

Fonte: Adaptado de Campos *et al.* (2012a).

A região é formada geologicamente a partir de aluviões indiferenciados ou antigos, que são cronologicamente oriundos do Holoceno e seus sedimentos são advindos de dois ciclos de

sedimentação: a) bancos arenosos, inferiores, que representam a sedimentação plúvio-fluvial e b) sedimentos argilosos superiores, indicando sedimentação lacustrina (CAMPOS *et al.*, 2010).

Com relação à vegetação, a área de estudo compreende duas tipologias vegetais bem distintas, sendo que a região dos campos naturais, conhecidos como “Campos de Puciari-Humaitá”, inclui várias formações campestres, onde a vegetação que prevalece é a gramíneo-lenhosa baixa da família *Poaceae*, que se alterna com pequenas árvores isoladas e as galerias florestais que exibe uma fisiografia de floresta densa estabelecida, ao longo de pequenos igarapé e córregos da região (BRAUN e RAMOS, 1959) (Figura 3).

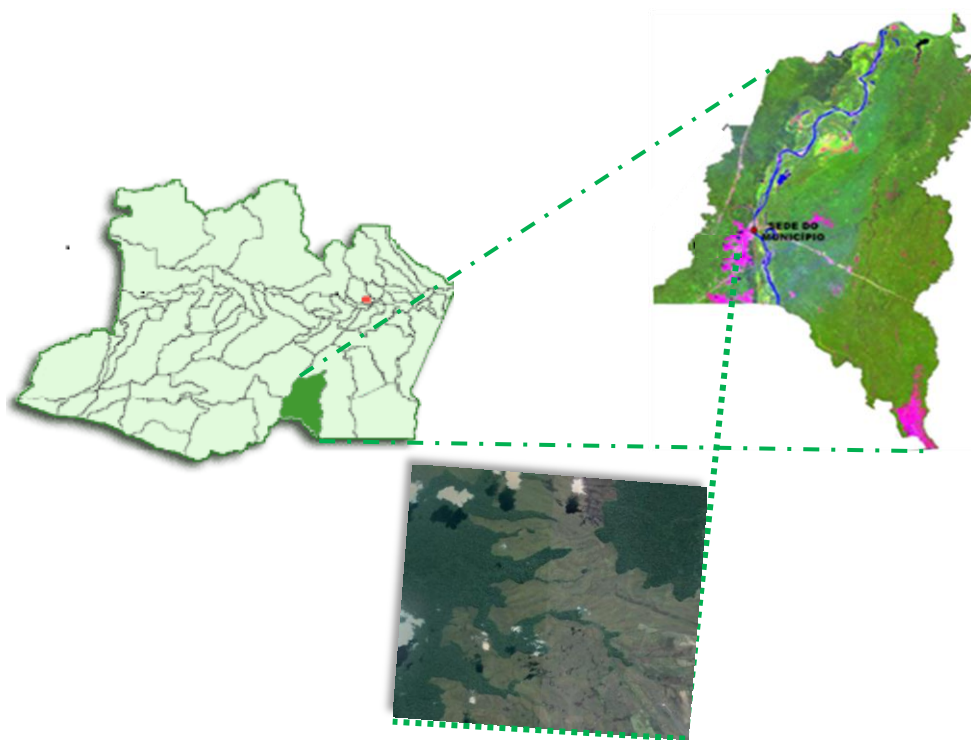


Figura 3. Contato de campo natural com floresta no município de Humaitá, AM.

De acordo com Campos *et al.* (2012a) a região dos Campos de Puciari-Humaitá é constituída predominantemente por três classes de solos, a saber: Argissolo Vermelho Alítico

em áreas de floresta, Cambissolo Háplico Alítico em áreas de campo natural e Gleissolo Háplico Alítico em áreas de baixadas dos campos naturais.

3.2. Metodologia de campo e laboratório

Adotando-se o critério da paisagem que mais se repete na região dos Campos de Puciari-Humaitá, foram escolhidas as áreas de campo alto e floresta para a realização do estudo. Em cada área foi construída uma malha amostral nas dimensões de 70 x 70 m cada, com espaçamento regular entre os pontos de 10 m, totalizando 64 pontos em cada malha (Figura 4).

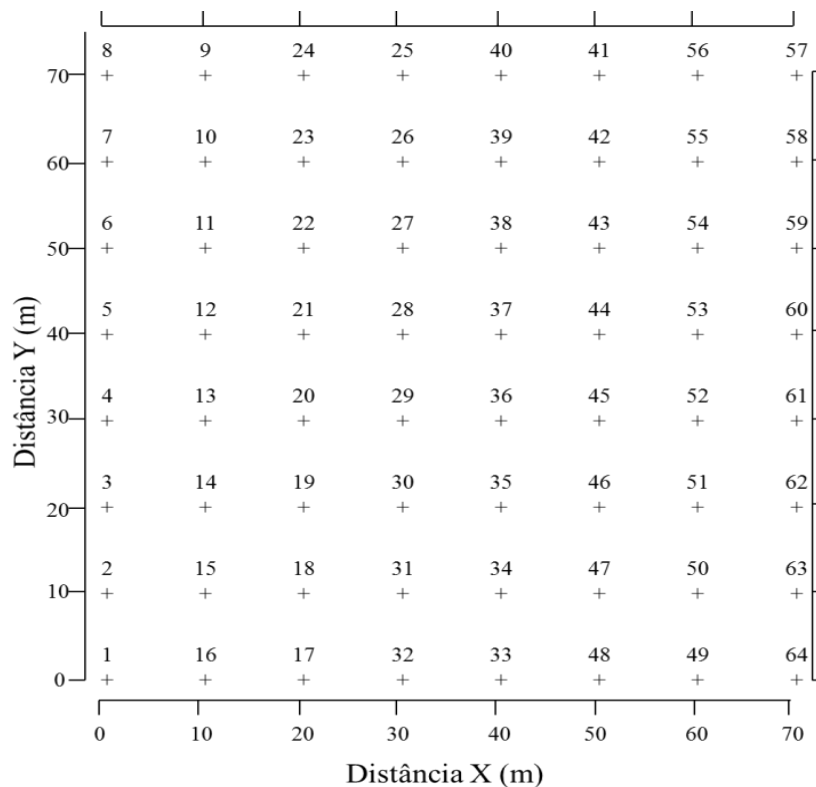


Figura 4. Esquema da malha de amostragem nos ambientes de campo natural e floresta.

Os pontos de cruzamento das malhas foram georreferenciados com aparelho de GPS modelo GPSMAP 76CSx, marca GARMIN, com precisão <10 m. Nos pontos amostrais foram realizadas coletas de solo nas profundidades de 0,0-0,2 e 0,4-0,6 m para a análise textural do solo, sendo realizada pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 1 N

como dispersante químico e agitação mecânica em aparato 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 por diferença.

Para as determinações da macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e porosidade total foram coletados amostras com estrutura preservada nos pontos amostrais utilizando-se cilindros metálicos nas profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. 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 das amostras. Após a saturação, as amostras foram pesadas e levadas à mesa de tensão para determinação da microporosidade do solo, sendo submetidas a uma tensão de 0,006 MPa (EMBRAPA, 1997).



Figura 5. Saturação das amostras por elevação gradual de um lamina d'água e mesa de tensão.

Após atingirem o equilíbrio em um potencial matricial de $-0,006$ MPa, as amostras foram pesadas e 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°, com velocidade constante de penetração de $0,1667 \text{ mm s}^{-1}$, receptor e interface acoplado a um microcomputador, para registro das leituras por meio de um *software* próprio do equipamento (Figura 7). As amostras obtidas nos 5 mm superiores e inferiores das amostras foram descartadas, visando eliminar o efeito da periferia da amostra (BRADFORD, 1986).

Após a determinação da RP, as amostras foram levadas à estufa a 105-110 °C por 48 h para se determinar a umidade volumétrica e a Ds pelo método do anel volumétrico. O volume total de poros e a macroporosidade foram obtidas de acordo com Embrapa (1997).

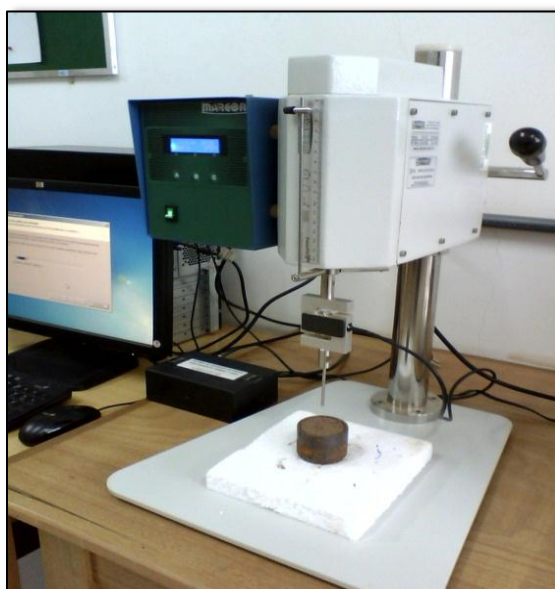


Figura 6. Análise da resistência do solo à penetração em penetrógrafo eletrônico de bancada.

A determinação da estabilidade de agregados foi realizada pelo método de peneiramento úmido. Em cada ponto amostral também foram retirados blocos de solo com estrutura preservada nas profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, secos ao ar e passados em peneiras de 9,52 e 4,76 mm. Os agregados retidos na peneira de 4,76 mm foram empregados na análise de estabilidade de agregados via úmida, a qual foi realizada colocando as amostras sobre um jogo de peneiras com malhas de 2,0, 1,0, 0,5, 0,25, 0,105 e 0,063 mm e submetendo-

as as oscilações verticais durante 15 minutos, numa frequência de 32 oscilações por minutos. Foi adotado como índice de estabilidade o percentual de agregados retidos na peneira >2 mm e <2 mm, o diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP), cujo cálculo foi feito segundo Kemper e Rosenau (1986).

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) foi determinado em todas as áreas estudadas na profundidade de coleta de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, e foi calculado pela expressão (WELDKAMP, 1994):

Est C = (CO x Ds x e)/10, onde:

Est C = estoque de carbono orgânico do solo (Mg ha⁻¹)

COT = teor de carbono orgânico total (g kg⁻¹)

Ds = densidade do solo (kg dm⁻³)

e = espessura da camada considerada (cm).

3.3. Análise estatística descritiva e geoestatística

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, sendo determinados a média, valores máximos e mínimos, coeficientes de assimetria e curtose, coeficiente de variação (CV) e distribuição de frequências dos dados. Esta análise foi realizada no software estatístico Minitab 14 (MINITAB, 2000).

Para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística (VIEIRA *et al.*, 1983; ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989). O semivariograma experimental foi estimado pela Eq. (1).

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

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

Os semivariogramas experimentais foram escolhidos com base no número de pares envolvidos no cálculo da semivariância dos primeiros lags, presença de patamar claramente definido (WOLLENHAUPT *et al.*, 1997; BURROUGH e McDONNEL 2000) e o resultado da técnica de Jack Knifing (VAUCLIN *et al.*, 1983; VIEIRA e LOMBARDI NETO, 1995).

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

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de um Cambissolo sob campo natural na região de Humaitá, AM

4.1.1. Análise textural

Os resultados da estatística descritiva para os constituintes textural do solo da área de campo natural são apresentados na Tabela 1. Os valores média e mediana para todas as variáveis são próximos, demonstrando uma distribuição simétrica dos dados, o que justifica os valores de coeficiente de assimetria e curtose próximos de zero, com exceção da argila e areia nas duas profundidades de estudo (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. Todavia, é conveniente que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as análises geoestatísticas, principalmente as estimativas da krigagem, as quais são baseadas em valores médios (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989; WEBSTER, 1985).

Com relação ao teste de normalidade dos dados submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov o qual mede a distância máxima entre os resultados de uma distribuição a ser testada e os resultados associados à distribuição hipoteticamente verdadeira (GONÇALVES *et al.*, 2001), verificou-se que apenas a argila na profundidade de 0,4-0,6 m não apresentou normalidade (Tabela 1). No entanto, mais importante que a não normalidade dos dados é a ocorrência do chamado efeito proporcional, em que a média e a variabilidade dos dados não sejam constantes na área de estudo e apresentem estacionaridade, necessária ao uso da geoestatística. Assim, pode ser constatado através dos resultados da análise exploratória dos

dados que as variáveis apresentam distribuição suficientemente simétrica ao uso da geoestatística.

Tabela 1. Estatística descritiva das frações textural do solo nas diferentes profundidades

Estatística descritiva	Areia		Silte		Argila	
	g kg ⁻¹					
	0,0-0,2 m			0,4-0,6 m		
Média	240,7	579,3	180,0	187,1	597,0	215,9
Mediana	241,1	572,7	183,5	189,8	600,9	215,0
Máximo	319,5	698,8	222,9	246,3	687,0	287,6
Mínimo	126,6	496,3	119,7	118,5	479,0	160,5
¹ DP	44,0	47,2	21,8	34,4	46,1	29,3
Variância	1933,7	2223,8	474,6	1184,8	2127,7	857,5
² CV%	18,3	8,1	12,1	18,4	7,7	13,6
Assimetria	-0,12	0,36	-0,88	-0,13	-0,22	0,61
Curtose	-0,67	-0,39	1,09	-1,10	-0,13	0,15
³ d	0,10*	0,09*	0,13	0,10*	0,06*	0,07*

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

De modo geral, os constituintes textural apresentaram baixo coeficiente de variação (CV), dos quais o silte alçou os menores valores de CV de 8,1% na camada de 0,0-0,20 m e 7,7% na camada de 0,40-0,60 m. Em contra partida, a areia, independentemente da profundidade, alcançou CV de 18% (Tabela 1). Esses resultados segundo o critério de classificação estabelecido por Warrick e Nielsen (1980) para CV, que classificaram como baixa variabilidade CV < 12%, média variabilidade CV entre 12 e 60% e alta variabilidade CV > 60%, conferem média variabilidade para as frações areia e argila e baixa variabilidade à fração silte. Resultados semelhantes foram encontrados por Lima *et al.* (2009) para a fração areia e argila de um Argissolo Vermelho Amarelo de uma área sob pastagem, todavia, a média variabilidade do silte encontrado por esses autores não corroboram com o resultado encontrado neste estudo.

A semelhança dos valores de CV das duas profundidades avaliadas permite afirmar que os agentes causadores da variabilidade atuam continuamente em profundidade (Tabela 1). 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 valores médios das variáveis textural solo revelam elevados teores de silte (Tabela 1). Avaliando a classe textural do solo em uma topossequência, Campos *et al.* (2012a) classificaram o Cambissolo de campo alto na região de Humaitá, AM como textura franca. Contudo, a grande amplitude entre os valores máximos e mínimos para todas as variáveis avaliadas nas duas profundidades (Tabela 1), revela os possíveis problemas, causados quando se usa a média como base para a tomada de decisão quanto ao uso e manejo do solo (COELHO, 2003).

No perfil do solo, verifica-se que a areia segue em decréscimo com o incremento da profundidade, passando de 240,7 para 187,1 g kg⁻¹ quando a profundidade avaliada passou de 0,0-0,2 para 0,4-0,6 m. Em contrapartida, a fração argila apresentou resultado oposto, ou seja, com o aumento da profundidade avaliada o valor médio da argila passou de 180 para 215,9 g kg⁻¹. O silte, cuja fração é dominante, apresentou aumento de 579,3 para 597,0 g kg⁻¹ da camada superficial para subsuperficial (Tabela 1). Esses resultados são comuns aos constituintes mais finos do solo (argila e silte) que tendem a sofrer mais com o processo de eluviação nas camadas superficiais (BRADY e WEIL, 2002). Campos *et al.* (2012a) verificaram maiores teores de silte nas áreas de posição mais rebaixada das áreas de campos naturais, concordando com os resultados desse estudo para o mesmo atributo. Os elevados teores de silte reforçam a teoria da formação geológica desses solos a partir da deposição de sedimentos aluviais que constituem o material de origem do solo da região (BRASIL, 1978).

Os resultados da análise geoestatística para os constituintes textural são apresentados na Tabela 2. A análise dos dados mostrou que a variável areia e silte na profundidade 0,0-0,20 m apresentaram tendência linear, ou seja, o semivariograma para os dados originais apresentam

crescimento sem limites com a distância. Para tais atributos foram estimados os semivariogramas para os resíduos da tendência linear (SOUZA, 2004).

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 (r^2) e mostra como resultado uma reta que passa entre as observações reais e estimadas (WOJCIECHOWSKI *et al.*, 2009), no qual os valores da 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). E também, como segundo critério de escolha do melhor modelo experimental adotou-se o coeficiente de determinação R^2 mais próximo de 1 (Tabela 2).

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais das frações textural do solo nas diferentes profundidades

Parâmetros	Areia		Silte	Argila		g kg ⁻¹	
	0,0-0,2 m			0,4-0,6 m			
	Esf	Exp	Exp	Esf	Exp		Esf
Efeito Pepita	132	91	91	348	65	373	
Patamar	864	790	429	952	720	827	
Alcance (m)	25	22	23	33	20	51	
¹ R ²	0,90	0,92	0,79	0,97	0,71	0,99	
² GDE%	15	12	21	37	9	45	
³ VC	0,75	0,50	0,44	0,72	0,31	0,87	

Esf.: Esferico; Exp.: Exponencial; ¹R²: coeficiente de determinação; ²GDE%: grau de dependência espacial e; ³VC: validação cruzada.

Os resultados da validação cruzada para a área de campo natural foram satisfatórios apenas para areia em ambas as profundidades e para argila na profundidade de 0,4-0,6 m as quais apresentaram VC superiores a 0,7. Por outro lado, o silte nas duas profundidades e argila na profundidade de 0,0-0,2 m obtiveram VC entre 0,3 e 0,5 (Tabela 2), todavia, valores baixos de coeficiente da validação cruzada podem ser justificados para atributos do solo que apresentam grandes variações ao longo do terreno, uma vez que a estimativa da VC é baseada

na média dos valores vizinhos. No entanto, o R^2 mostra um bom ajuste dos semivariogramas para essas variáveis.

Com relação aos ajustes do modelo ao semivariograma, o modelo esférico foi o que melhor se ajustou a fração areia em todas as profundidades e a argila na profundidade de 0,4-0,6 m, já o modelo exponencial foi o que se ajustou ao silte em ambas as profundidades e a argila na profundidade de 0,0-0,2 m. 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).

O alcance (**a**) determinado pelo cálculo do semivariograma revela uma informação valiosa referente ao raio da distância limite na qual ocorre a dependência espacial (VIEIRA, 2000). Nesse sentido, os valores de alcance estão sendo utilizados em estudos de planejamento amostral e na agricultura de precisão (AP) que tem aliado os estudos de variabilidade espacial a novas tecnologias com o propósito de reduzir os custos de produção com o uso mais eficiente de insumos agrícolas e aumentando da produção de alimentos (MONTANARI *et al.*, 2005; SOUZA *et al.*, 2006).

Verificou-se que em média o alcance estimado para as frações textural na profundidade de 0,0-0,2 m é menor que aqueles da profundidade de 0,4-0,6 m (Tabela 2), resultados que podem ser atribuídos a maior ação dos processos deposicionais e erosionais, mesmo em microvariações do relevo (MARQUES JUNIOR, 1995) que são as principais causas da variabilidade espacial dos atributos do solo.

O silte apresentou os menores valores de alcance, os quais foram 22 e 20 m, respectivamente para as profundidades de 0,0-0,2 m e 0,4-0,6 m, porém, os dados originais desse atributo apresentaram tendência linear, sendo seus semivariogramas estimados para o resíduo da tendência linear, o que pode ter comprometido a precisão desses resultados. Em ordem decrescente, os maiores alcances foram encontrados para argila e areia,

respectivamente com 51 e 33 m, todos na profundidade de 0,4-0,6 m. Na profundidade de 0,0-0,2 m as variáveis apresentaram alcances dentro dos limites de 20 e 26 m (Tabela 2).

A análise do grau de dependência espacial (GDE) proposto por Cambardella *et al.* (1994), que avalia em termos proporcionais o efeito pepita sobre o patamar ($C_0/(C_0+C_1).100$), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um GDE $\leq 25\%$ do patamar; dependência espacial moderada, quando o GDE está entre 25 e 75%, e dependência fraca, quando o GDE é $> 75\%$ do patamar. Verificou-se que há forte dependência espacial da textura na camada de 0,0-0,2 m com exceção da areia que mostrou moderada dependência espacial. Por outro lado, na profundidade de 0,4-0,6 m quase todas as variáveis textural apresentaram moderada dependência espacial com exceção do silte que apresentou forte dependência espacial.

Quanto aos resultados do modelo de elevação digital (MDE) a área de campo natural apresenta um relevo de formato côncavo e convexo (Figuras 7). Os mapas de krigagem em conjunto com o MDE possibilitam verificar a dinâmica dos atributos do solo em ambientes cujo relevo apresenta variações, ainda que estas variações sejam de pequena expressão, como ocorre nas áreas de estudo deste trabalho.

Os maiores teores de areia concentram-se nas regiões superiores do relevo, enquanto o silte e a argila nas áreas de menor elevação, resultante dos processos de arraste e deposição dessas partículas pela água, tornando evidente a atuação do relevo na variabilidade espacial das partículas primárias do solo como também relatado por Volk (2002). Os mapas de krigagem tornaram evidente a correlação dos teores de areia, silte e argila, na qual foi verificado que os elevados teores areia ocorrem às avessas dos teores de argila e silte, independente da profundidade avaliada (Figura 6).

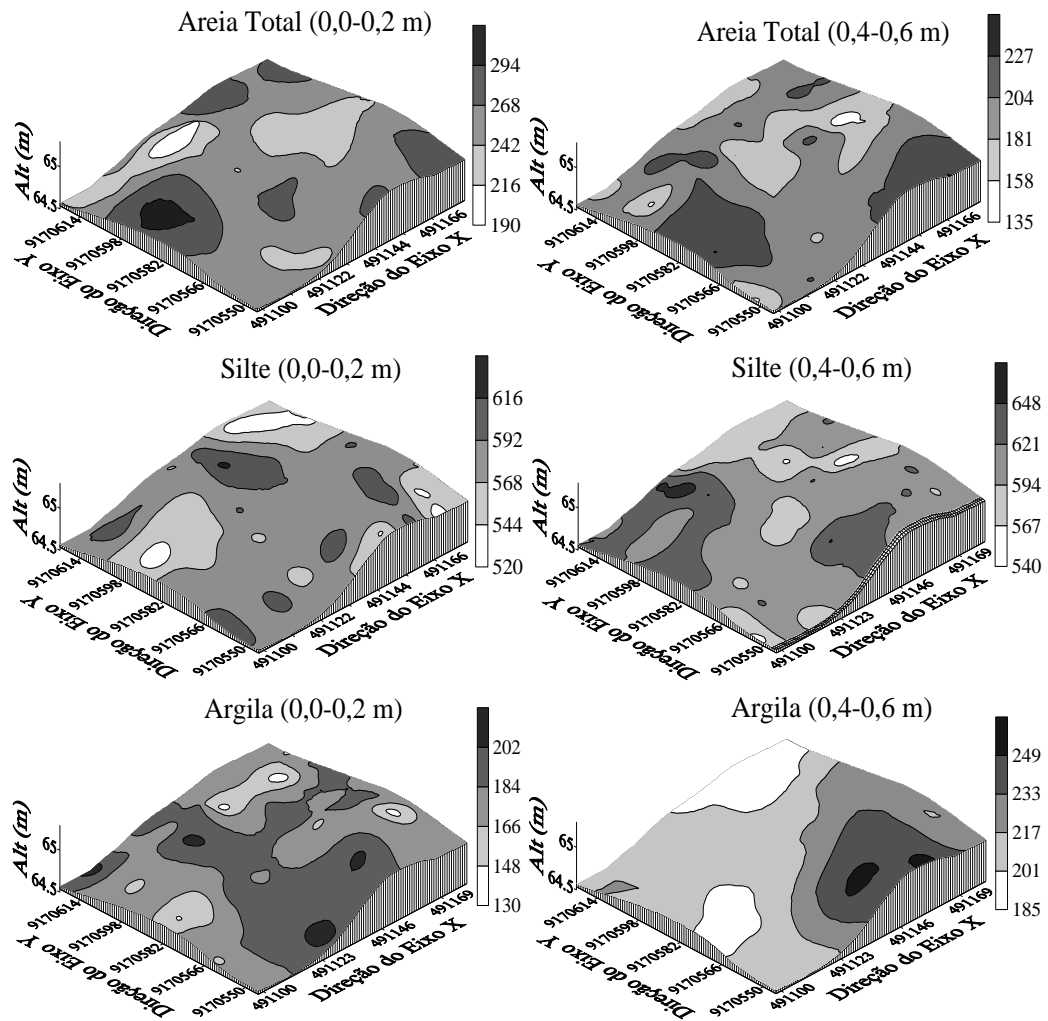


Figura 7. Mapas de krigagem das frações textural do solo nas profundidades de 0,0-0,2 e 0,4-0,6 m

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

Na Tabela 3 são encontrados os resultados da estatística descritiva para os atributos do solo. Os valores da média e mediana são próximos para todos os atributos avaliados, entretanto alguns atributos apresentaram valores de coeficiente de assimetria e curtose acima de 1, como a MaP e o VTP. Verificou-se para a MaP valores respectivos de assimetria e curtose de 1,21 e 1,19 na profundidade de 0,05-0,10 m e assimetria de 1,13 na profundidade de 0,10-0,20 m e para o VTP na profundidade de 0,10-0,20 m valores de assimetria e curtose de 1,18 e 1,52, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Estatística descritiva dos atributos físicos-hídrico do solo nas diferentes profundidades

Estatística Descritiva	Ds	RP	MaP	MiP	VTP	Us (vol.)
	Mg m ⁻³	MPa	----- m ³ m ⁻³ -----			
----- 0,0 – 0,05 m -----						
Média	1,37	1,97	0,08	0,36	0,44	0,27
Mediana	1,37	1,99	0,08	0,36	0,45	0,27
Máximo	1,51	2,73	0,16	0,41	0,53	0,32
Mínimo	1,21	1,12	0,02	0,31	0,38	0,22
¹ DP	0,08	0,40	3,73	2,27	3,20	2,08
Variância	0,006	0,16	13,89	5,14	10,25	4,34
² CV%	5,64	20,65	45,60	6,24	7,19	7,83
Assimetria	- 0,12	- 0,27	0,22	- 0,10	0,11	0,07
Curtose	- 0,87	- 0,59	- 0,85	- 0,43	- 0,23	0,22
³ d	0,05*	0,08*	0,07*	0,07*	0,06*	0,06*
----- 0,05 – 0,10 m -----						
Média	1,49	2,07	0,06	0,35	0,41	0,23
Mediana	1,49	2,14	0,05	0,35	0,41	0,23
Máximo	1,63	2,61	0,14	0,40	0,48	0,28
Mínimo	1,28	1,28	0,02	0,29	0,30	0,17
¹ DP	0,07	0,34	2,85	2,22	3,06	2,29
Variância	0,006	0,12	8,10	4,92	9,34	5,22
² CV%	5,07	16,75	49,70	6,34	7,52	9,74
Assimetria	- 0,21	- 0,50	1,21	- 0,15	- 0,35	0,16
Curtose	- 0,30	- 0,49	1,19	0,21	1,40	0,11
³ d	0,07*	0,08*	0,16	0,07*	0,09*	0,07*
----- 0,10 – 0,20 m -----						
Média	1,53	2,08	0,05	0,24	0,29	0,22
Mediana	1,54	2,02	0,04	0,23	0,28	0,22
Máximo	1,72	3,36	0,15	0,27	0,43	0,28
Mínimo	1,35	1,26	0,01	0,20	0,22	0,18
¹ DP	0,09	0,47	3,31	1,36	3,91	2,20
Variância	0,009	0,22	10,96	1,85	15,30	4,85
² CV%	5,86	22,69	63,26	5,79	13,48	9,89
Assimetria	- 0,20	0,86	1,13	-0,07	1,18	0,41
Curtose	- 0,61	0,55	0,83	-0,15	1,52	-0,36
³ d	0,06*	0,11*	0,16	0,13*	0,15	0,08*

Ds: densidade do solo; RP: resistência do solo a penetração; MaP: macroporosidade do solo; MiP: microporosidade do solo; VTP: volume total de poros; Us (vol.): umidade volumétrica do solo; ¹DP: desvio padrão; ²CV: coeficiente de variação; ³d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov; *significativo a 5 % de probabilidade.

Para Sanchez *et al.* (2009) os valores de assimetria e curtose menores que 1 demonstram tendência a normalidade. Contudo, Carvalho *et al.* (2010) afirmaram que o mais importante que a normalidade dos dados é a presença de caudas não muito alongadas para viabilizar o

uso das técnicas geoestatísticas. Nesse estudo a viabilidade do uso das técnicas geoestatísticas é assegurada pelos valores de média e mediana próximos, com maiores variações da MaP nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m e VTP na profundidade de 0,10-0,20 m.

Os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov dos atributos físicos do solo (Tabela 3), revelam que apenas as variáveis MaP nas profundidades subsuperficiais e VTP na profundidade de 0,10-0,20 m não apresentaram normalidade dos dados. Entretanto, em se tratando de dados obtidos na natureza, o ajuste de uma distribuição teórica é apenas aproximado (WARRICK e NIELSEN, 1980; GOOVAERTS, 1997).

De acordo com os limites da classificação do coeficiente de variação (CV) propostos por Warrick e Nielsen (1980), as variáveis Ds, MiP, VTP e Us (vol) nas diferentes profundidades mostraram baixa variabilidade dos dados (CV <12%) (Tabela 3). Esses resultados são semelhantes aos encontrados por (LIMA *et al.*, 2009), avaliando a variabilidade espacial dos atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastagem e vegetação secundária em regeneração natural. As demais variáveis, MaP e RP apresentaram moderada variabilidade dos dados (CV entre 12 e 60%) e a MaP na profundidade de 0,10-0,20 m que mostrou alta variabilidade (CV > 60%).

Referente aos valores médios dos atributos físicos do solo constatou-se que a área de campo natural apresentou Ds de 1,37; 1,49 e 1,53 Mg m⁻³, respectivamente às profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (Tabela 3). Para Bicalho (2011) os fatores que mais influenciam nos valores de Ds são o material constituinte do solo, o sistema de uso e manejo e tipo de cobertura vegetal.

É provável que os principais fatores dos elevados níveis de adensamento do solo da área de campo natural sejam, primeiramente, os elevados teores de silte superior ou proporcional a soma dos teores de areia e silte, promovendo melhor agrupamento das partículas do solo (Tabela 1), e a maior exposição do solo as ações desintegradoras da estrutura do solo, como as

queimadas periódicas na estação seca do ano, favorecido pela própria cobertura vegetal (CAMPOS, 2009; REDIN *et al.*, 2011). Sobre este assunto Bicalho (2011) afirmou que a D_s é um atributo que varia com o tempo, por processos naturais de adensamentos e, ou, com práticas de manejo.

Campbell (1994) constatou que a D_s é um parâmetro que mostra uma correlação limitada com o crescimento das plantas, uma vez que, este atributo sofre influência dos seus constituintes, como a textura e matéria orgânica. Arshad *et al.* (1996) mencionaram que o valor de D_s superior a $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos de textura média e argilosa podem causar restrições ao desenvolvimento radicular das plantas. Observou-se que o valor médio da D_s na profundidade de 0,0-0,20 m foi de $1,46 \text{ Mg m}^{-3}$ (Tabela 3), podendo causar, portanto, alguma limitação ao crescimento de planta (ARSHAD *et al.*, 1996).

A RP é um parâmetro que avalia a capacidade do solo de resistir à penetração mecânica, a qual faz inferência à penetração de raízes e tem estreita relação com alguns atributos do solo, como D_s , textura e umidade do solo. Os valores de RP foi de 1,97 MPa na camada superficial estabilizando-se nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m em 2,08 MPa (Tabela 3). Resultados semelhantes são encontrados nos trabalhos de Abreu *et al.* (2003) e Campos *et al.* (2012b) para Argissolo e Cambissolo, respectivamente.

De acordo com Tormena e Roloff (1996), valores de RP iguais ou superiores a 2 MPa são críticos e podem restringir o crescimento radicular das plantas. Contudo, em áreas de vegetação nativa são toleráveis valores de RP até 4 MPa devido à permanência e continuidade dos poros, atividade biológica mais ativa e maior estabilidade dos agregados quando comparados com áreas manejadas.

Entretanto, os valores médios de macroporosidade do solo de $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na camada superficial, reduzindo para $0,06$ e $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nas respectivas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. Para Alvarenga *et al.* (1996) e Assis; Lanças (2005), valores de MaP menores

que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, imprimem inadequada aeração para atender a necessidade do sistema radicular e as atividades dos microrganismos do solo. Sobre este assunto, Araújo *et al.* (2007) afirmaram que valores baixos de macroporosidade refletem na baixa taxa de infiltração do solo que, conseqüentemente, favorece a ação erosiva das enxurradas, o assoreamento e poluição dos reservatórios hídricos, resultantes da deposição dos sedimentos carregados pela enxurrada quando em uso pelo setor agropecuário.

A MiP apresentou-se praticamente estável nas duas primeiras camadas avaliadas, com variação dos valores médios de 0,36 para $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, contudo, na profundidade de 0,10-0,20 m o valor médio de MiP diminuiu para $0,24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, provavelmente pelo aumento do teor de argila em profundidade (Tabela 1). Esses resultados concordando com os encontrados por Araújo *et al.* (2004) e Silva *et al.* (2008) que observaram redução da MaP com o aumento da Ds e diminuição não expressiva da MiP. Observou-se ainda correlação positiva da RP com a Ds e negativa com a MaP.

Na Tabela 4 são apresentados os parâmetros dos semivariogramas ajustados aos modelos teóricos que melhor descrevem o comportamento da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo. Os resultados da validação cruzada (VC) foram superiores a 0,65 para todas as variáveis, o que assegura bom desempenho da interpolação pela krigagem ordinária. Esses resultados são corroborados com os coeficientes de determinação R^2 acima 0,83 significando que os semivariogramas estão bem ajustados (Tabelas 4).

Os resultados da análise geoestatística mostram que quase todos os atributos analisados apresentaram estrutura de dependência espacial. Para tais variáveis com estrutura de dependência, ajustaram-se unanimemente os modelos esférico e exponencial, concordando com vários outros resultados que indicam que são os modelos que mais se ajustam a esses atributos do solo (BERTOLANI e VIEIRA, 2001; SOUZA *et al.*, 2004a; LÓPEZ *et al.*, 2008).

Tabela 4. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas dos atributos físico-hídricos do solo nas diferentes profundidades

Parâmetros	Ds	RP	MaP	MiP	VTP	Us (vol.)
	kg m ⁻³	MPa	----- m ³ m ⁻³ -----			
----- 0,0 – 0,05 m -----						
Modelo	Exp	Esf	Esf	Esf	Esf	Exp
Efeito Pepita	0,0009	0,02	2,7	0,53	0,20	0,4
Patamar	0,0054	0,14	12,4	2,96	6,87	3,8
Alcance (m)	22	20	20	20	15	20
¹ R ²	0,97	0,92	0,97	0,97	0,96	0,95
² GDE%	16,7	14,3	21,8	17,9	2,9	10,5
³ VC	0,60	0,67	0,73	0,66	0,69	0,89
----- 0,05 – 0,10 m -----						
Modelo	Linear	Esf	Esf	Esf	Linear	Exp
Efeito Pepita	-	0,016	0,91	0,8	-	0,56
Patamar	-	0,138	4,7	4,7	-	5,13
Alcance (m)	-	21	20	26	-	30
¹ R ²	-	0,93	0,89	0,83	-	0,85
² GDE%	EPP	11,6	19,4	17,0	EPP	10,9
³ VC	-	0,77	0,78	0,77	-	0,89
----- 0,10 – 0,20 m -----						
Modelo	Exp	Esf	Exp	Esf	Exp	Exp
Efeito Pepita	0,0011	0,14	1,4	0,34	1,8	0,86
Patamar	0,007	0,20	12,1	2,12	12,1	5,27
Alcance (m)	25	24	24	21	34	39
¹ R ²	0,94	0,97	0,97	0,95	0,96	0,96
² GDE%	15,7	7,0	11,6	16,0	14,9	16,3
³ VC	0,70	0,79	0,72	0,88	0,65	0,90

Ds: densidade do solo; RP: resistência do solo a penetração; MaP: macroporosidade do solo; MiP: microporosidade do solo; VTP: volume total de poros. ¹EPP: efeito pepita puro; ¹R²: coeficiente de determinação; ²GDE%: grau de dependência espacial e; ³VC: validação cruzada.

Alguns atributos não apresentaram dependência espacial, os quais foram a Ds e o VTP da profundidade de 0,05-0,10 m, conferindo a esses atribuídos a condição de efeito pepita puro (EPP), significando que as amostras são independentes para distâncias maiores que a menor distância entre as amostras utilizadas nesse estudo.

O efeito pepita constitui-se numa medida importante do semivariograma e indica a variação não explicada, que pode ser devido a erros de medida e microvariações não detectadas, considerando a distância de amostragem utilizada (ABREU *et al.*, 2003). De acordo com a análise do GDE sugerido por Cambardella *et al.* (1994) todas as variáveis apresentaram forte dependência espacial.

De modo geral, os maiores valores de alcance (a) foram obtidos pela Us (vol.) nas profundidades 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, com valores de 30 e 39 m, respectivamente, e VTP na profundidade de 0,10-0,20 m com alcance de 34 m. Os demais atributos apresentaram alcance entre 23 e 25 m (Tabela 4). Os resultados indicam a grande variabilidade dos atributos físicos do solo a curtas distâncias imposta pela constante variação do relevo e a exposição da camada superficial as ações dos fatores do ambiente. Esses resultados corroboram com os encontrados por (LIMA *et al.*, 2009), que afirmaram haver variações significativas de atributos do solo em pequenas áreas mesmo quando o relevo foram de pequena expressão.

Os mapas da distribuição espacial dos atributos do solo permitem visualizar a correlação entre os atributos do solo e desses com a posição na paisagem. As constantes variações na forma do relevo da área de campo natural explica a maior variabilidade espacial dos atributos do solo ao longo da área. Souza *et al.* (2004b) encontraram dependência espacial de atributos físicos e hídricos do solo aos elementos do relevo (pedoforma). Contudo, essa maior variabilidade espacial não permite fazer inferências notórias a respeito das possíveis correlações entre os atributos do solo. Todavia, nas duas primeira profundidades se pode observar que para os menores níveis de Ds tem-se os maiores valores de MaP (Figuras 8, 9 e 10). Apesar de a MaP apresentarem valores menores que a MiP, a amplitude dos valores máximo e mínimo é significativamente maior comparado a MiP e que, portanto, pode estar exercendo maior influência nos valores da Ds. Corroborando com os resultados encontrados por Araújo *et al.* 2007 e Bergamin *et al.* (2010) que constataram aumento da Ds com a redução da MaP.

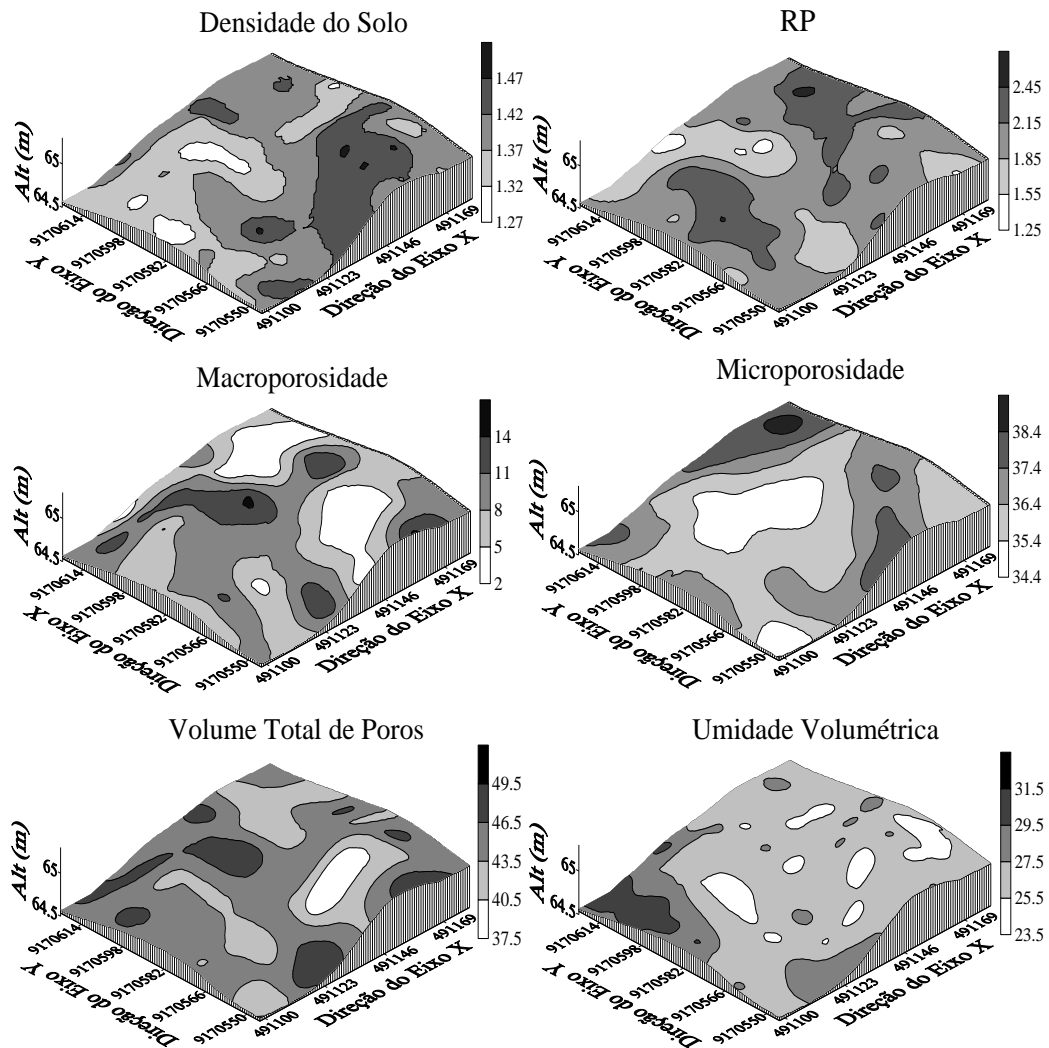


Figura 8. Mapas de krigagem dos atributos físicos densidade do solo, resistência do solo à penetração (RP), macroporosidade, microporosidade, volume total de poros e umidade volumétrica do solo na profundidade de 0,0-0,05 m.

A RP, por sua vez, foi menor em regiões do mapa de menor D_s , concordando com diversos autores que afirmam que a RP é proporcional a D_s (CUNHA *et al.*, 2002; SOUZA *et al.*, 2006; BERGAMIN *et al.*, 2010; IORI *et al.*, 2012). Por outro lado, atribui-se U_s (vol.) o fator principal da menor RP. Resultados semelhantes foram encontrados por Klein e Câmara (2007); Bergamin *et al.* (2010) e Campos *et al.* (2012b), avaliando a RP em função da umidade observaram aumento da RP quando o teor de umidade do solo diminuiu.

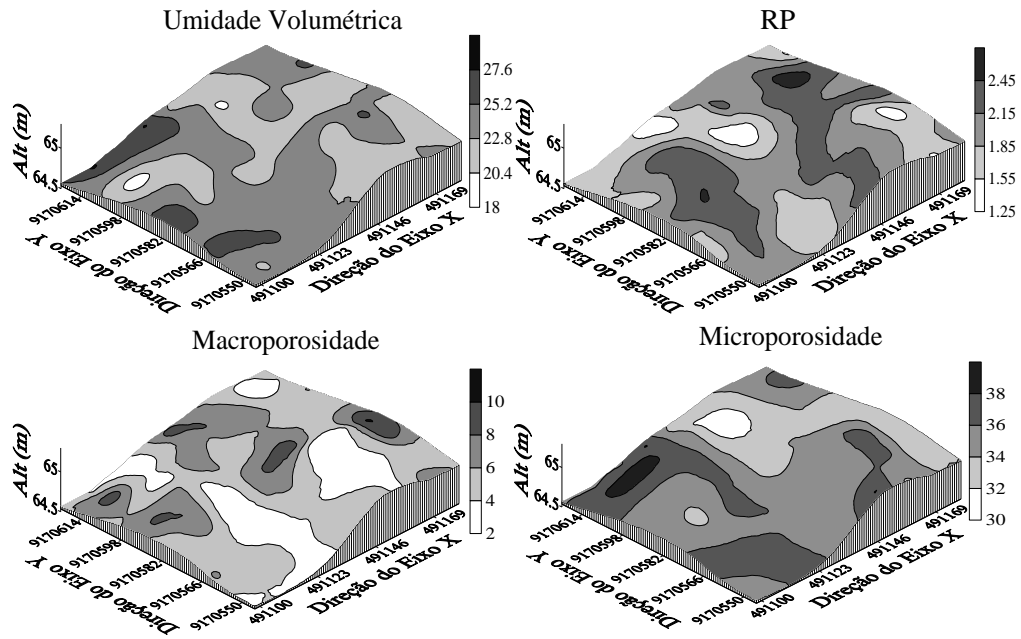


Figura 9. Mapas de krigagem dos atributos umidade volumétrica do solo, resistência do solo à penetração (RP), macroporosidade e microporosidade na profundidade de 0,05-0,10 m.

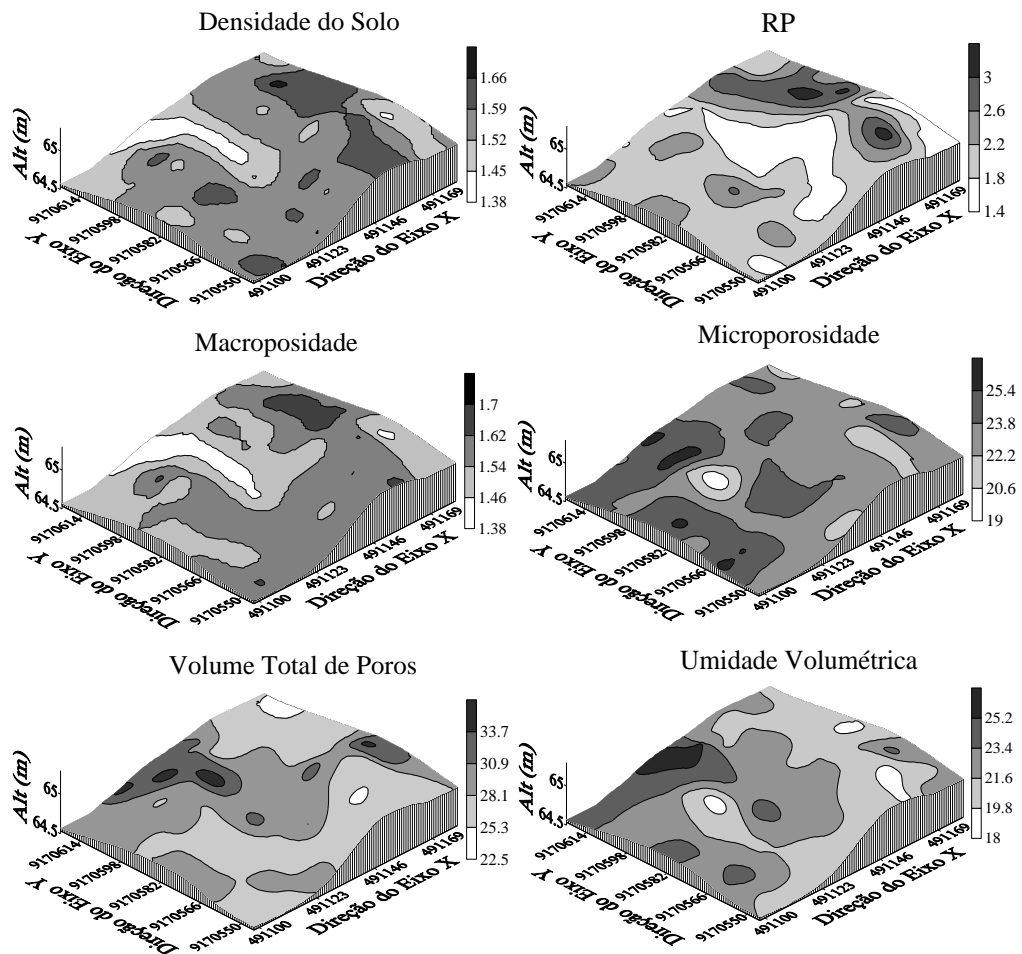


Figura 10. Mapas de krigagem dos atributos físicos densidade do solo, resistência do solo à penetração (RP), macroporosidade, microporosidade, volume total de poros e umidade volumétrica do solo na profundidade de 0,10-0,20 m.

4.1.3. Estabilidade de agregados do solo, carbono orgânico total, matéria orgânica e estoque de carbono do solo

Os índices utilizados para expressar a estabilidade de agregados foram o diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), percentual de agregados maiores que 2 mm (Agr.> 2 mm) e percentual de agregados menores que 2 mm (Agr.<2mm). Os resultados da estatística descritiva para os índices da estabilidade de agregados do solo, carbono orgânico total (COT), matéria orgânica do solo (MOS) e estoque de carbono (Est C) se encontram na tabela 5.

Os atributos avaliados apresentam distribuição normal, como constatado pelos valores de média e mediana semelhantes e também assimetria e curtose próximo de zero, com exceção do DMP, Agr.>2 mm e Agr.<2 mm na profundidade de 0,05-0,10 m que apresentaram valores superiores a 1. Contudo, a proximidade dos valores média e mediana assegura uma distribuição simétrica dos dados, isso significa que a dispersão dos valores não apresenta caudas muito alongadas, o que poderia comprometer a análise geoestatística, ocorre somente que os valores de assimetria e curtose são sensíveis a valores extremos de forma que um único valor exercer grande influência nos seus resultados (Diggle e Ribeiro Júnior, 2007).

Os resultados do teste normalidade (Kolmogorov-Smirnov) para os índices da estabilidade de agregados do solo demonstram que apenas o DMG da profundidade de 0,05-0,10 m apresentou normalidade. Quanto aos demais atributos, com exceção do Est. C na profundidade de 0,05-0,10 m, todos apresentaram significância ao teste de normalidade (Tabela 5). Contudo, a condição de normalidade não é uma exigência da geoestatística, é conveniente apenas que a média e a variabilidade dos dados não sejam constantes em toda a área de estudo, ou seja, que ocorra a estacionaridade necessária ao uso da geoestatística (VIEIRA, 2000).

De acordo com a classificação do CV proposta por Warrick e Nielsen (1980) somente o Agr.<2 mm na profundidade de 0,10-0,20 m apresentou alta variabilidade (CV de 60,29%),

outras variáveis apresentaram moderada variabilidade, como o Agr.<2 mm nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, DMG e Agr.>2 mm da profundidade de 0,10-0,20 m (Tabela 5).

Tabela 5. Estatística descritiva dos índices da estabilidade de agregados do solo, carbono orgânico, matéria orgânica e estoque de carbono nas diferentes profundidades.

Estatística Descritiva	DMG	DMP	>2 mm	<2 mm	COT	MOS	Est C
	mm		%		g kg ⁻¹		Mg ha ⁻¹
----- 0,0 – 0,05 m -----							
Média	2,69	3,13	91,47	8,53	29,65	51,12	20,28
Mediana	2,79	3,17	93,55	6,35	29,68	51,17	20,17
Máximo	3,15	3,31	98,27	21,92	35,14	60,57	24,33
Mínimo	1,98	2,74	78,08	1,73	24,48	42,21	17,25
¹ DP	0,29	0,14	5,10	5,10	2,00	3,44	1,39
Variância	0,09	0,02	26,07	26,07	3,98	11,83	1,93
² CV%	10,86	4,32	5,58	59,84	6,73	6,73	6,84
Assimetria	- 0,54	- 0,99	- 0,88	0,88	- 0,11	- 0,11	0,03
Curtose	- 0,68	0,37	- 0,22	- 0,22	0,92	0,93	0,13
³ d	0,15	0,16	0,18	0,18	0,07*	0,09*	0,07*
----- 0,05 – 0,10 m -----							
Média	2,73	3,15	92,15	7,84	26,51	45,71	19,78
Mediana	2,77	3,17	92,86	7,14	26,65	45,95	19,35
Máximo	3,14	3,30	97,84	22,05	30,87	53,23	24,00
Mínimo	1,98	2,80	77,95	2,16	21,99	37,91	16,50
¹ DP	0,24	0,09	3,73	3,73	2,04	3,52	1,85
Variância	0,06	0,009	13,93	13,93	4,16	12,37	3,42
² CV%	8,77	3,03	4,05	47,57	7,69	7,69	9,35
Assimetria	- 0,71	- 1,10	- 1,18	1,18	0,06	0,06	0,48
Curtose	0,38	1,83	2,26	2,26	- 0,71	- 0,71	- 0,28
³ d	0,09*	0,12	0,12	0,12	0,08*	0,08*	0,11
----- 0,10 – 0,20 m -----							
Média	2,23	2,89	81,44	18,56	23,44	40,41	17,97
Mediana	2,30	2,94	83,02	16,98	23,18	39,96	17,86
Máximo	3,10	3,29	97,63	52,22	28,58	49,28	21,65
Mínimo	1,13	2,10	47,78	2,37	20,10	34,65	14,87
¹ DP	0,50	0,28	11,19	11,19	1,79	3,08	1,40
Variância	0,25	0,08	125,25	125,25	3,20	9,50	1,96
² CV%	22,24	9,56	13,74	60,29	7,63	7,63	7,79
Assimetria	- 0,40	- 0,87	- 0,89	0,89	0,66	0,66	0,31
Curtose	- 0,54	0,18	0,36	0,36	0,39	0,40	0,22
³ d	0,12	0,13	0,12	0,12	0,08*	0,08*	0,08*

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; >2 mm: % de agregados maiores que 2 mm; <2 mm: % de agregados menores que 2 mm; COT: carbono orgânico total; MOS: matéria orgânica do solo; Est C: estoque de carbono do solo; ¹DP: desvio padrão; ²CV: coeficiente de variação; ³d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, *significativo a 5% de probabilidade.

Por outro lado, os resultados do CV apontam baixa variabilidade dos atributos COT, MOS e Est. C, com CV menores que 10%, estando de acordo com a pequena amplitude dos valores

máximo e mínimo desses atributos. Esses resultados são diferentes dos encontrados por Vieira *et al.* (2011) e Chig *et al.* (2008) que encontraram para COT e MOS moderada variabilidade.

Quanto às médias dos índices da estabilidade de agregado do solo, estes indicam boa agregação do solo. O DMG, DMP e Agr.>2 mm apresentam valores praticamente constantes nas duas primeiras profundidades (Tabela 5). Contudo, a maior agregação é observada na profundidade de 0,05-0,10 m, com DMG, DMP e Agr.>2 mm de 2,73; 3,15 mm e 92,15%, respectivamente, ao passo que a menor estabilidade de agregados se encontra na profundidade de 0,10-0,20 m (Tabela 5).

Apesar dos valores médios dos índices da estabilidade de agregados apontarem não haver diferença significativa em profundidade, na análise da variabilidade espacial os resultados podem ser observados e discutidos sempre que constatado dependência espacial, por ocasião da ocorrência de regiões dentro de uma mesma área de estudo com resultados significantes, não verificados quando se utiliza apenas os valores médios para representar o atributo do solo avaliado na área de estudo.

Referente à agregação Kiehl (1979) comenta que para haver formação dos agregados são necessárias duas condições fundamentais: a primeira, que uma força mecânica qualquer, provoque a aproximação das partículas do solo; a segunda condição é a de que, após o contato das partículas, haja um agente cimentante para consolidar essa união, gerando os agregados.

Nos campos naturais a primeira condição é atendida por conta do nível elevado de adensamento natural do solo (Tabela 3). A segunda condição para agregação, que se refere aos agentes cimentantes das partículas do solo, observa-se que a agregação do solo na camada superficial não está condizente com os teores de MOS que apresenta teores elevados na camada superficial em relação às camadas subjacentes (Tabela6), ressaltando que nessa área a maior estabilidade de agregados se encontra na profundidade de 0,05-0,10 m.

Este fato não anula a ação agregante da MOS, todavia, é provável que outros agentes cimentantes estejam atuando mais expressivamente na agregação do solo, como, por exemplo, os elevados teores de óxidos de ferro e alumínio dessa região que se distribuem de forma crescente com a profundidade conforme observaram (CAMPOS *et al.*, 2012a). Por outro lado, ressalta-se a ocorrência de queimadas periódicas nos campos naturais na estação seca do ano (CAMPOS, 2009), o que pode estar favorecendo a desagregação do solo na camada superficial (REDIN *et al.*, 2011). Para Vieira *et al.* (2011) diferentes atributos influenciam no estado de agregação do solo, como a textura, os óxidos de ferro e alumínio, o teor de matéria orgânica, a atividade microbiana e o manejo do solo. Castro Filho *et al.* (1998) não encontraram influência do carbono orgânico na agregação do solo na camada de 0,10-0,20 m, atribuindo outros fatores à agregação atuando ou não em conjunto com a MOS.

Segundo Castro Filho *et al.* (1998) o DMG e o DMP são índices utilizados para expressar o tamanho dos agregados e o estado de agregação do solo e cada um deles apresenta um princípio: o DMP é tanto maior quanto maior for a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores; o DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência. Desse modo, o DMP pode refletir a maior resistência à erosão, não apenas pela força de ligação das partículas que constitui os agregados, mais também porque são esperados para maiores agregados maiores espaços porosos, aumentando a infiltração e diminuindo o arraste do solo pela enxurrada.

Os resultados da análise geoestatística demonstraram que em quase todas as profundidades os índices da estabilidade de agregados do solo apresentaram dependência espacial, apenas na profundidade de 0,05-0,10 m se constatou ausência de dependência espacial para todas as variáveis, ou seja, os índices da estabilidade de agregados nessa profundidade apresentaram efeito pepita puro (EPP) (Tabelas 6). Para os atributos COT, MOS e Est. C foram encontrados dependência espacial em todas as profundidades avaliadas.

Tabela 6. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais dos índices da estabilidade de agregados do solo, carbono orgânico total, matéria orgânica e estoque de carbono do solo nas diferentes profundidades

Parâmetros	DMG	DMP	>2 mm	<2 mm	COT	MOS	Est C
	mm		%			g kg ⁻¹	Mg ha ⁻¹
----- 0,0 – 0,05 m -----							
Modelo	Exp	Exp	Exp	Exp	Esf	Esf	Exp
Efeito Pepita	0,01	0,003	2,6	2,1	1,62	4,7	0,20
Patamar	0,08	0,014	23,5	23,5	3,43	10,3	1,49
Alcance (m)	27	29	27	26	46	47	30
¹ R ²	0,96	0,95	0,93	0,94	0,98	0,98	0,92
² GDE%	12,5	21,4	11,1	8,9	47	46	0,13
³ VC	0,71	0,74	0,72	0,72	0,78	0,79	0,67
----- 0,05 – 0,10 m -----							
Modelo	Lin	Lin	Lin	Lin	Esf	Esf	Exp
Efeito Pepita	-	-	-	-	2,17	5,49	0,16
Patamar	-	-	-	-	4,54	12,91	1,56
Alcance (m)	-	-	-	-	46	42	26
¹ R ²	-	-	-	-	0,91	0,97	0,91
² GDE%	EPP	EPP	EPP	EPP	48	42	10
³ VC	-	-	-	-	0,99	0,99	0,79
----- 0,10 – 0,20 m -----							
Modelo	Esf	Exp	Exp	Exp	Esf	Esf	Esf
Efeito Pepita	0,05	0,01	13,5	12,5	0,83	5,49	1,26
Patamar	0,23	0,07	101,0	100,5	3,04	12,91	3,55
Alcance (m)	19	22	26	25	24	42	33
¹ R ²	0,97	0,91	0,96	0,96	0,99	0,97	0,94
² GDE%	21,7	14,3	13,4	12,4	27	42	35
³ VC	0,82	0,72	0,79	0,79	0,67	0,66	0,63

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; >2 mm: % de agregados maiores que 2 mm; <2 mm: % de agregados menores que 2 mm; COT: carbono orgânico total; MOS: matéria orgânica do solo; Est C: estoque de carbono do solo; Esf: Esférico; Exp: Exponencial; Lin: Linear; ¹EPP: efeito pepita puro; R²: coeficiente de determinação; GDE%: grau de dependência espacial e; VC: validação cruzada.

Quanto aos parâmetros analisados para a escolha do melhor ajuste dos modelos aos semivariogramas, na qual se observaram o coeficiente de determinação R² e o coeficiente da validação cruzada (VC) mais próximos de 1, as modelagens dos índices da estabilidade de agregados foram realizadas a valores de R² e VC superiores a 0,90 e 0,63, respectivamente. Os menores valores de VC foram encontrados para o Est. C na profundidade de 0,0-0,05 m e os atributos COT, MOS e Est C na profundidade de 0,10-0,20 m (Tabela 6).

Para os índices da estabilidade de agregados, os melhores ajustes foram realizados ao modelo exponencial, com exceção apenas do DMG na profundidade de 0,10-0,20 m que melhor se ajustou ao modelo esférico. O modelo esférico foi o que melhor se ajustou aos

atributos COT, MOS e Est C, com exceção apenas para o Est C das profundidades de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m que se ajustou ao modelo exponencial (Tabela 6). Esses resultados corroboram com os encontrados por Souza *et al.* (2004b) e Vieira *et al.* (2011), avaliando a variabilidade espacial da estabilidade de agregados do solo e matéria orgânica do solo encontraram os melhores ajustes aos modelos esférico e exponencial.

O efeito pepita é um parâmetro do semivariograma que indica a variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada, ou erros na obtenção dos dados (ABREU *et al.*, 2003). Quando expresso como porcentagem do patamar indica o grau de dependência espacial (GDE) do atributo do solo (CAMBARDELLA *et al.*, 1985). A análise do GDE dos atributos do solo segundo a classificação de Cambardella *et al.* (1985), aponta aos índices DMG, DMP, Agr.>2 mm e Agr.<2 mm, forte dependência espacial. Para os atributos COT e MOS o GDE apresentou moderada a forte dependência. Enquanto o Est C nas profundidades 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m apresentou forte dependência espacial com GDE de 13 e 10%, respectivamente (Tabela 6).

Os valores de alcance (**a**) dos índices da estabilidade de agregados foram inferiores a 30 m, sendo os menores alcances encontrados na profundidade 0,10-0,20 m, com alcance variando de 19 m para DMG a 26 m para o Agr.>2 mm, enquanto na profundidade de 0,0-0,05 m o alcance encontra-se nos intervalos de 26 m para o Agr.<2 mm a 29 m para o DMP. Esses resultados indicam a maior variabilidade espacial dos atributos físicos da área de campo natural (Tabelas 6). Souza *et al.* (2004b) avaliando as formas do relevo na variabilidade espacial atribuíram às maiores variações dos índices da estabilidade de agregados as constantes variações no formato côncavo e convexo da área de estudo, cuja a característica se assemelha a área de campo natural.

Em geral, os valores de alcance para o COT, MOS e Est C foram superiores a 30 m, chegando a 47 m para a MOS na profundidade de 0,0-0,05 m e 46 m para o COT nas

profundidades de 0,0-0,05 m e 0,05-0,10 m (Tabela 6). Os menores valores de alcance foram verificados para o Est C nas diferentes profundidades, com limite máximo de dependência espacial de 30; 26 e 33 m, respectivos às profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m.

Em planejamento amostral o alcance pode ser usado como subsídio para a tomada de decisão da densidade amostral a ser utilizada (SOUZA *et al.*, 2003; MONTANARI *et al.*, 2005). De modo geral, para menores valores de alcance é necessária uma maior densidade amostral ou para maiores valores de alcance menor densidade amostral.

Os mapas de krigagem dos índices da estabilidade de agregados do solo para cada profundidade avaliada são apresentados cada nas Figuras 11 e 12, com exceção na profundidade de 0,05-0,10 m na qual os índices apresentaram EPP. O DMP e Agr.>2 mm apresentam distribuição espacial semelhantes, demonstrando que o DMP é o um parâmetro mais representativo da maior agregação do solo.

Os maiores valores de DMP, DMG e Agr.>2 mm são encontrados na posição mais elevada da área, situada na região superior indo até a região central dos mapas. É provável que o menor efeito das enxurradas no topo do terreno favoreça a manutenção da estabilidade de agregados do solo. Contudo, outros fatores como os elevados teores MOS, forças mecânicas quaisquer, silte e argila na mesma região dos mapas (Figura 10 e 11) demonstram a dinâmica desses atributos na maior agregação do solo como salientaram Longo *et al.* (1999); Bergamin *et al.* (2010) e Vieira *et al.* (2011).

Na Tabela 5 observa-se uma ligeira redução dos teores médios do COT, MOS e Est C em profundidade. O mais relevante decréscimo em profundidade foi do teor de MOS que passou de 51,12 g kg⁻¹ para 40,41 g kg⁻¹ na profundidade de 0,05-0,10 para 0,10-0,20 m. Os mapas de krigagem apontam que os atributos se correlacionam com a posição na paisagem (Figura 12). Todavia, sendo a MOS um atributo estimado do valor de COT gerando mapas de distribuição semelhantes, se convencionou ilustrar apenas os mapas de COT. É possível

observar que a região mais elevada do relevo localizada na parte superior dos mapas se encontram os maiores teores de COT e Est C.

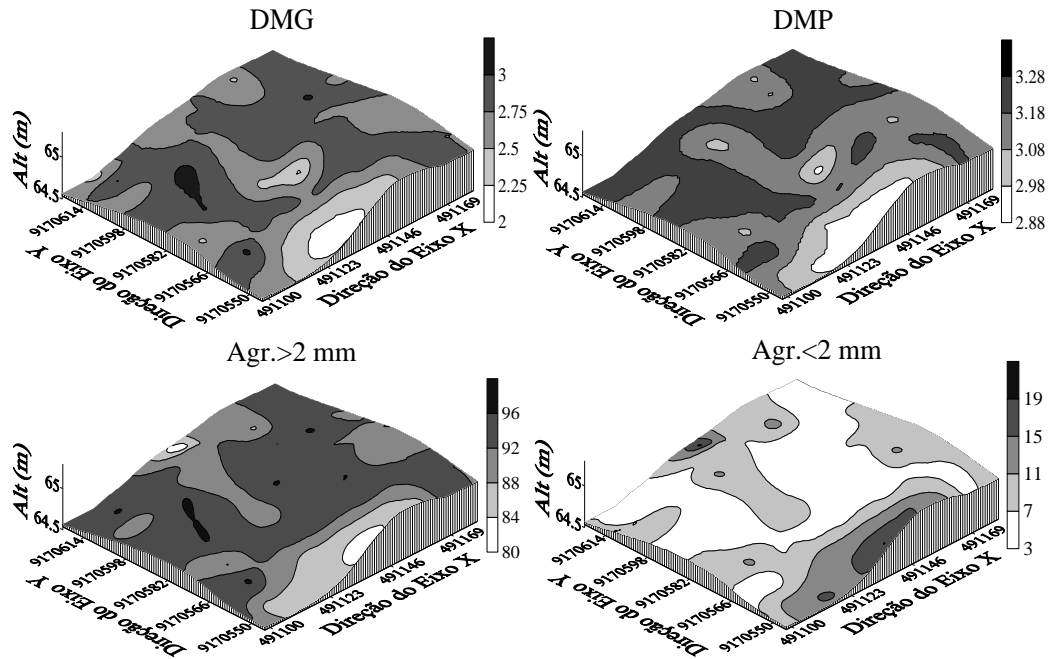


Figura 11. Mapas de krigagem dos índices diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), % de agregados maiores que 2 mm (Agr.>2 mm), % de agregados menores que 2 mm (Agr.<2 mm) na profundidade de 0,0-0,05 m

O Est C é uma propriedade do solo que leva em conta em sua estimativa o COT e D_s , de modo que quanto maior for a densidade do solo e maior o teor de carbono orgânico do solo maior será o Est C desse solo. Dessa forma, nos estudos de variabilidade espacial o Est C terá uma maior correlação ou semelhança de distribuição com a D_s ou COT que apresentam distribuição mais expressiva na área de estudo, como foi observado no mapa de Est C na profundidade de 0,05-0,10 m, em que na mesma profundidade a D_s não apresentou dependência espacial, ou seja, a variação da D_s foi aleatória, nesse caso a distribuição do Est C se assemelhou ao COT que, por sua vez, apresentou dependência espacial (Figura 12).

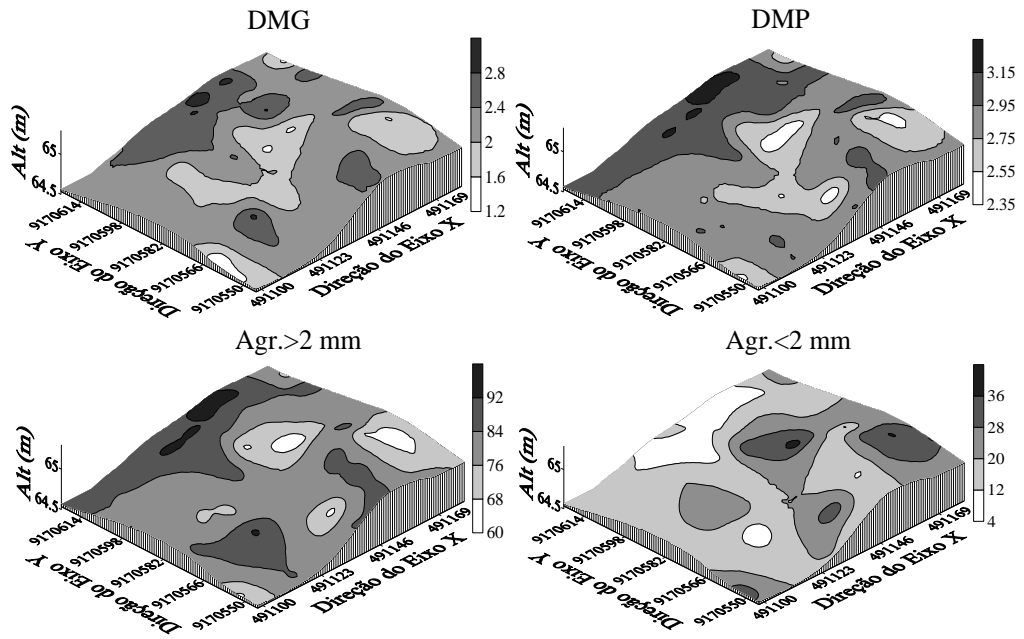


Figura 12. Mapas de krigagem dos índices diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), % de agregados maiores que 2 mm (Agr.>2 mm), % de agregados menores que 2 mm (Agr.<2 mm) na profundidade de 0,10-0,20 m

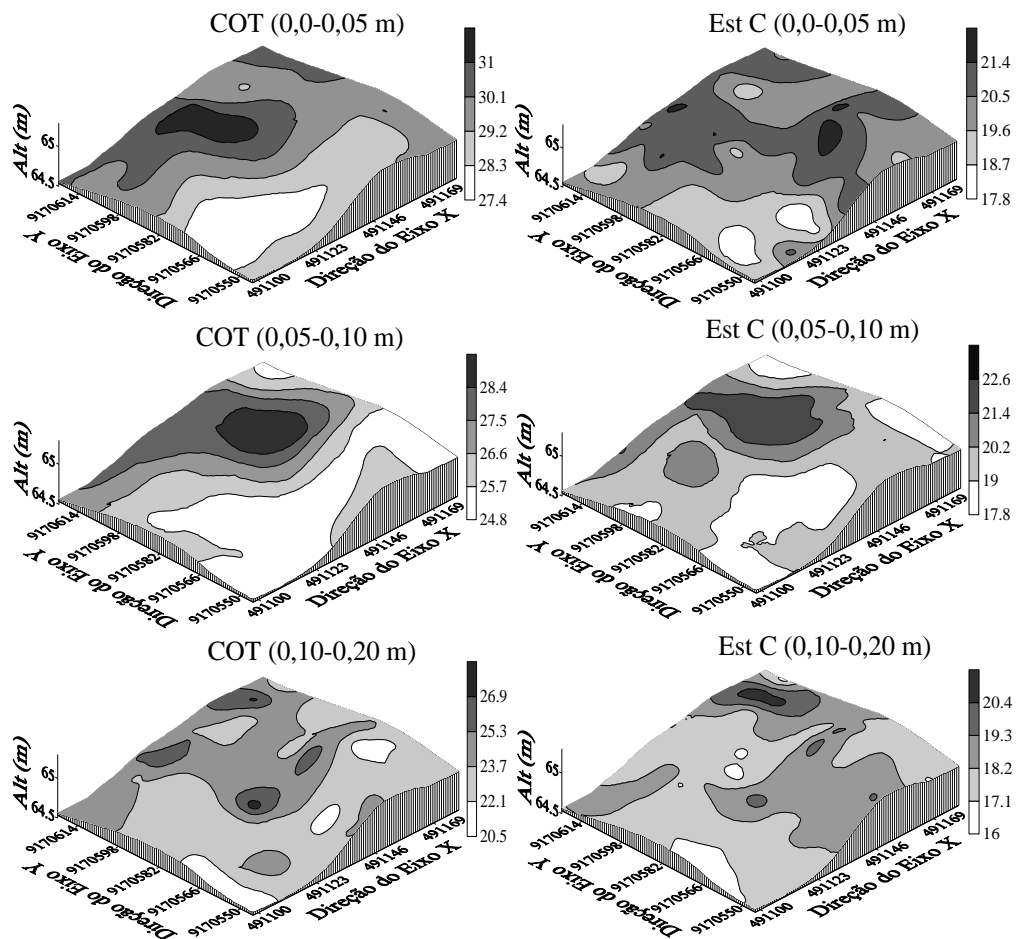


Figura 13. Mapas de krigagem dos atributos carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono do solo (Est C) nas profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m

4.2. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de um Argissolo sob floresta na região de Humaitá, AM

4.2.1. Análise textural

Os resultados da estatística descritiva para os constituintes textural do solo são apresentados na Tabela 7. Os valores da média e mediana estão próximos para todas as variáveis, demonstrando uma distribuição simétrica dos dados da textura, isso justifica os valores de coeficiente de assimetria e curtose próximos de zero, com exceção da argila e areia nas duas profundidades e silte na profundidade de 0,0-0,2 m que apresentam valores de curtose entre 1,0 e 1,4 (Tabela 7).

De acordo com Webster (2001) o fator a ser observado para a determinação da distribuição não normal é o valor de assimetria maior que 1, necessitando, nesse caso, de uma transformação logarítmica para apresentarem distribuição normal. Para 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 nos valores desses coeficientes, pois, os desvios entre cada valor e a média são elevados à terceira potência.

Tabela 7. Estatística descritiva das frações textural do solo nas diferentes profundidades

Estatística Descritiva	Areia		Silte		Argila	
	g kg ⁻¹					
	0,0-0,2 m			0,4-0,6 m		
Média	290,8	527,6	181,1	252,9	528,7	218,4
Mediana	286,1	530,0	184,1	250,9	527,6	217,3
Máximo	385,4	615,2	223,2	362,2	601,7	290,6
Mínimo	223,8	406,2	121,4	200,5	421,5	163,2
¹ DP	34,9	38,8	21,7	34,6	35,8	29,4
Variância	1218,0	1506,9	469,4	1200,1	1285,3	862,1
² CV (%)	12,0	7,4	12,0	13,7	6,8	13,4
Assimetria	0,72	-0,64	-0,86	0,99	-0,55	0,63
Curtose	0,61	1,32	1,04	1,27	0,51	0,17
³ d	0,09*	0,10*	0,13	0,08*	0,08*	0,09*

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

Com relação ao teste de normalidade dos dados avaliados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, o qual mede a distância máxima entre os resultados de uma distribuição a ser testada e os resultados associados à distribuição hipoteticamente verdadeira (GONÇALVES *et al.*, 2001) apenas a argila na profundidade de 0,0-0,20 m não apresentou normalidade (Tabela 7). No entanto, é conveniente que a média e a variabilidade dos dados não sejam constantes na área de estudo, apresentando assim, estacionaridade, necessária ao uso da geoestatística e também que essa distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as análises, principalmente as estimativas da krigagem, as quais são baseadas em valores médios (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989; WEBSTER, 1985).

Com relação à classificação da variabilidade dos dados proposta por Warrick e Nielsen (1980), apenas o silte apresentou baixa variabilidade ($CV < 12\%$), enquanto a areia e a argila apresentaram moderada variabilidade (CV entre 12 e 60%). Resultados semelhantes foram encontrados por Lima *et al.* (2009) estudando um Argissolo Vermelho Amarelo em uma área sob pastagem, todavia, a média variabilidade do silte encontrado por esses autores não corroboram com o resultado encontrado neste estudo.

Quanto aos valores médios dos atributos granulométricos observa-se que estes seguem padrões de comportamentos opostos, ou seja, os teores de areia são menores com o incremento da profundidade, passando de 290,8 para 252,9 $g\ kg^{-1}$ quando a profundidade avaliada passou de 0,0-0,2 para 0,4-0,6 m. Por outro lado, os teores de argila crescem de 181,1 $g\ kg^{-1}$ na profundidade de 0,0-0,2 m para 218,4 $g\ kg^{-1}$ na profundidade de 0,4-0,6 m. Contudo, o silte permaneceu praticamente estável com o incremento da profundidade, com valores em torno de 528,0 $g\ kg^{-1}$. Os elevados teores de silte no solo sob a floresta evidencia a formação geológica do solo a partir da deposição de sedimentos aluviais que constituem o material de origem do solo da região (BRASIL, 1978).

Os resultados da análise geoestatística para os atributos granulométricos são apresentados na Tabela 8. A análise dos dados mostrou que a variável areia na profundidade 0,0-0,2 m apresentou tendência linear. Para esse atributo foi estimado o semivariograma para os resíduos da tendência linear. A remoção da tendência é necessária quando o semivariograma para os dados originais apresentam crescimento sem limites com a distância.

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 (r^2) e mostra como resultado uma reta que passa entre as observações reais e estimadas (WOJCIECHOWSKI *et al.*, 2009), 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) e também, o coeficiente de determinação R^2 mais próximo de 1.

Tabela 8. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais das frações textural do solo nas diferentes profundidades

Parâmetros	Areia		Silte		Argila	
	g kg ⁻¹					
	0,0-0,2 m			0,4-0,6 m		
Modelo	Esf	Esf	Exp	Lin	Esf	Esf
Efeito Pepita	230	103	54	-	382	416
Patamar	673	720	381	-	861	938
Alcance (m)	26	31	20	-	45	36
¹ R ²	0,84	0,88	0,87	-	0,99	0,98
² GDE%	34	14	14	EPP	44	44
³ VC	0,90	0,76	0,42	-	0,81	0,84

Esf: Esférico; Exp: Exponencial; Lin: Linear; ¹EPP: efeito pepita puro; R^2 : coeficiente de determinação; GDE%: grau de dependência espacial e; VC: validação cruzada.

De acordo com os resultados da validação cruzada, os modelos ajustados para expressar a dependência espacial dos constituintes textural apresentaram boa significância do coeficiente de regressão, com valores da VC acima de 0,76, com exceção apenas para argila na profundidade de 0,0-0,2 m que apresentou VC de 0,42. Por outro lado, o valor do coeficiente de determinação R^2 para essa variável foi de 0,87 que mostra o bom desempenho

do ajuste do semivariograma (Tabela 8). Os modelos que mais se ajustaram aos semivariogramas experimentais foram o esférico em sua quase totalidade, e o exponencial que se ajustou apenas ao semivariograma da argila na profundidade de 0,0-0,2 m. Esses resultados assemelham-se a vários estudos que apontam os modelos esférico e exponencial como os que melhor se ajustam as variáveis textural do solo (MENDES *et al.*, 2008; CHIG *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2010; MIQUELONI *et al.*, 2011).

Constatou-se ainda, para areia na profundidade de 0,4-0,6 m a condição de efeito pepita puro (EPP), o qual ocorre quando não é encontrada dependência espacial para distâncias maiores que a menor distância entre os pontos amostrais da malha. Considerando o espaçamento de 10 m de separação dos pontos amostrais desse estudo (Figura 4), pode-se afirmar que para a profundidade de 0,4-0,6 m a fração areia apresenta variabilidade aleatória na área de floresta.

Verificou-se que em média o alcance estimado para as frações textural da profundidade de 0,0-0,2 m é menor que aqueles da profundidade de 0,4-0,6 m (Tabela 8). Esses resultados são esperados, uma vez que a camada superficial do solo está mais sujeita a sofrer com os processos deposicionais e erosionais, mesmo em microvariações do relevo (MARQUES JUNIOR, 1995), causando maior variabilidade espacial do atributo do solo. Em ordem decrescente, os maiores valores de alcances foram encontrados para o silte e argila, com alcance de 45 e 36 m na profundidade de 0,4-0,60 m e para o silte da profundidade de 0,0-0,20 m, com alcance de 31 m, a areia e a argila nessa profundidade, no entanto, apresentaram alcances de 20 e 26 m, respectivamente (Tabela 8).

A análise do grau de dependência espacial (GDE) proposta por Cambardella *et al.* (1994) mostra que há forte dependência espacial da textura na profundidade de 0,0-0,2 m, com exceção apenas da areia que mostrou moderada dependência espacial. Todavia, na profundidade de 0,4-0,6 m a textura apresentou moderada dependência espacial.

De acordo com os mapas do modelo digital de elevação (MDE) da área de estudo foi conferido um formato de relevo côncavo, mas, com perfil linear (Figuras 14). Os mapas de krigagem em conjunto o MDE possibilitaram analisar o comportamento dos atributos do solo em um ambiente cujo relevo apresenta variações pouco perceptíveis na área de floresta.

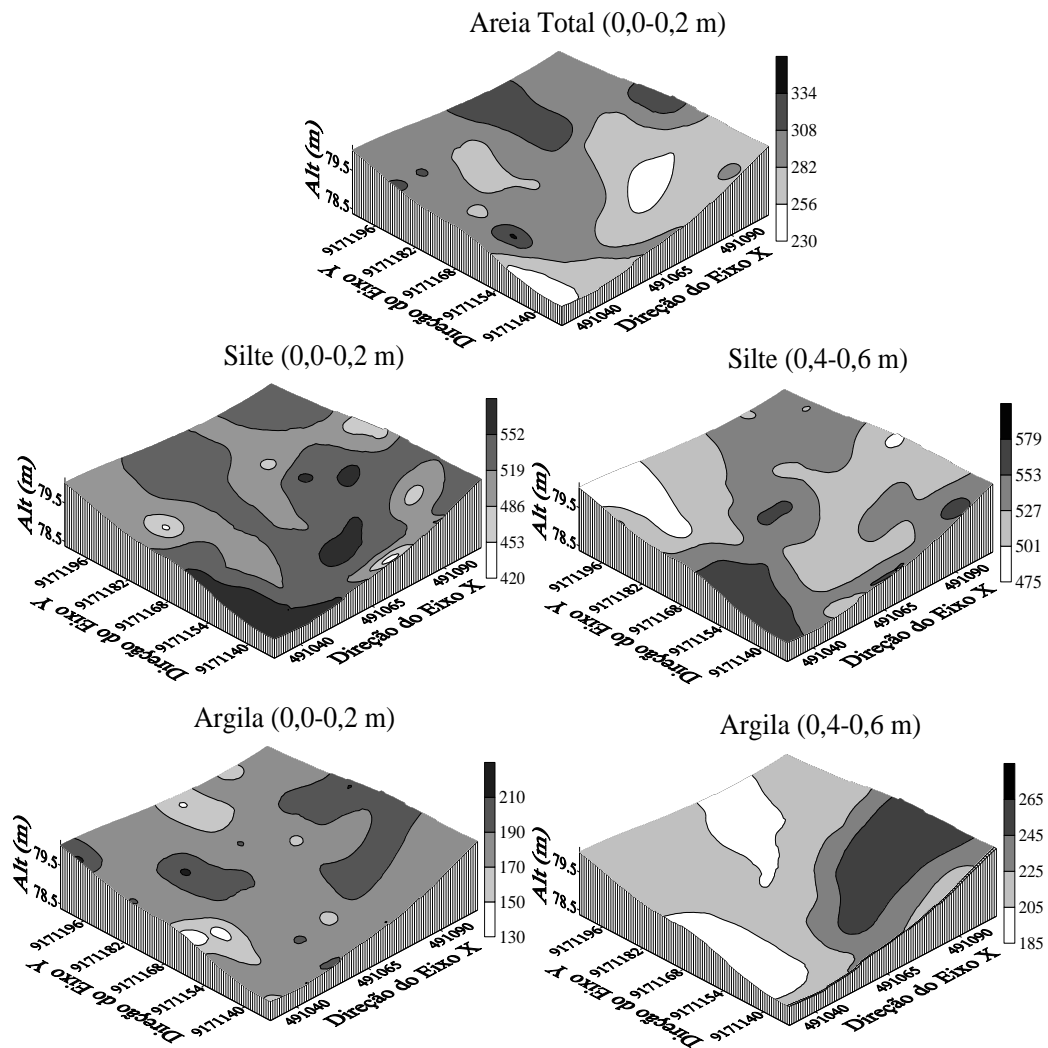


Figura 14. Mapas de krigagem das frações textural do solo nas profundidades de 0,0-0,2 m e 0,4-0,6 m.

De maneira geral, os maiores teores de areia concentram-se nas regiões altas do terreno, enquanto o silte e a argila nas regiões de menores elevações, tornando evidente a influência do relevo na variabilidade espacial das partículas primárias do solo como também relatado por

Volk, (2002). A ação de arraste e deposição das partículas do solo pode ser verificada através dos mapas de isolinhas (Figura 14), o qual mostra que o silte é transportado por um “canal” e depositado na porção mais rebaixado do terreno. Notou-se que o formato do relevo é atuante nos processos de arraste e deposição mesmo em profundidade, pois as regiões onde ocorrem os maiores e menores valores das frações textural do solo não mudam, quando a profundidade estudada passou de 0,0-0,20 m para 0,40-0,60 m (Figuras 14).

4.2.2. Densidade do solo, resistência do solo a penetração, macro e microporosidade, volume total de poros e umidade volumétrica do solo

Os resultados da estatística descritiva para os atributos do solo encontram-se na Tabela 9. Os valores da média e mediana são próximos para todas as variáveis estudadas, entretanto, alguns atributos apresentaram valores de coeficiente de assimetria maiores que 1, como a Ds na profundidade de 0,05-0,10 m e a Us (vol.) nas profundidades de 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m. Sobre este assunto, Sanchez *et al.* (2009) afirmaram que valores de assimetria e curtose menores que 1 demonstram tendência a normalidade. No entanto, os valores de média e mediana próximos, assegurando uma distribuição suficientemente simétrica e com caudas não muito alongadas viabilizando o uso das técnicas geoestatísticas (CARVALHO *et al.*, 2010), o que foi observado para os valores de média e mediana das variáveis do solo em estudo.

Os resultados do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov (KS), demonstram distribuição normal dos atributos, com exceção apenas da MaP e Us (vol.) na profundidade de 0,10-0,20 m. Pela classificação do coeficiente de variação (CV) proposta por Warrick e Nielsen (1980), constatou-se que as variáveis Ds, MiP e VTP apresentaram baixa variabilidade dos dados (CV <12%) (Tabela 9). Esses resultados são semelhantes aos encontrados por (LIMA *et al.*, 2009), avaliando a variabilidade espacial dos atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastagem e vegetação secundária em regeneração natural. Todas as demais variáveis, MaP, RP e Us (vol.) apresentaram moderada variabilidade dos dados (CV entre 12 e 60%).

Tabela 9. Estatística descritiva dos atributos físico-hídricos do solo nas diferentes profundidades avaliadas

Estatística Descritiva	Ds	RP	MaP	MiP	VTP	Us (vol.)
	Mg m ⁻³	MPa	----- m ³ m ⁻³ -----			
----- 0,0 – 0,05 m -----						
Média	1,15	0,77	0,14	0,37	0,51	0,28
Mediana	1,15	0,73	0,14	0,37	0,50	0,28
Máximo	1,32	1,49	0,21	0,41	0,57	0,38
Mínimo	0,97	0,30	0,09	0,33	0,44	0,20
¹ DP	0,07	0,24	2,50	1,89	2,83	3,51
Variância	0,005	0,06	6,25	3,57	8,04	12,33
² CV%	6,43	30,76	17,72	5,16	5,59	12,66
Assimetria	-0,13	0,51	0,58	0,08	-0,07	0,56
Curtose	0,09	0,30	0,18	-0,33	0,06	0,78
³ d	0,07*	0,06*	0,09*	0,08*	0,08*	0,07*
----- 0,05 – 0,10 m -----						
Média	1,20	0,77	0,14	0,37	0,51	0,26
Mediana	1,21	0,79	0,14	0,37	0,51	0,25
Máximo	1,34	1,32	0,21	0,40	0,56	0,36
Mínimo	0,90	0,30	0,08	0,33	0,47	0,20
¹ DP	0,10	0,22	2,93	1,68	2,29	3,54
Variância	0,009	0,05	8,56	2,83	5,25	12,50
² CV%	7,97	28,55	20,65	4,57	4,48	13,81
Assimetria	-1,10	0,16	0,44	-0,11	0,16	1,16
Curtose	1,40	0,07	-0,41	-0,46	-0,90	1,08
³ d	0,09*	0,08*	0,09*	0,07*	0,09*	0,07*
----- 0,10 – 0,20 m -----						
Média	1,26	0,85	0,13	0,37	0,50	0,24
Mediana	1,27	0,85	0,13	0,37	0,50	0,23
Máximo	1,44	1,52	0,21	0,39	0,59	0,35
Mínimo	0,99	0,22	0,08	0,33	0,45	0,18
¹ DP	0,10	0,31	2,57	1,41	2,78	3,77
Variância	0,009	0,09	6,62	1,99	7,73	14,19
² CV%	7,77	36,09	19,40	3,86	5,54	16,01
Assimetria	-0,46	0,09	0,67	-0,27	0,90	1,03
Curtose	0,29	-0,64	0,87	-0,27	1,08	1,17
³ d	0,06*	0,06*	0,10	0,08*	0,08*	0,10

Ds: densidade do solo; RP: resistência do solo a penetração; MaP: macroporosidade do solo; MiP: microporosidade do solo; VTP: volume total de poros; ¹DP: desvio padrão; ²CV: coeficiente de variação; ³d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov; * significativo a 5% de probabilidade.

Alguns atributos físicos do solo como densidade, porosidade e resistência do solo à penetração são tomados como referência da qualidade física do solo. Sobre este assunto Bicalho (2011) afirmou que os fatores que mais influenciam nos valores de Ds são o material

constituente do solo, o sistema de uso e manejo e tipo de cobertura vegetal. Campbell (1994) constatou que a D_s é um parâmetro que mostra uma correlação limitada com o crescimento das plantas, uma vez que, este atributo sofre influência dos seus constituintes, como a textura e matéria orgânica.

Os valores de D_s se mostraram inferiores a $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ (Tabela 9), considerado um valor crítico para solo de textura média e argilosa segundo Arshad *et al.* (1996), pois podem causar restrições ao desenvolvimento radicular das plantas. Essa menor D_s se deve provavelmente ao maior aporte de resíduos orgânicos em decomposição e também ao fato da floresta promover maior proteção aos fatores climáticos.

A resistência do solo à penetração (RP) é um parâmetro que avalia a capacidade do solo de resistir à penetração mecânica, e faz inferência sobre a penetração de raízes, apresentado estreita relação com alguns atributos do solo, como a D_s , textura e umidade. O valor de RP permaneceu constante nas duas primeiras profundidades avaliadas, com 0,77 MPa, alcançando 0,85 MPa na profundidade de 0,10-0,20 m. Esses valores se encontram muito abaixo do valor de 2,00 MPa que, de acordo com Tormena e Roloff (1996), são críticos e podem restringir o crescimento radicular das plantas.

De acordo com Alvarenga *et al.* (1996) e Assis e Lanças (2005), valores de MaP menores que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, imprime inadequada aeração para atender a necessidade do sistema radicular e as atividades dos microrganismos do solo. Os menores valores da MaP de 0,13 e MiP de $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, valores observados na profundidade de 0,10-0,20 m. permitem concluir que o solo da área de floresta apresenta condições favoráveis ao crescimento de raízes e também melhores condições de aeração e infiltração.

Na Tabela 10 são apresentados os parâmetros dos semivariogramas ajustados aos modelos teóricos que melhor descrevem o comportamento da variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo. Os resultados da validação cruzada (VC), com exceção

apenas da MaP na profundidade de 0,10-0,20 m que apresentou VC de 0,62, foram superiores a 0,70 o que mostra um bom desempenho dos semivariogramas e garante maior confiabilidade da estimativa da krigagem. Os resultados concordam com os coeficientes de determinação R^2 acima 0,83 significando que os semivariogramas estão bem ajustados (Tabelas 10).

Tabela 10. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas dos atributos físico-hídricos do solo nas diferentes profundidades avaliadas

Parâmetros	Ds	RP	MaP	MiP	VTP	Us (vol.)
	$g\ cm^{-3}$	MPa	-----%			
----- 0,0 – 0,05 m -----						
Modelo	Exp	Lin	Esf	Esf	Lin	Esf
Efeito Pepita	0,00036	-	3,0	1,8	-	3,8
Patamar	0,00468	-	6,3	3,7	-	12,7
Alcance (m)	36	-	45	38	-	45
$^1R^2$	0,98	-	0,98	0,96	-	0,99
$^2GDE\%$	7,7	EPP	47,6	48,6	EPP	29,9
3VC	0,71	-	0,70	0,78	-	0,82
----- 0,05 – 0,10 m -----						
Modelo	Expl	Esf	Exp	Lin	Esf	Exp
Efeito Pepita	0,0012	0,03	0,78	-	1,1	2,4
Patamar	0,0081	0,08	7,18	-	8,0	17,1
Alcance (m)	41	33	21	-	21	25
$^1R^2$	0,99	0,83	0,98	-	0,92	0,97
$^2GDE\%$	14,8	37,5	10,9	EPP	13,8	14,0
3VC	0,91	0,77	0,79	-	0,86	0,89
----- 0,10 – 0,20 m -----						
Modelo	Esf	Exp	Esf	Exp	Esf	Exp
Efeito Pepita	0,0028	0,01	1,9	0,6	3,2	0,7
Patamar	0,0074	0,08	7,6	1,7	6,9	10,1
Alcance (m)	33	31	34	44	41	30
$^1R^2$	0,98	0,95	0,98	0,94	0,99	0,97
$^2GDE\%$	37,8	12,5	25	35,3	46,4	6,9
3VC	0,84	0,72	0,62	0,75	0,73	0,70

Ds: densidade do solo; RP: resistência do solo a penetração; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; VTP: volume total de poros; Esf: Esférico; Exp: Exponencial; Lin: Linear; 1EPP : efeito pepita puro; R^2 : coeficiente de determinação; $GDE\%$: grau de dependência espacial e; VC: validação-cruzada.

Os resultados da análise geoestatística mostram que quase todos os atributos analisados apresentaram estrutura de dependência espacial. Para tais variáveis com estrutura de dependência, ajustaram-se unanimemente os modelos esférico e exponencial, concordando

com vários outros resultados que indicam que são estes os modelos que mais se ajustam aos atributos do solo (BERTOLANI e VIEIRA, 2001; SOUZA *et al.*, 2004; LÓPEZ *et al.*, 2008).

Os atributos RP e o VTP na profundidade de 0,0-0,05 m e MiP na profundidade de 0,05-0,10 m, apresentaram efeito pepita puro, ou seja, os valores desses atributos são independentes da distância que os separa (VIEIRA, 2000).

O efeito pepita consiste de uma medida do semivariograma que indica a variabilidade dos dados não explicada pelo semivariograma, que pode ser devida a erros de medição e microvariações não detectadas, considerando a distância de amostragem utilizada (ABREU *et al.*, 2003). A proporção do efeito pepita sobre o patamar indica o grau de dependência espacial da variável, o qual foi classificado por Cambardella *et al.* (1994) como forte dependência (GDE $\leq 25\%$), moderada dependência (GDE entre 25 e 75%) e fraca dependência (GDE $> 75\%$). Dessa forma, os atributos que apresentaram GDE moderada foram a MaP, e MiP e Us (vol.) na profundidade de 0,0-0,05 m, RP da profundidade de 0,05-0,10 m e Ds, MiP e VTP da profundidade de 0,10-0,20 m. Os demais atributos apresentaram forte dependência (Tabelas 10). Quanto ao alcance, os atributos na profundidade de 0,0-0,05 m apresentaram os maiores alcances, entre 36 e 45 m, enquanto na profundidade de 0,05-0,10 m os atributos MaP, VTP e Us (vol.) tiveram alcance de 21; 21 e 25 m, respectivamente.

Os mapas da distribuição espacial dos atributos do solo permitiu visualizar as correlações existentes entre os atributos do solo e também dos atributos com a posição na paisagem. Nesse sentido, pôde-se observar que o perfil linear do relevo que condiciona uma característica mais uniforme, refletiu na menor variabilidade espacial dos atributos do solo, o que significa dizer que as variações dos valores desses atributos são sucedidas a distâncias maiores como mostra as Figuras 15, 16 e 17. Avaliando a interferência da pedoforma na variabilidade de alguns atributos físicos e hídricos de um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar, Souza *et al.* (2004b) encontraram menor variabilidade no formato linear do relevo.

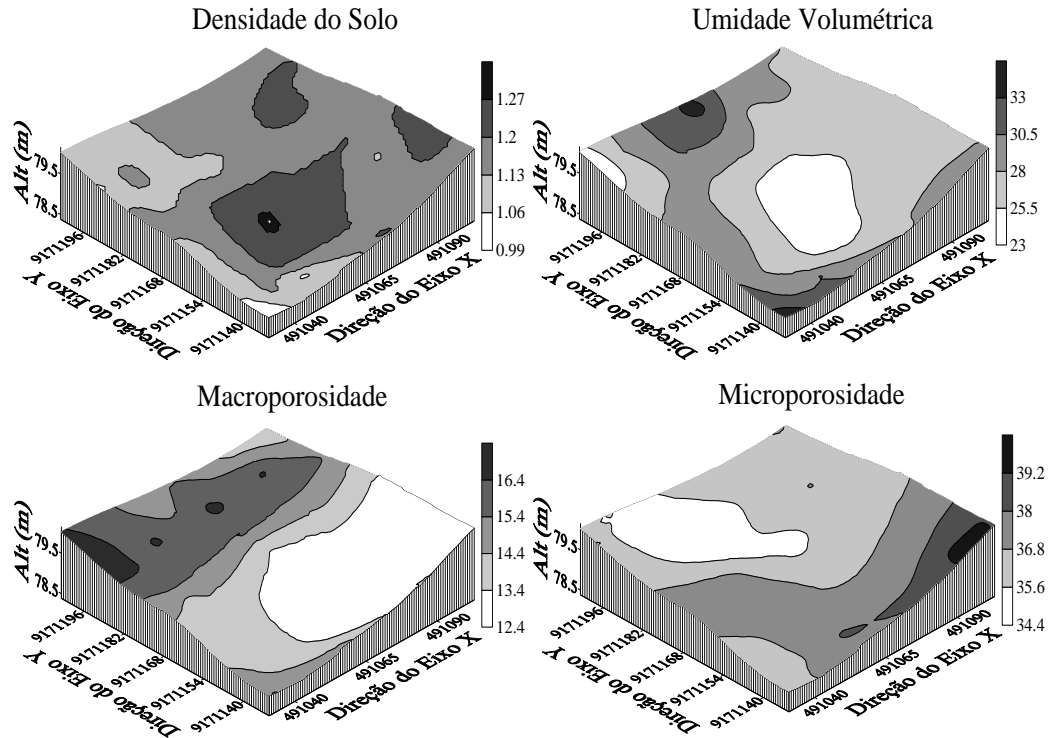


Figura 15. Mapas de krigagem dos atributos densidade do solo, umidade volumétrica do solo, macroporosidade e microporosidade na profundidade de 0,0-0,05 m.

As informações geradas pelos mapas apresentam claramente as correlações das variáveis do solo em estudo. Na qual se podem destacar as regiões em tom mais escuro que apresentam os maiores valores de D_s e RP , em contrapartida, a partir da região direita dos mapas até a região central e inferior são encontrados os menores valores de MaP e VTP , e maiores valores de MiP nos mapas da profundidade de 0,05-0,10 m (Figura 16). A U_s (vol) ocorre inversamente proporcional aos valores de D_s e RP (Figuras 16 e 17). A RP é, por sua vez, reflexo da maior D_s nas diferentes profundidades de estudo. Corroborando com diversos autores que afirmam que a RP é proporcional a D_s (CUNHA *et al.*, 2002; SOUZA *et al.*, 2006; BERGAMIN *et al.*, 2010 e IORI *et al.*, 2012).

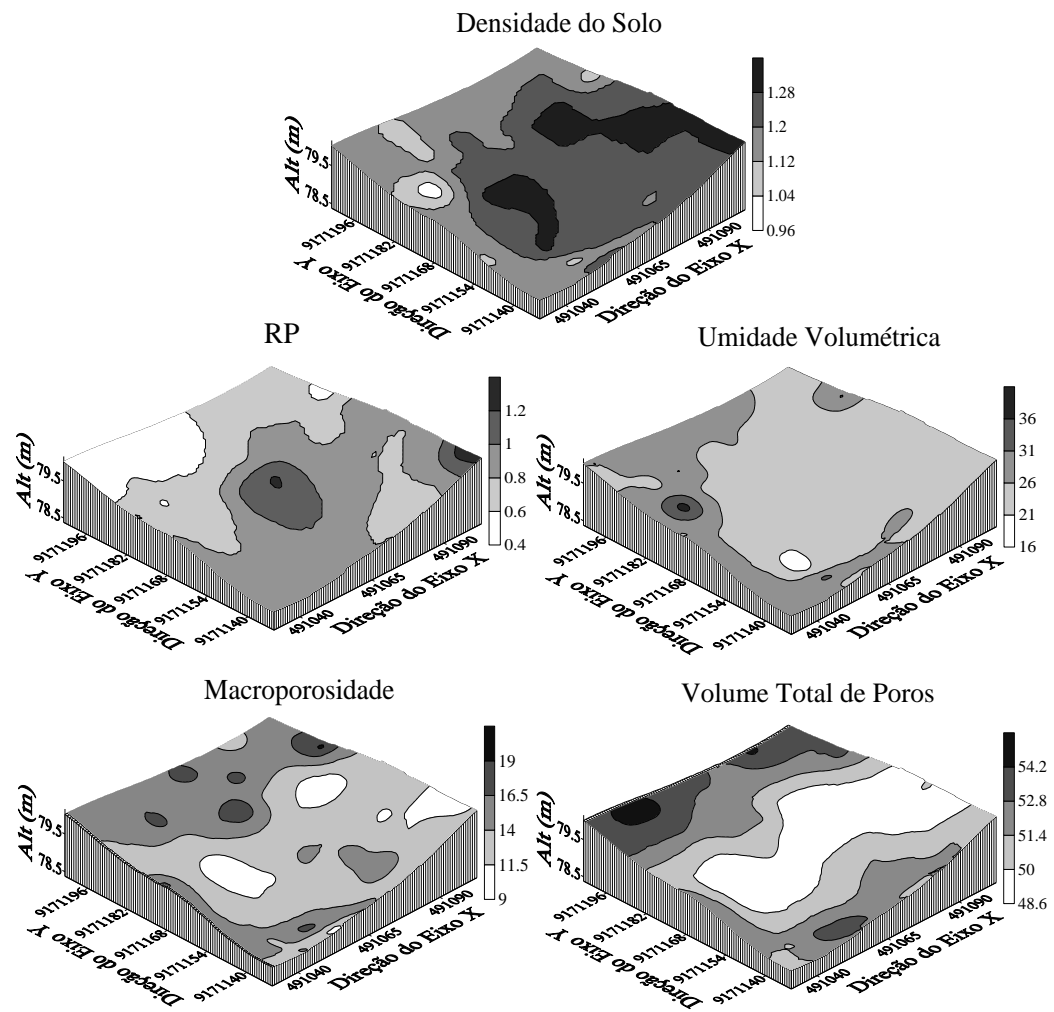


Figura 16. Mapas de krigagem dos atributos físicos densidade do solo, resistência do solo à penetração (RP), umidade volumétrica do solo, macroporosidade e volume total de poros na profundidade de 0,05-0,10 m.

assimetria e curtose são sensíveis a valores extremos de forma que um único valor pode exercer grande influência nos seus resultados.

Os resultados do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov para os índices da estabilidade de agregados demonstraram que apenas o DMG e DMP na profundidade de 0,0-0,05 m e DMP, Agr.>2 mm e Agr.<2 mm da profundidade de 0,10-0,20 m, apresentaram distribuição normal dos dados. Para os atributos COT, MOS e Est C da profundidade de 0,0-0,05 m o teste de normalidade foi não significativos, enquanto os demais atributos apresentaram significância ao teste de normalidade (Tabela 11).

Contudo, a condição de normalidade não é uma exigência da geoestatística, é conveniente apenas que a média e a variabilidade dos dados não sejam constantes em toda a área de estudo, e assim, ocorra estacionaridade, necessária ao uso da geoestatística (VIEIRA, 2000), o que foi observado por meio dos indicadores de tendência.

De acordo com a classificação do CV proposta por Warrick e Nielsen (1980) as variáveis DMG e Agr.<2 mm nas diferentes profundidades, Agr.>2 mm das profundidades 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m e também o DMP na profundidade de 0,10-0,20 m apresentaram moderada variabilidade, enquanto nas demais profundidades os índices da estabilidade de agregados foram classificados como de baixa variabilidade (Tabela 11).

Os resultados do CV apontaram baixa variabilidade dos atributos COT, MOS e Est C, com valores menores que 10%, resultados coerentes com a pequena amplitude dos valores máximo e mínimo desses atributos. Todavia, esses resultados diferiram dos encontrados por Vieira *et al.* (2011) e Chig *et al.* (2008) que encontraram para o COT e MOS moderada variabilidade.

Tabela 11. Estatística descritiva dos índices da estabilidade de agregados do solo, carbono orgânico total, matéria orgânica e estoque de carbono do solo nas diferentes profundidades

Estatística Descritiva	DMG	DMP	>2 mm	<2 mm	COT	MOS	Est C
	mm		%		g kg ⁻¹		Mg ha ⁻¹
----- 0,0 – 0,05 m -----							
Média	2,58	3,11	90,89	9,22	29,94	51,61	20,51
Mediana	2,64	3,13	91,68	8,32	29,84	51,45	20,62
Máximo	3,30	3,34	99,31	22,26	35,10	60,50	25,90
Mínimo	1,68	2,73	77,74	2,32	25,17	43,39	17,11
¹ DP	0,37	0,12	4,64	4,52	1,57	2,71	1,67
Variância	0,13	0,02	21,57	20,45	2,47	7,34	2,80
² CV%	13,82	3,99	5,11	49,05	5,25	5,25	8,16
Assimetria	- 0,49	- 0,74	- 0,82	0,91	0,58	0,57	0,49
Curtose	- 0,06	0,56	0,53	0,63	3,32	3,32	0,48
³ d	0,08*	0,07*	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12
----- 0,05 – 0,10 m -----							
Média	2,23	2,90	81,66	18,34	25,90	44,65	19,32
Mediana	2,31	2,97	84,41	15,59	25,87	44,60	19,34
Máximo	3,15	3,30	98,02	55,14	30,11	51,91	24,30
Mínimo	1,14	2,15	49,86	1,98	21,35	36,80	15,48
¹ DP	0,47	0,25	10,77	10,77	1,98	3,41	1,75
Variância	0,22	0,06	115,95	115,95	3,91	11,63	3,05
² CV%	20,90	8,80	13,19	58,72	7,64	7,64	9,04
Assimetria	- 0,43	- 0,81	- 0,86	0,86	0,03	0,03	0,20
Curtose	- 0,32	0,14	0,25	0,25	- 0,25	- 0,25	- 0,10
³ d	0,10	0,16	0,13	0,13	0,06*	0,06*	0,05*
----- 0,10 – 0,20 m -----							
Média	1,64	2,49	65,06	34,94	23,94	41,28	18,38
Mediana	1,51	2,44	62,13	37,87	23,80	41,03	18,60
Máximo	2,98	3,21	93,54	70,47	27,62	47,61	21,50
Mínimo	0,56	1,59	29,53	6,46	21,11	36,39	15,39
¹ DP	0,59	0,41	16,55	16,55	1,36	2,34	1,46
Variância	0,35	0,17	273,99	273,99	1,85	5,48	2,12
² CV%	35,76	16,68	25,44	47,37	5,67	5,67	7,92
Assimetria	0,37	- 0,10	- 0,02	0,02	0,49	0,49	- 0,25
Curtose	- 0,91	- 0,84	- 0,90	- 0,90	0,33	0,33	- 0,45
³ d	0,11	0,09*	0,09*	0,09*	0,07*	0,07*	0,08*

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; >2 mm: % de agregados na classe de diâmetro maior que 2 mm; <2 mm: % de agregados na classe de diâmetro menor que 2 mm; COT: carbono orgânico total; MOS: matéria orgânica do solo; Est C: estoque de carbono do solo ¹DP: desvio padrão; ²CV: coeficiente de variação; ³d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, * significativo a 5% de probabilidade.

Os valores médios apontam que a estabilidade de agregados foi maior quando menor a profundidade, ou seja, na camada de 0,0-0,05 m o DMG, DMP e Agr.>2 mm obtiveram, respectivamente, valores de 2,58; 3,11 mm e 90,89%, superiores às profundidades subjacentes. Das profundidades avaliadas, a menor estabilidade de agregados foi encontrada na camada de 0,10-0,20 m, corroborando com Wendling *et al.* (2012) que também

encontraram decréscimo da agregação do solo em áreas nativas com o aumento da profundidade avaliada.

De acordo com Kiehl (1979), para que haja formação dos agregados são necessárias duas condições fundamentais: a primeira, que uma força mecânica qualquer, provoque a aproximação das partículas do solo; a segunda condição é a de que, após o contato das partículas, haja um agente cimentante para consolidar essa união, gerando os agregados. Contudo, em se tratando de área de floresta o aporte de resíduos vegetais proporciona um menor adensamento do solo, todavia, os teores COT provavelmente favoreceram a consolidação dos agregados (KIEHL, 1979).

Verificou-se que a agregação do solo são condizentes com os teores de matéria orgânica do solo (MOS), que mostraram teores elevados na camada superficial em relação as camadas subjacentes, com valores de 51,61; 44,65 e 41,28 g kg⁻¹, nas profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (Tabela 11). Sobre este assunto, Vieira *et al.* (2011) comentaram sobre os diferentes atributos que influenciaram no estado de agregação do solo, e ressaltaram a textura, os óxidos de ferro e alumínio, o teor de matéria orgânica, a atividade microbiana e o manejo do solo como principais responsáveis pela agregação do solo.

Referente à análise geoestatística, todos os atributos do solo apresentaram dependência espacial, com melhores ajustes realizados aos modelos exponencial e esférico (Tabela 12). Avaliando a variabilidade espacial da estabilidade de agregados do solo e MOS, Souza *et al.* (2004b) e Vieira *et al.* (2011) encontraram os melhores ajustes para os modelos esférico e exponencial.

De modo geral, os resultados da validação cruzada foram satisfatórios para quase todos os índices da estabilidade de agregados do solo, com valores superiores a 0,70, com exceção do DMP, Agr.>2 mm e Agr.<2 mm na profundidade de 0,05-0,10 m que obtiveram resultados

da validação cruzada entre 0,63 e 0,67. De igual modo, o COT e MOS na profundidade de 0,10-0,20 m apresentaram VC de 0,67 e 0,65, respectivamente (Tabela 12).

Tabela 12. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais dos índices da estabilidade de agregados do solo, carbono orgânico total, matéria orgânica e estoque de carbono do solo nas diferentes profundidades

Parâmetros	DMG	DMP	>2 mm	<2 mm	COT	MOS	Est C
	mm		%		g kg ⁻¹		Mg ha ⁻¹
----- 0,0 – 0,05 m -----							
Modelo	Esf	Esf	Exp	Exp	Esf	Esf	Exp
Efeito Pepita	0,03	0,005	2,4	1,9	1,1	3,57	0,29
Patamar	0,11	0,012	17,6	16,0	2,7	7,87	2,65
Alcance (m)	33	40	32	25	47	49	21
¹ R ²	0,99	0,99	0,98	0,96	0,92	0,92	0,98
² GDE%	27,3	41,7	13,6	11,9	41	46	11
³ VC	0,91	0,95	0,86	0,78	0,99	0,99	0,84
----- 0,05 – 0,10 m -----							
Modelo	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Esf
Efeito Pepita	0,03	0,01	14,9	16,3	0,46	1,45	0,51
Patamar	0,21	0,07	122,9	125,8	3,87	11,53	2,93
Alcance (m)	21	27	27	30	24	24	20
¹ R ²	0,82	0,98	0,96	0,96	0,78	0,79	0,71
² GDE%	14,3	14,3	12,1	13,0	12	13	17
³ VC	0,79	0,67	0,63	0,64	0,75	0,75	0,96
----- 0,10 – 0,20 m -----							
Modelo	Esf	Esf	Esf	Exp	Exp	Exp	Esf
Efeito Pepita	0,09	0,06	36,2	30,7	0,25	0,73	0,78
Patamar	0,33	0,15	261,0	261,0	1,74	5,18	1,78
Alcance (m)	37	33	35	34	33	33	32
¹ R ²	0,99	0,96	0,99	0,99	0,98	0,98	0,94
² GDE%	27,3	40,0	13,9	11,8	14	14	44
³ VC	0,94	0,99	0,94	0,92	0,67	0,65	0,96

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; >2 mm: % de agregados na classe de diâmetro maior que 2 mm; <2 mm: % de agregados na classe de diâmetro menor que 2 mm; COT: carbono orgânico total; MOS: matéria orgânica do solo; Est C: estoque de carbono do solo; Esf: Esférico; Exp: Exponencial; Lin: Linear; ¹EPP: efeito pepita puro; R²: coeficiente de determinação; GDE%: grau de dependência espacial e; VC: validação cruzada.

A análise do GDE (CAMBARDELLA *et al.*, 1985) do DMG nas profundidades de 0,0-0,05 e 0,10-0,20 m apresentaram valores iguais de GDE de 27,3%. Nas mesmas profundidades o DMP apresentou GDE de 41,7% e 40%, respectivamente. Esses índices foram classificados como moderada dependência espacial, enquanto os demais índices apresentaram forte dependência espacial (Tabelas 12).

Para os atributos COT, MOS e Est C, a condição de forte dependência espacial foi encontrada para o COT com GDE de 12% e 14% e para a MOS com GDE de 13% e 14%, respectivamente às profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (Tabela 12).

Quanto ao alcance da dependência espacial, o maior e menor valor de alcance foi de 40 e 21 m, encontrados para o DMP nas profundidades de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m, respectivamente. Por outro lado, os valores de alcance foram superiores a 30 m para os atributos COT e MOS, chegando a 49 m para a MOS na profundidade de 0,0-0,05 m (Tabela 12). Os menores valores de alcance foram verificados para o Est C em todas as profundidades, com limites de alcance de 21, 20 e 32 m, nas profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente, demonstrando ser o atributo com maiores variações ao longo da área de floresta.

O alcance é um parâmetro importante do semivariograma e indica o raio da máxima distância em que os pontos estão correlacionados. Em planejamento amostral o alcance pode ser usado como subsídio para a tomada de decisão da densidade amostral a ser utilizada (SOUZA *et al.*, 2003; MONTANARI *et al.*, 2005). De modo geral, para menores valores de alcance seria necessária uma maior densidade amostral e vice-versa. Nesse sentido, os resultados do alcance dos atributos físicos e químicos do solo dessa área de estudo exigiria uma baixa densidade amostral para a obtenção de amostras compostas de solo.

Os mapas de krigagem dos índices da estabilidade de agregados do solo são apresentados nas Figuras 18, 19 e 20. O DMP e Agr.>2 mm apresentam uma distribuição espacial semelhantes na área de estudo, reforçando o pressuposto que o DMP é o parâmetro mais representativo da maior agregação do solo. É provável que o menor efeito das enxurradas no topo do terreno favoreça a manutenção da estabilidade de agregados do solo. Contudo, outros fatores como os elevados teores COT, silte e argila na mesma região dos

mapas (Figura 13) demonstram a dinâmica dos atributos na maior agregação do solo nessa área de estudo, como salientaram Longo *et al.* (1999) e Vieira *et al.* (2011).

Verificou-se uma correlação proporcional da MaP com os índices da estabilidade de agregados do solo. Os mapas desses atributos apontaram que as maiores agregações do solo coincidem com os maiores valores de MaP e VTP (Figuras 15, 16 e 17). Esses resultados corroboram com os estudos de Lima *et al.* (2006) e Wendling *et al.* (2012) que encontraram correlações proporcionais dos valores de DMP com o maior volume de MaP.

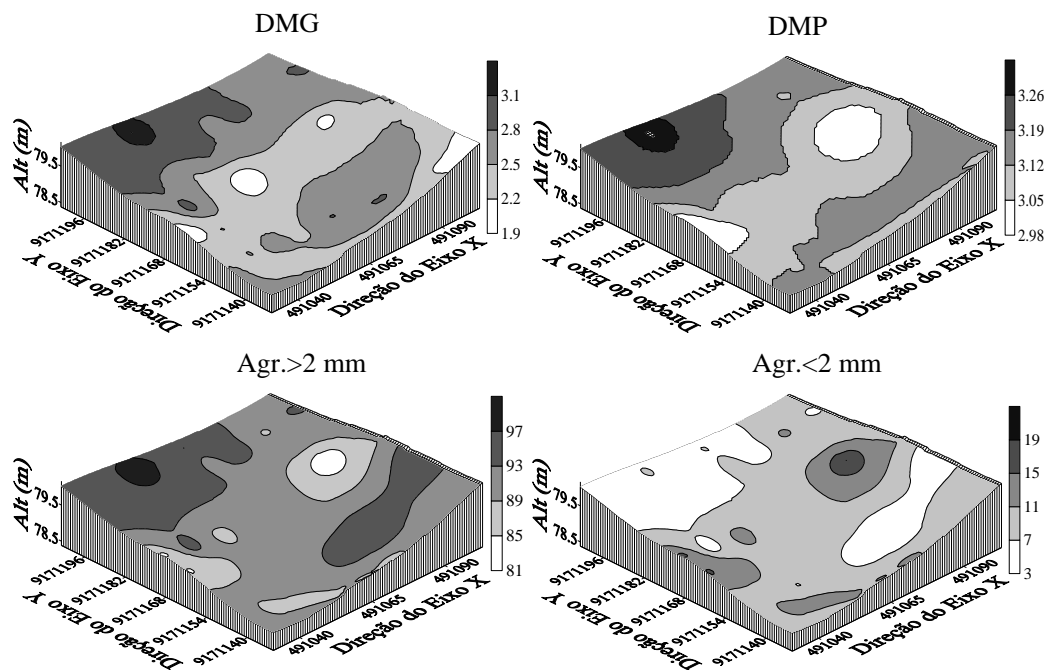


Figura 18. Mapas de krigagem dos índices diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), % de agregados maiores que 2 mm (Agr.>2 mm), % de agregados menores que 2 mm (Agr.<2 mm) na profundidade de 0,0-0,05 m

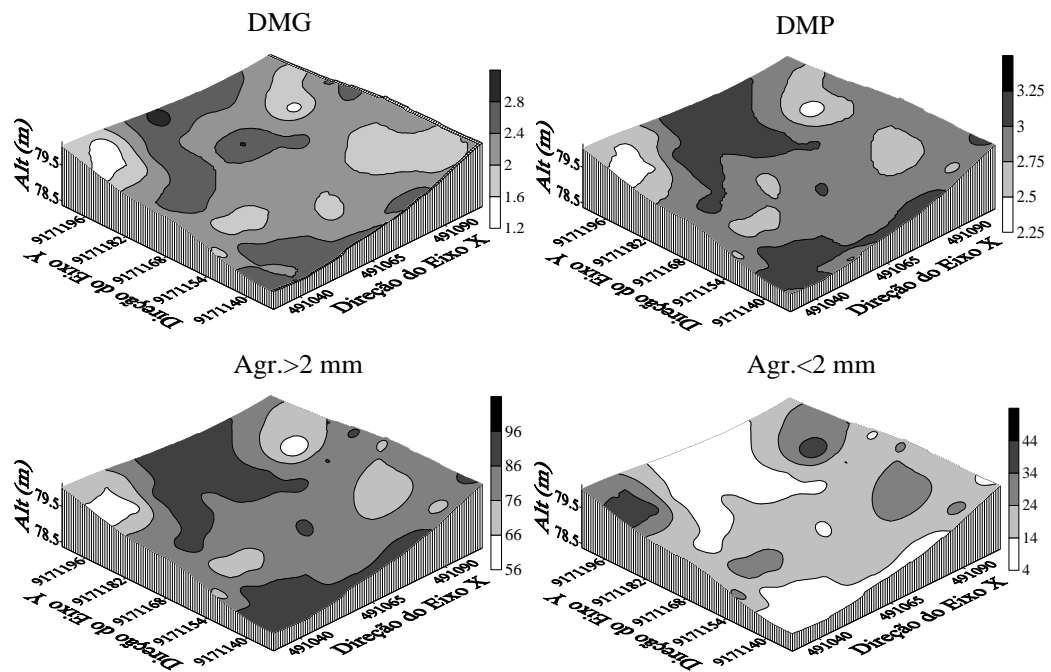


Figura 19. Mapas de krigagem dos índices diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), % de agregados maiores que 2 mm (Agr.>2 mm), % de agregados menores que 2 mm (Agr.<2 mm) na profundidade de 0,05-0,10 m

Com relação a estabilidade de agregados e teor de carbono orgânico do solo, notou-se que a agregação é tanto maior quanto mais alto o teor de COT e é indicadas pelo tom de cor mais escuros localizados no lado esquerdo dos mapas de COT e estabilidade de agregados (Figura 21).

De acordo com Passos *et al.* (2007) a matéria orgânica é composta de constituintes lábeis e estáveis, os constituintes estáveis representados por substâncias húmicas e outras macromoléculas estão fisicamente protegidos em complexo organominerais ou retidos no interior dos agregados podendo persistir no solo por centenas de ano. Por outro lado, os constituintes lábeis são aqueles formados por resíduos de planta em decomposição, substâncias não húmicas não ligadas aos constituintes minerais, formas solúveis em água entre outros (ROSCOE *et al.*, 2006), e que pode ser facilmente transportado pela enxurrada, é provável que o acumulo desse material crie um “efeito borrão” que não favorecem a formação e estabilização de agregados do solo nessa região do mapa.

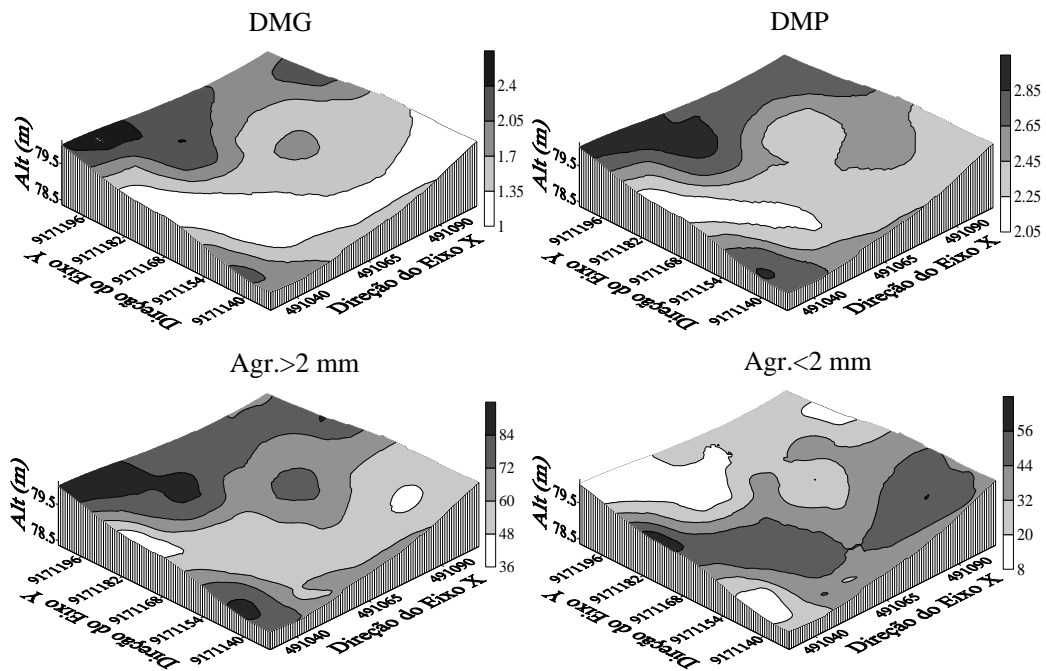


Figura 20. Mapas de krigagem dos índices diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), % de agregados maiores que 2 mm (Agr.>2 mm), % de agregados menores que 2 mm (Agr.<2 mm) na profundidade de 0,10-0,20 m

O Est C é uma propriedade do solo que leva em conta em sua estimativa o COT e D_s , de modo que quanto maior for a densidade do solo e maior o teor de carbono orgânico do solo maior será o Est C desse solo. Na área de floresta tanto a densidade do solo como o carbono orgânico apresentaram dependência espacial, dessa maneira, o estoque de carbono seguiu uma distribuição espacial dinâmica produto da interação dos atributos que determinam os seus valores ao longo da área de estudo (Figura 21).

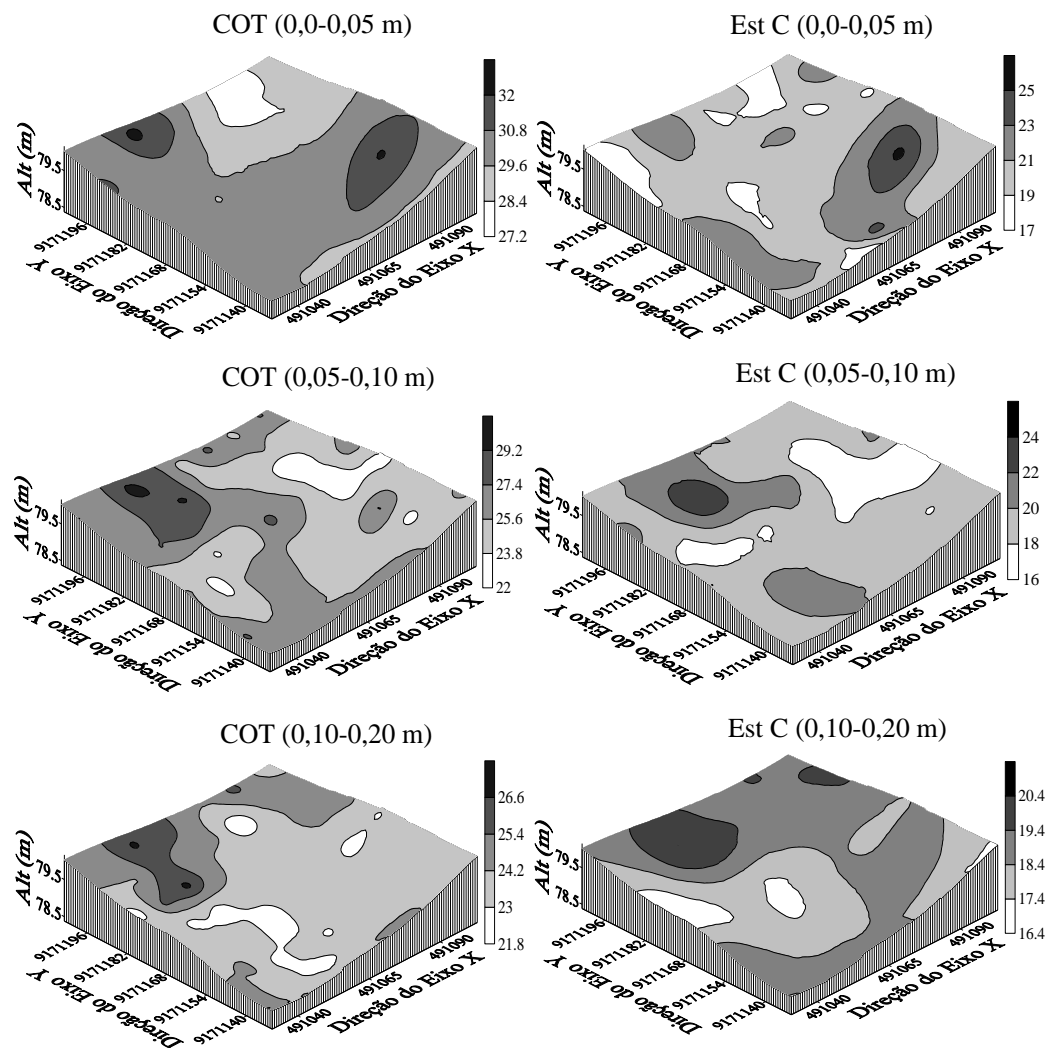


Figura 21. Mapas de krigagem dos atributos carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono do solo (Est C) nas profundidades de 0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m.

5. CONCLUSÕES

Os atributos do solo de campo natural apresentam maiores variações em menores distâncias, imposta pelas consecutivas variações na forma do relevo e, possivelmente, por outros fatores, como queimadas da cobertura vegetal, vegetação e material de origem.

Os solos de campo natural apresentam valores de Ds, RP e MaP que podem causar limitações ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

A estabilidade de agregados do solo e dos atributos carbono orgânico e o estoque de carbono do solo apresentam poucas diferenças entre os diferentes ambientes de estudo.

A maioria dos atributos do solo apresentou dependência espacial, sendo os modelos esférico e exponencial que melhor se ajustaram aos semivariogramas.

O modelo esférico apresentou predominância nos ajustes dos semivariogramas sobre os outros modelos testados.

A dependência espacial dos atributos do solo aos elementos do relevo (pedoforma) retrata a importância da pedoforma para transferência de informações concernente à variabilidade espacial.

A técnica da krigagem mostra-se uma importante ferramenta na compreensão da dinâmica dos atributos do solo.

6. REFERÊNCIAS

- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; DALVAN, V.R.S. REINERT, J.; BLUME, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. *Ciênc. Rural*, Santa Maria-RS, v.33, n.2, p.275-282, 2003.
- ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa-MG, v.20, p.319-326, 1996.
- AQUINO, F.G.; PINTO, J.R.R.; RIBEIRO, J.F. Evolução histórica do conceito de savana e a sua relação com o Cerrado brasileiro. *Com Ciência. Revista Eletrônica de Jornalismo Científico*. 2009. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=42&id=505&print=true/>>. Acesso em: 06 julho 2012
- ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa-MG, v.28 p.337-345, 2004.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa-MG, v.31, p.1099-1108, 2007.
- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison, Soil Science Society of America, p.123-141, 1996.
- ASCE. Review of geostatistics in geohydrology. In: *Basics concepts*. *Journal of Hydraulic Engineering*, New York, v.116, n.5, p.612-632, 1990.
- ASSIS, R.L. & LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa-MG, v.29 p.515-522, 2005.
- BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Compactação em um latossolo vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. *Rev. Bras. Ci. Solo*. Viçosa-MG, v.34, p.681-691, 2010.
- BERTOLANI, F.C.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho Amarelo, sob diferentes usos. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa-MG, v.25, p.987-995, 2001.
- BICALHO, I.M. Um estudo da densidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo. *Enciclopédia biosfera*. Goiânia-GO, v.7, n.12; p. 1-9, 2011.
- BRADFORD, J.M. Penetrability. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.463-478.
- BRADY, N.C. & WEIL, R.R. *The nature and properties of soils*. 13.ed. New Jersey, Upper Saddle River, Prentice Hall, 2002. 960p.

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

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

BURROUGH, P.A.; McDONNEL, R.A. Principles of geographical information systems. Oxford University Press, Oxford, UK., 2000.

CAJAZEIRA, J.P. e ASSIS JUNIOR, R.N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no Estado do Ceará. Rev. Cienc. Agron., Fortaleza-CE, v. 42, n. 2, p. 258-267, 2011.

CAMARGO, E.C.G. Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geostatísticos (krigagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (spring). 1997. 153f. Dissertação (Mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1997.

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 lowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J., v. 58, p.1501-1511, 1994.

CAMPBELL, D. J. Determination and use of soil bulk density in relation to soil compaction. In: SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. van (Ed.). Soil compaction in crop production. Amsterdam: Elsevier, p. 113-139, 1994.

CAMPOS, M.C.C. Pedogeomorfologia aplicada a ambientes amazônicos do médio Rio Madeira. 2009. 242 f. Tese (Doutorado em Ciências Solo). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Pernambuco, 2009.

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. Rev. Ciênc. Agron., Fortaleza-CE, v.38, n.4, p.350-359, 2007.

CAMPOS, M.C.C.; OLIVEIRA, IA.; SANTOS, L.A.C.; AQUINO, R.E.; SOARES, M.D.R. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. Rev. Agro@mbiente On-line, Boa Vista-RR, v.6, n.1, p.09-16, 2012b.

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. Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient., Curitiba-PR, v.9, n.1, p.11-18, 2011.

CAMPOS, M.C.C.; RIBEIRO, M R.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO FILHO, M.R.; SOUZA, R.V.C.C.; ALMEIDA, M.C. Topossequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. Acta Amaz. Manaus-AM, vol. 42(3), p.387-398, 2012a.

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. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa-MG, v.35, p.613-622, 2011.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, A.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa-MG, v.33, p.147-157, 2009.

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

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

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa-MG, v.22, p.527-538, 1998.

CHAVES, L.H.G.; FARIAS, C.H.A. Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Rev. Cienc. Agron.*, Fortaleza-CE, v.40, p.211-218, 2009.

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

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: NOVAIS, R.F et al. (Eds.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. vol.1, p.249-290, 2003.

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

CORÁ, J.E.; BERALDO, 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. *Eng. Agríc., Jaboticabal-SP*, v.26, p.374-387, 2006.

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: Cienc. Agra.*, Londrina-PR, v. 30, n. 1, p. 81-94, 2009.

CUNHA, J.P.A.R.; VIEIRA, L.B.; MAGALHÃES, A.C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. *Eng. na Agric.*, v.10, n.1, p.1-7, 2002.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; GONÇALVES, A.C.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e da taxa de estratificação de carbono orgânico do solo em um Latossolo Vermelho eutroférico. *Cienc. Rural*, Santa Maria-RS, v.36, n.6, p.1773-1779, 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.

FIETZ, C.R.; FOLEGATTI, M.V.; VIEIRA, S.R.; FRIZZONE, J.A. Efeito da variabilidade do armazenamento de água no solo na qualidade da irrigação por aspersão. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, Campina Grande-PB, v.3, p.150-153, 1999.

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. *Ciencia Hoje*. Rio de Janeiro-RJ, 32:40-46, 2006.

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. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, Campina Grande-PB, v.11, n.4, p.427-435, 2007.

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

GOOVAERTS, P. *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford: Oxford University Press, 1997. 483 p.

IORI, P.; DIAS JÚNIOR, M.S.; SILVA, R.B. resistência do solo à penetração e ao cisalhamento em diversos usos do solo em áreas de preservação permanente. *Biosci. J.*, Uberlândia-MG, v.28, p.185-195, 2012.

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

KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.425-441.

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

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

KLEIN, V.A.; CAMARA, R.K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. *Rev. Bras. Ci. Solo*. Viçosa-MG, v.31, p.221-227, 2007.

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 Amarelo sob cultivo de pastagem e vegetação nativa. *Ciênc. Rural*, Santa Maria-RS, v.39, n.9, 2009.

LONGO, R.M.; ESPÍNDOLA, C.R.; RIBEIRO, A.Í. Modificações na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagens em áreas de cerrado e floresta amazônica. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, Campina Grande-PB, v.3, n.3, p.276-280, 1999.

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

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. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa-MG, v.31, p.591-599, 2007.

MARASCA, I.; OLIVEIRA, C.A.A.; GUIMARÃES, E.C.; CUNHA, J.P.A.R.; ASSIS, R.L.; PERIN, A.; MENEZES, L.A.S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e teor de água em sistema de plantio direto, na cultura da soja. *Biosci. J.*, Uberlândia-MG, v. 27, n. 2, p. 239-246, 2011.

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.

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

MELLO, G. Variabilidade espacial de atributos do solo em áreas intensamente cultivadas nas regiões de Jaboticabal e Monte Alto - SP/ Jaboticabal, 2002, 78 f. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2002.

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

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa-MG, v.27, p.1149-1159, 2003.

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

MIQUELONI, D.P.; BUENO, C.R.P. Análise multivariada e variabilidade espacial na estimativa da erodibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa-MG, v.35, p.2175-2182, 2011.

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-áçúcar. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília-DF, v.40, n.1, p.69-77, 2005.

PASSOS, R.R.; RUIZ, H.A.; CANTARUTTI, R.B.; MENDONÇA, E.S. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um latossolo vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa-MG, v.31, p.1109-1118, 2007.

RACHID JUNIOR, A.; URIBE-OPAZO, M.A.; SOUZA, E.G.; JOHANN, J.A. Variabilidade espacial e temporal de atributos químicos do solo e da produtividade da soja num sistema de agricultura de precisão. *Eng na Agric.*, Viçosa-MG, v.14, n.3, 156-169, 2006.

REDIN, M.; SANTOS, G.F.; MIGUEL, P.; DENEGA, G.L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E.L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Rural*, v.21, n.2, p.381-392, 2011.

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.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C., orgs. *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares*. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, p.17-41, 2006.

SANCHEZ, R.B.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T.; MARTINS FILHO, M.V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. *Bragantia*, Campinas-SP, v.68, p.1095-1103, 2009.

SILVA, A.P. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo. Piracicaba, 1988. 105p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. São Paulo, 1988.

SILVA, J.J.N.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA, Ê.F.F.; FONTES JÚNIOR, R.V.P.; SILVA, A.P.N. Variabilidade espacial de parâmetros de crescimento da mamoneira e de atributos físico-químicos em Neossolo. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, Campina Grande-PB, v.14, n.9, p.921-931, 2010.

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. *Rev. bras. Ci. Solo*, Viçosa-MG, v.32, p.2435-2441, 2008.

SIQUEIRA, G.M, Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos.. 2006, 163p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Agrônômico. Campinas, 2006.

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

SOUZA, C.K; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, G.T. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de um Latossolo em Jaboticabal, SP. Eng. Agríc., Jaboticabal-SP, v.23, p.486-495, 2003.

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

SOUZA, L.C. Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano. 1999. 77p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 1999.

SOUZA, L.S. Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. 162p. (Tese de Doutorado). Porto Alegre, 1992.

SOUZA, Z.M. Variabilidade espacial 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 JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; SÁENZ, C.M.S. spatial variability of aggregate stability in Latosols under sugarcane. Rev. Bras. Ci. Solo, Viçosa-MG, v.33, p.245-253, 2009.

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. Ciênc. Rural, Santa Maria-RS, v.36, n.1, 2006.

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. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande-PB, v.14, n.12, p.1250-1256, 2010.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J., PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v.39, p.491-499, 2004b.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; MOREIRA, L.F. Influência da pedofoma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. Irriga, Botucatu-SP, v. 9, n.1, p.1-11, 2004a.

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

TORMENA, C.A.; ROLLOF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. Rev. Bras. Ci. Solo. Viçosa-MG, v.20, p.333-339, 1996.

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.

VAUCLIN, M., VIEIRA, S.R., VACHAUD, G., NIELSEN, D.R., The use of cokriging with limited field soil observations. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 47, 175-184. 1983.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. IBGE, Rio de Janeiro, 1991. 124p.

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 Amaz.* Manaus-AM, vol.37, n.3, p.1-24. 2007.

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-SP, v. 70, n. 1, p.185-195, 2011.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-53.

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

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

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.

VOLK, L.B.S. Erosão hídrica relacionada às condições físicas de superfície e subsuperfície do solo, induzidas por formas de cultivo e de manejo dos resíduos culturais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 146p. (Tese de Mestrado).

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

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Advances in Soil Science*, v.3, p. 1-70, 1985.

WEBSTER, R. Statistics to support soil research and their presentation. *European Journal of Soil Science*, v.52, p.331- 340, 2001.

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

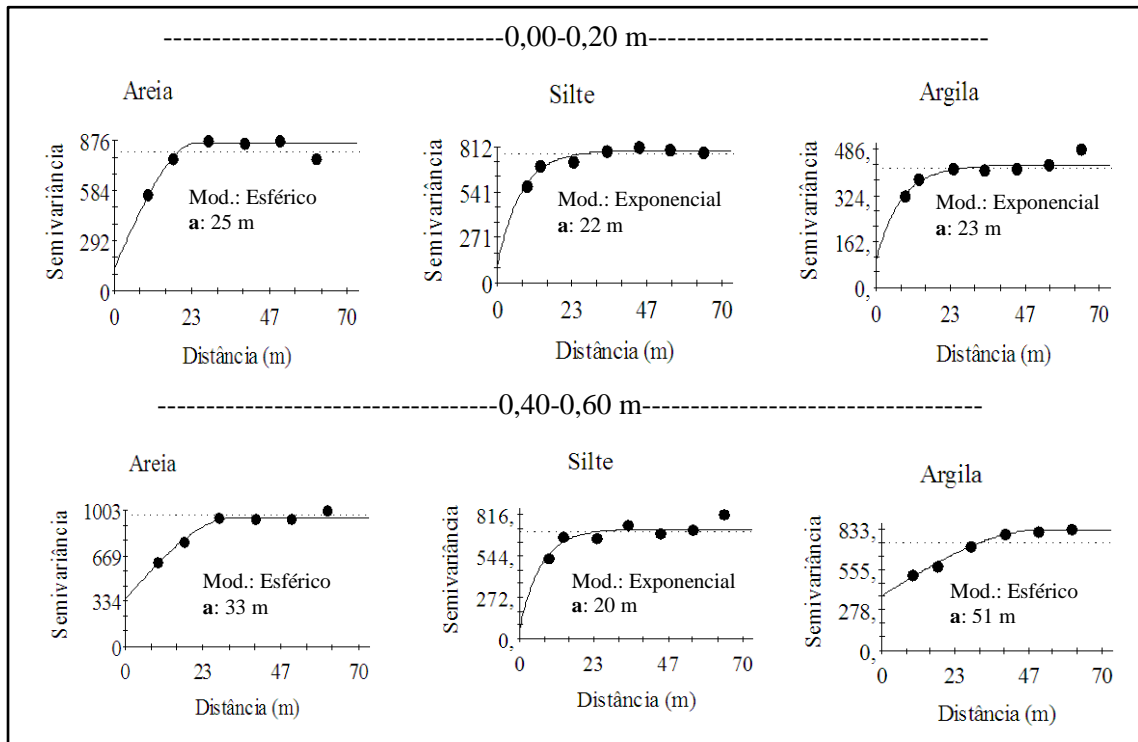
WELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Science Society of America Journal*. Madison, WI, v. 58, p. 175-180, 1994.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I.C.; OLIVEIRA, R.C.; BABATA, M.M.; BORGES E.N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. *Biosci. J.*, Uberlândia-MG, v.28, p.256-265, 2012.

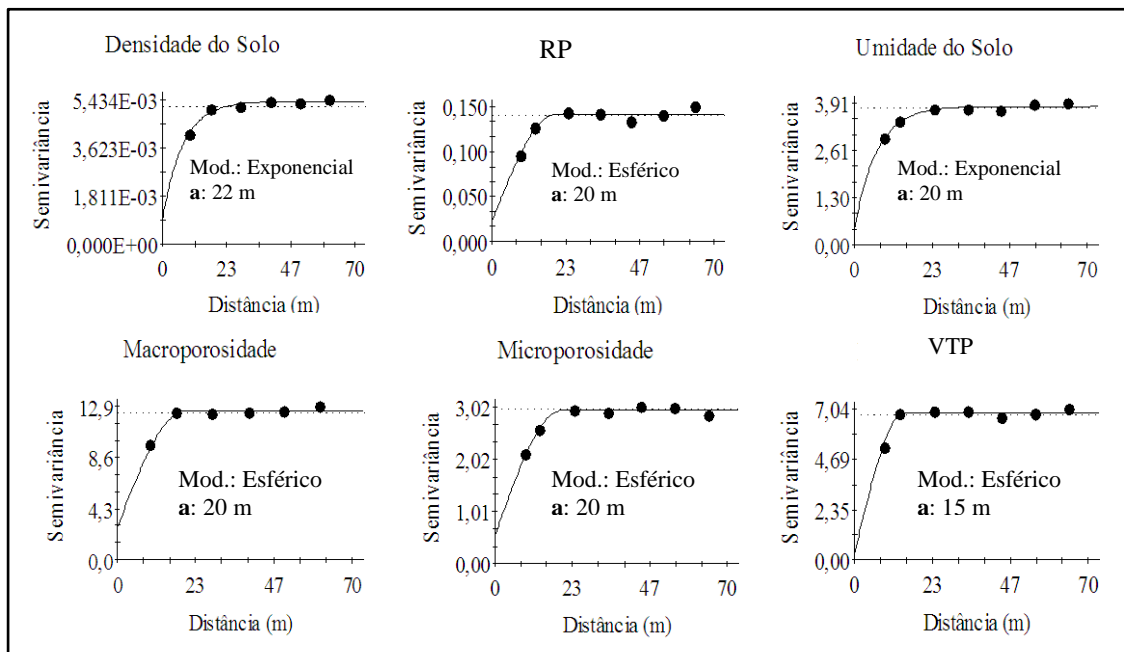
WOJCIECHOWSKI, J.C.; SCHUMACHER, M.V.; PIRES, C.A.F.; MADRUGA, P. R.A.; KILCA, R.V.; BRUN, E.J.; SILVA, C.R.S.; VACCARO, S.; RONDON NETO, R.M. Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de floresta estacional decidual. *Ciênc. Florestal*, Santa Maria-RS, v.19,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

WOLLENHAUPT, N.C., MULLA, D.J., CRAWFORD, G. Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. In: Pierce F J, Sadler E .J. *The state of site-specific management for agriculture*. Madison, p. 19-53, 1997.

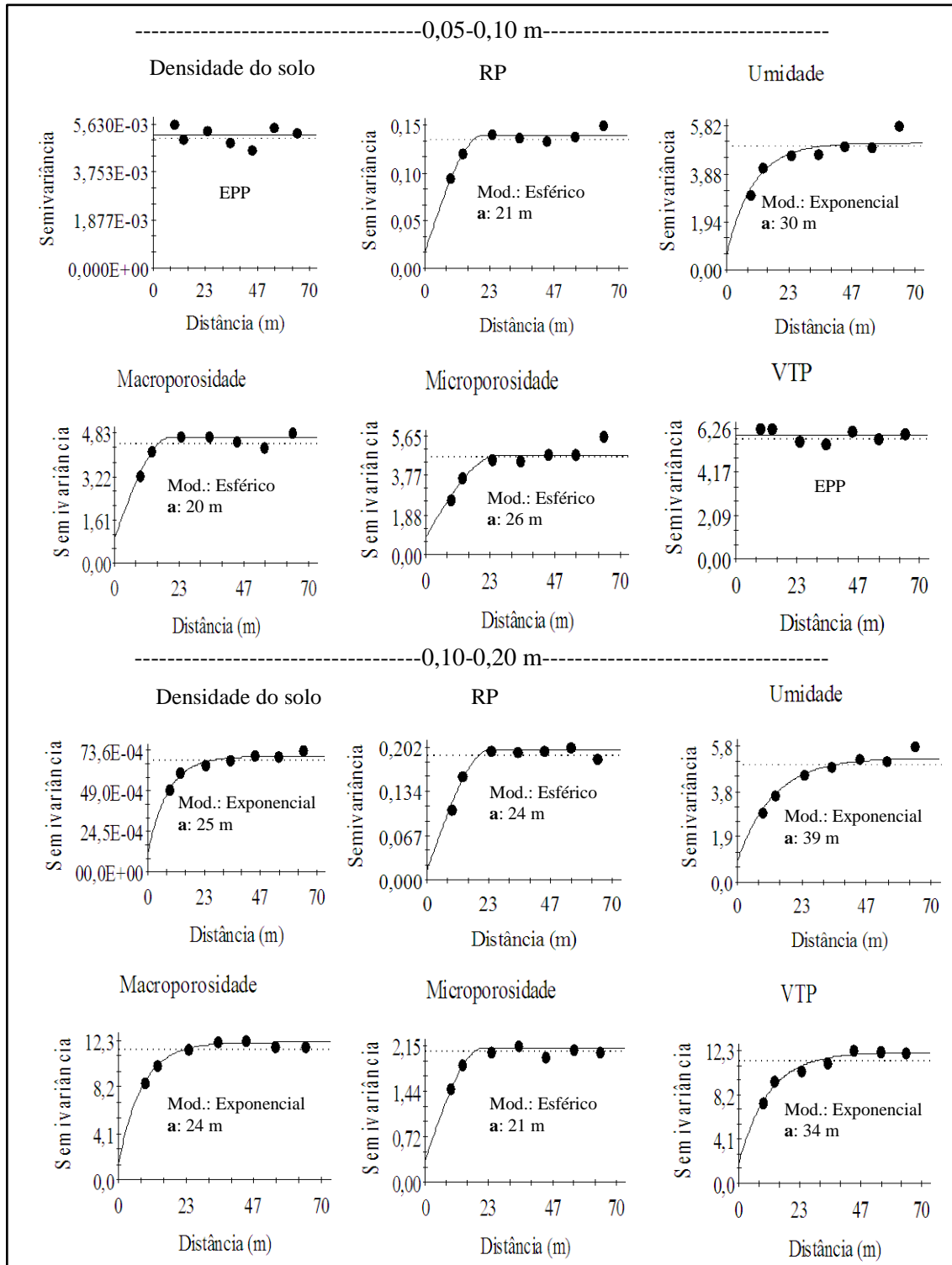
7. ANEXOS



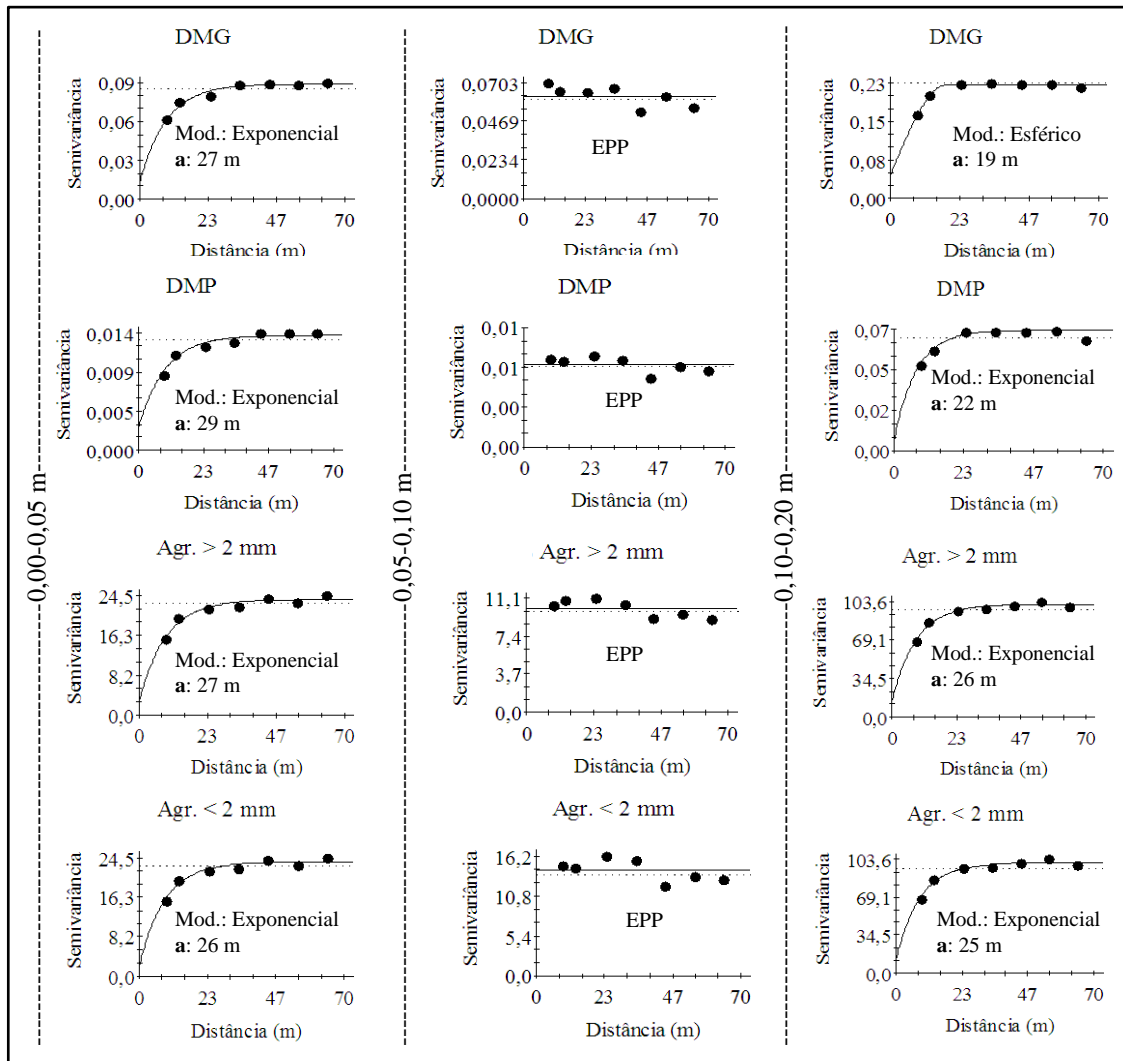
Anexo 1. Semivariogramas das frações textural do solo da área de campo natural nas diferentes profundidades. Mod: modelo; a: alcance



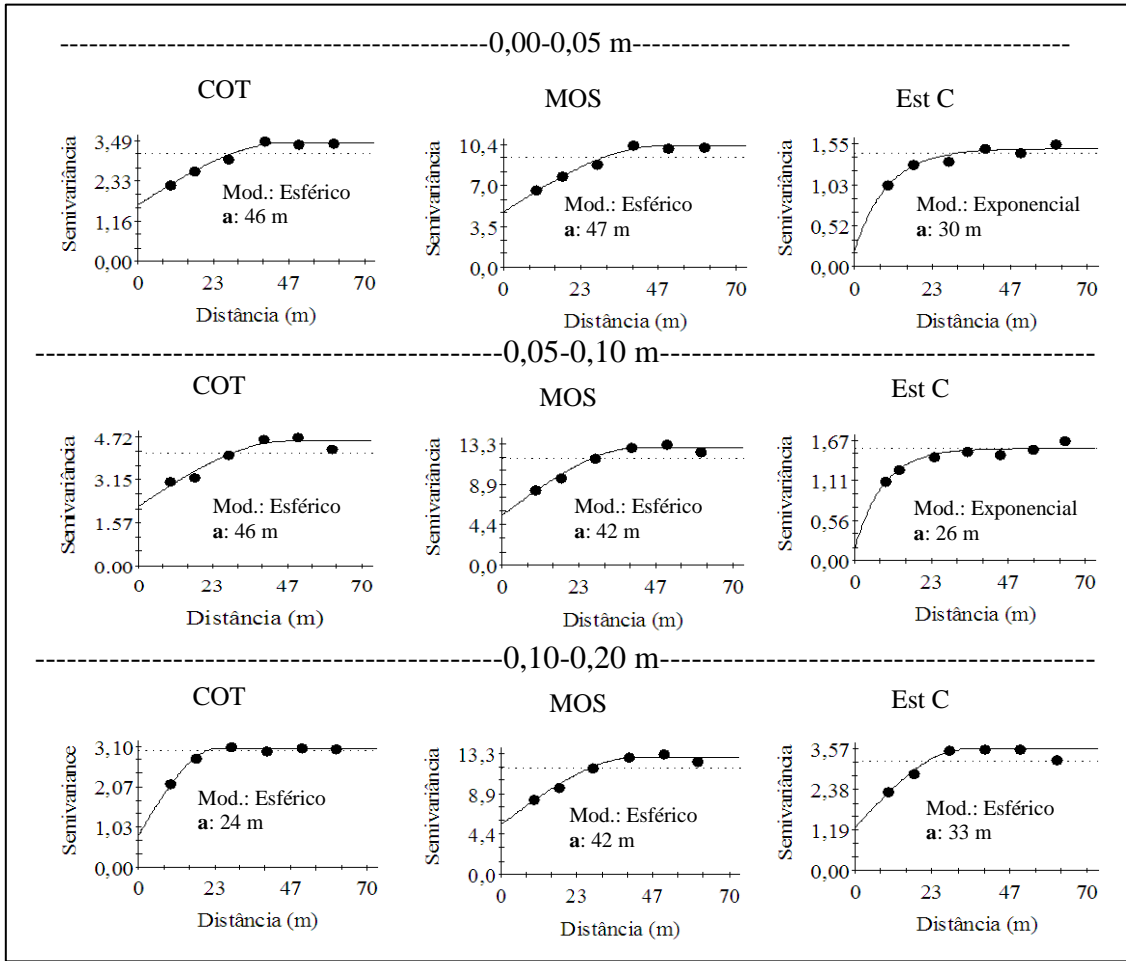
Anexo 2. Semivariogramas dos atributos densidade do solo, resistência do solo à penetração (RP), umidade volumétrica do solo, macroporosidade, microporosidade e volume total de poros (VTP) na profundidade de 0,0-0,05 m da área de campo natural. Mod.: modelo; a: alcance.



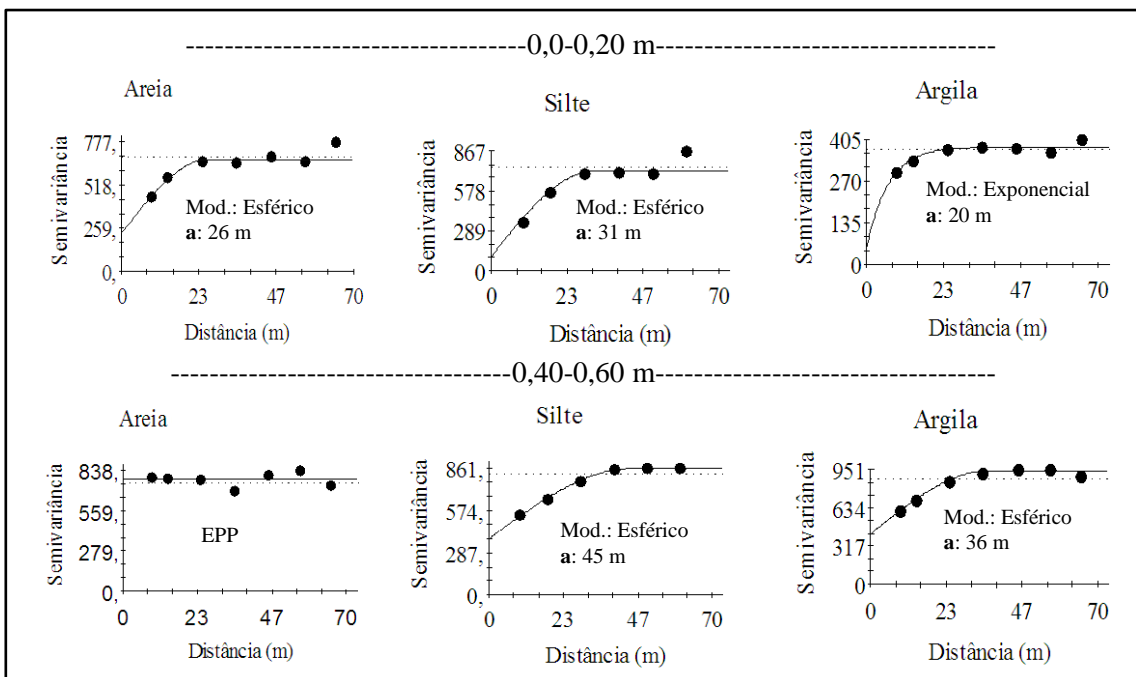
Anexo 3. Semivariogramas dos atributos densidade do solo, resistência do solo à penetração (RP), umidade volumétrica do solo, macroporosidade, microporosidade e volume total de poros (VTP) nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m da área de campo natural. Mod.: modelo; a: alcance; EPP: efeito pepita puro.



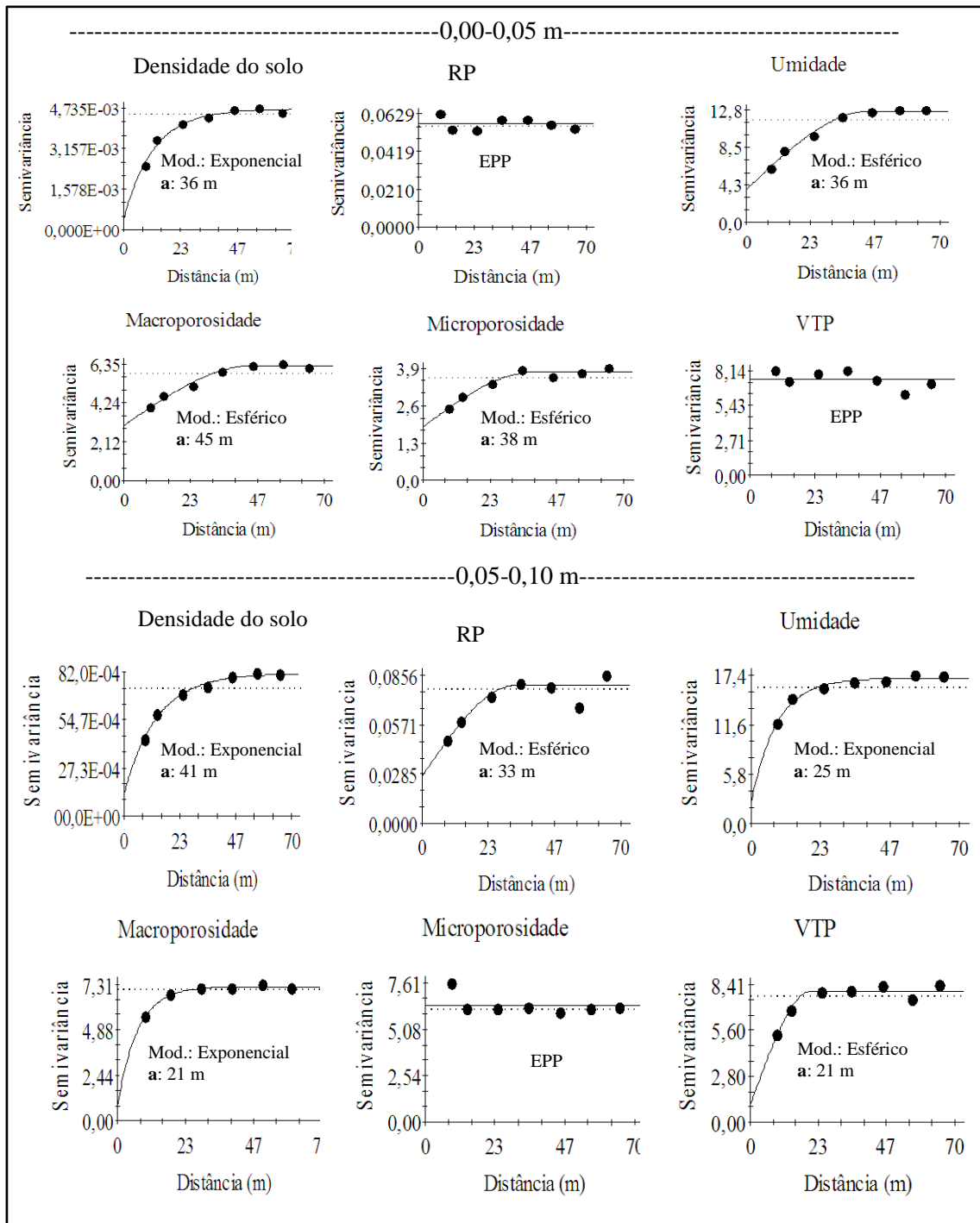
Anexo 4. Semivariogramas dos índices diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), % de agregados maiores que 2 mm (Agr.>2 mm), % de agregados menores que 2 mm (Agr.<2 mm) nas diferentes profundidades da área de campo natural. Mod.: modelo, a: alcance, EPP: efeito pepita puro.



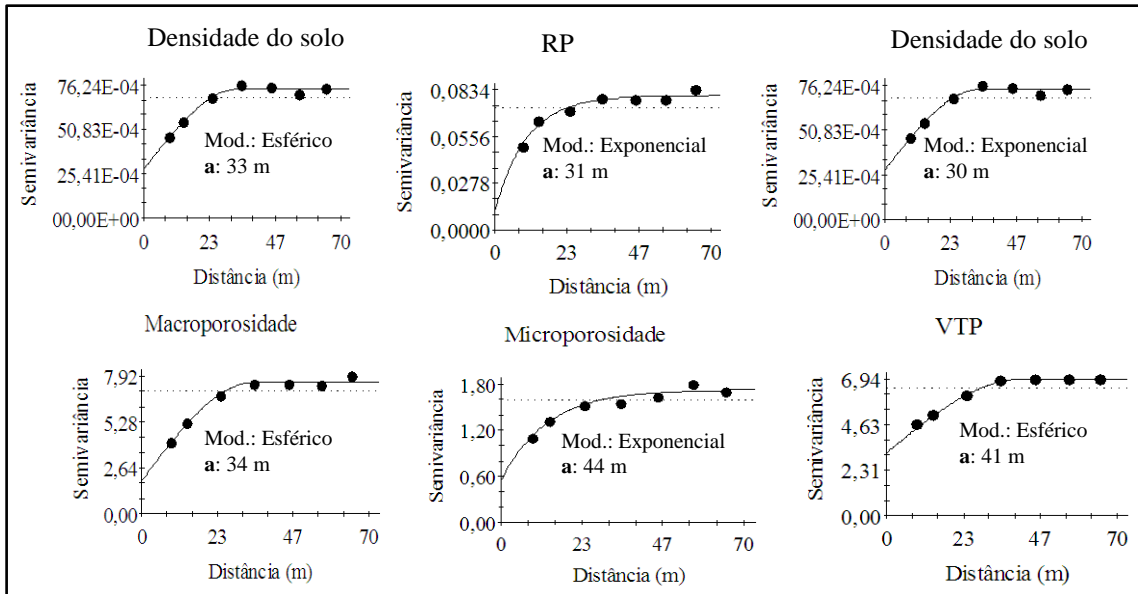
Anexo 5. Semivariogramas dos atributos carbono orgânico total (COT), matéria orgânica do solo (MOS) e estoque de carbono do solo (Est C) nas diferentes profundidades da área de campo natural. Mod.: modelo; a (m): alcance.



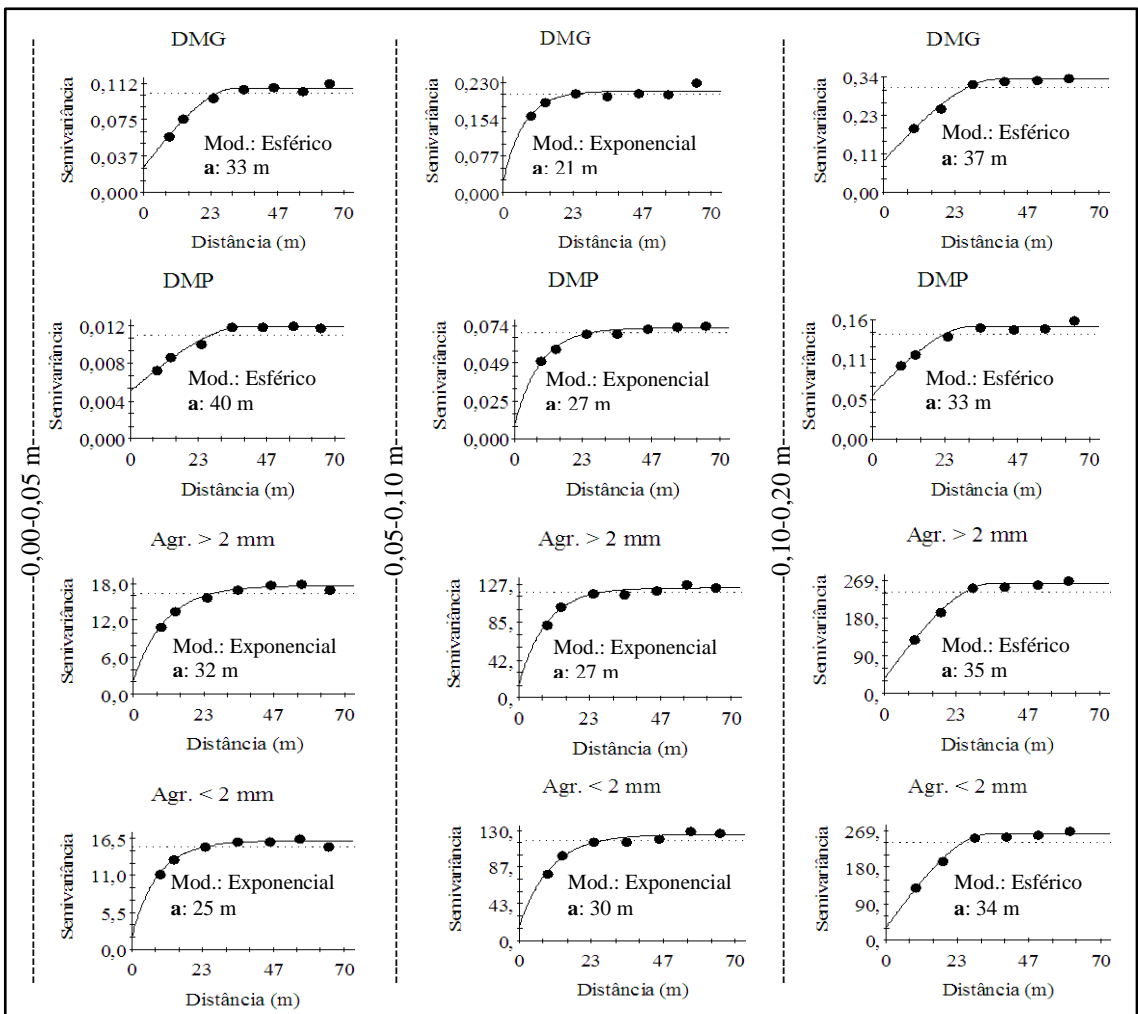
Anexo 6. Semivariogramas das frações textural do solo da área de floresta nas diferentes profundidades. Mod: modelo; a: alcance; EPP: efeito pepita puro.



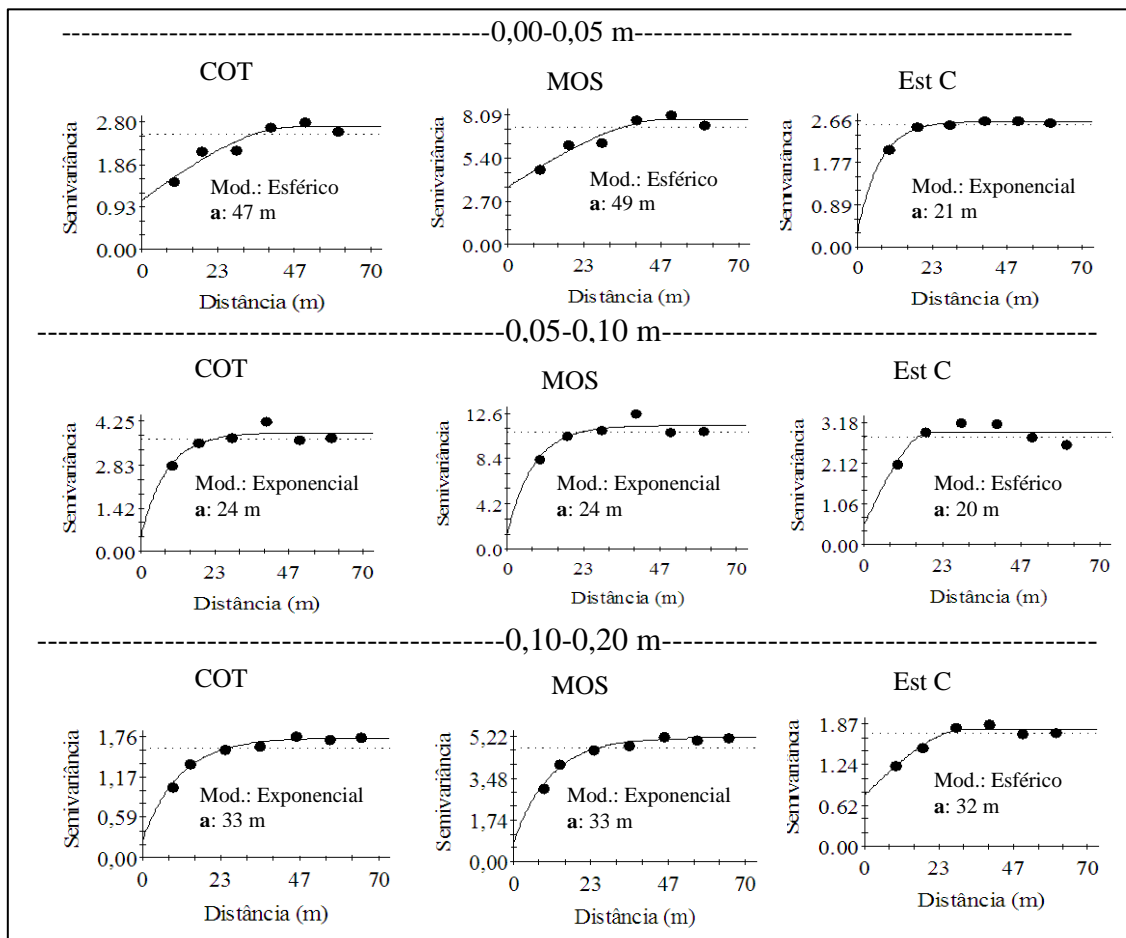
Anexo 7. Semivariogramas dos atributos densidade do solo, resistência do solo à penetração (RP), umidade volumétrica do solo, macroporosidade, microporosidade e volume total de poros (VTP) nas profundidades de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m da área de floresta. Mod.: modelo; a: alcance; EPP: efeito pepita puro.



Anexo 8. Semivariogramas dos atributos densidade do solo, resistência do solo à penetração (RP), umidade volumétrica do solo, macroporosidade, microporosidade e volume total de poros (VTP) na profundidade de 0,10-0,20 m da área de floresta. Mod.: modelo; a: alcance.



Anexo 9. Semivariogramas dos índices diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), % de agregados maiores que 2 mm (Agr.>2 mm), % de agregados menores que 2 mm (Agr.<2 mm) nas diferentes profundidades da área de floresta. Mod.: modelo, a: alcance.



Anexo 10. Semivariogramas dos atributos carbono orgânico total (COT), matéria orgânica do solo (MOS) e estoque de carbono do solo (Est C) nas diferentes profundidades da área de floresta. Mod.: modelo; a (m): alcance.