

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

LEONARDO VIDAL MONTEIRO DA SILVA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA MATÉRIA ORGÂNICA EM UM
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SOB CAFEIEIRO CONILON**

ALEGRE-ES

2010

LEONARDO VIDAL MONTEIRO DA SILVA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA MATÉRIA ORGÂNICA EM UM
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SOB CAFEIEIRO CONILON**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos

ALEGRE-ES

2010

DEDICO

*A Deus,
fonte da vida e alívio nos momentos de tribulação.*

*Aos meus pais, Aldanir e Edna e minhas irmãs Fabiana e Cinthia,
que sempre me amaram, incentivaram e ajudaram a superar todas
As dificuldades ao longo de todo o caminho.*

*Minha namorada Dariany, pelo amor, apoio, compreensão, companheirismo
e incentivo em todos os momentos*

*Aos Professores Renato e Diego,
pelos ensinamentos e amizade
fundamentais para a realização
deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, razão de tudo, pelo dom da vida e pela oportunidade da realização deste trabalho.

Aos meus pais Aldanir Barbosa da Silva e Edna Régia Vidal Monteiro da Silva e minhas irmãs Fabiana Vidal Monteiro da Silva e Cinthia Vidal Monteiro da Silva, pelo companheirismo, paciência, compreensão e pelo apoio incondicional durante toda minha vida e em especial durante este período. Sem vocês nada seria possível.

A todos meus familiares pelo apoio, torcida e orações durante este curso.

À Dariany, pelo amor, companheirismo, paciência e incentivo durante esta fase da minha vida, com você esse caminho se tornou mais fácil.

Ao Professor Renato Ribeiro Passos, pelos valiosos ensinamentos transmitidos, pela orientação neste período, pela amizade, pela oportunidade de trabalho e pela disposição constante em ajudar.

Ao Professor Diego Lang Burak pelos ensinamentos e sugestões durante todo o curso, pela amizade e total disponibilidade durante todo o curso.

Aos Professores Felipe Vaz Andrade, Eduardo de Sá Mendonça e Ivoney Gontijo pelas sugestões valiosas para a conclusão deste trabalho.

A todos os professores do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), pelos conhecimentos transmitidos durante o curso e pela ajuda na solução de questionamentos diversos durante este caminho.

Aos amigos e colegas de curso pelo convívio, pela troca de conhecimento e pelos diversos momentos de alegria compartilhados, em especial, Carlos Lacy, Wagner, Pedro e Rogério.

A laboratorista Soninha pela amizade, paciência e fundamental ajuda durante todo o período de análises laboratoriais.

Aos alunos de graduação Danilo Lampião, Lucas Pilon, Gustavo e Leonardo pela ajuda nas coletas e nas análises e pela amizade durante todo o curso.

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), por ter disponibilizado a área para a realização deste estudo e em especial ao pesquisador e amigo Paulo Marques pela amizade e apoio durante os períodos de coleta de solo.

Ao CCA-UFES pela disponibilização dos laboratórios para as análises de solo e sua estrutura acadêmica.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do CCA-UFES, por conceder a oportunidade de qualificação profissional.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES), pelo suporte financeiro através da concessão da bolsa de estudo, no período de agosto de 2009 à dezembro de 2010.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pela concessão da bolsa de estudo durante o período de agosto de 2008 a fevereiro de 2009.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro na execução deste trabalho.

Os meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram de maneira direta ou indireta para a conclusão de mais esta etapa em minha vida.

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar a variabilidade espacial do carbono orgânico total e do carbono orgânico das substâncias húmicas em um Latossolo sob cafeeiro conilon em relevo ondulado, em diferentes épocas de amostragem. O estudo foi realizado em uma área pertencente ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), localizada no distrito de Pacotuba, município de Cachoeiro de Itapemirim, sul do estado do Espírito Santo. O experimento foi instalado em uma área sob um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, na cultura de café conilon (*Coffea canephora*). Dentro da região selecionada foram demarcados pontos de amostragens em uma grade irregular, definidos como células, dentro de uma área de aproximadamente 6.000 m². Cada célula amostral foi composta de cinco plantas de café compondo uma área de 13,05 m². A malha amostral foi composta de 109 pontos espaçados de forma irregular. A amostragem dos atributos do solo foi realizada em duas épocas distintas de acordo com a pluviosidade. A amostragem referente à primeira coleta de dados foi realizada na primeira quinzena de janeiro de 2009, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, período este com maior índice pluviométrico. Já a amostragem referente à segunda coleta foi realizada na primeira quinzena de janeiro de 2010, período com baixo índice pluviométrico. Foram determinados o carbono orgânico total, carbono das substâncias húmicas e calculados o estoque de carbono. Realizou-se uma análise aplicando a estatística descritiva, com a comparação das médias pelo teste t-Student. A análise geoestatística foi aplicada para avaliar o grau de dependência espacial dos atributos relacionados à matéria orgânica a partir do ajuste de semivariogramas teóricos aos semivariogramas experimentais. Os mapas de distribuição espacial foram confeccionados através da krigagem ordinária para os atributos que apresentaram dependência espacial. Os resultados apontam diferença significativa entre as épocas de amostragem, com a presença de maiores valores na segunda época de amostragem. O manejo adotado e o tempo entre a primeira e a segunda coleta influenciaram na presença de maiores teores dos atributos relacionados à matéria orgânica na segunda época de amostragem, com exceção

do AF e AH na profundidade de 10-20 cm. A análise da variabilidade espacial em conjunto com a krigagem ordinária, possibilitou o mapeamento da variabilidade espacial dos atributos relacionados à matéria orgânica nas duas profundidades e épocas de amostragem, proporcionando melhor visualização do comportamento dos atributos em estudo. A análise da variabilidade espacial mostrou que o relevo e a época de amostragem influenciaram na distribuição espacial das frações das substâncias húmicas.

Palavras-chave: geoestatística, substâncias húmicas, mobilidade, relevo.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the spatial variability of total organic carbon and organic carbon of humic substances in an Oxisol under conilon coffee in plains, which were planted in different periods of time. The study was conducted in an area which belongs to Espírito Santo State Research, Technical Assistance and Rural Extension (INCAPER), located in Pacotuba, a district of Cachoeiro de Itapemirim, south of Espírito Santo. The experiment was settled in plain areas, under a Red-Yellow Dystrophic Latosol in conilon coffee crop (*Coffea canephora*). In the region selected soil sampling sites were marked in an irregular grid, defined as cells in an area of about 6,000 m². The boundary line was accomplished by stacking five plants of the cell sample. The coordinates of each sample point were acquired by a topographic GPS, the GTR-1. Each cell sample was composed by five coffee plants which sets an area of 13.05 m². The sampling grid of 109 points counted was spaced irregularly. The soil samples properties were performed at two different times according to rainfall. The first data collection was performed in the first half of January 2009, at 0-10 and 10-20 cm, a period with higher rainfall. And the second collection was done in the second half of January 2010, a period with low rainfall. It was possible to determine the total organic carbon, carbon of humic substances and carbon stocks. A qualitative analysis was conducted by applying descriptive statistics, comparing the averages got using the t-Student test. The geostatistical analysis was applied to quantify the degree of spatial dependency of attributes related to organic matter from the adjustment of theoretical functions to experimental semivariograms. The spatial distribution maps were made using ordinary kriging for the attributes that showed spatial dependence. The analysis of attributes related to organic material has observed significant differences between depths for all attributes studied, when the outliers are removed, and the highest levels of attributes were found for the 0-10 cm depth. The results indicate significant differences between sampling times, with the presence of higher values in the second sampling time. The management adopted and the time between the first and second collection influenced the presence of higher levels of the attributes related to organic material in

the second sampling time. The geostatistical analysis in conjunction with ordinary kriging, allowed the mapping of the spatial variability of attributes related to organic material at two depths and sampling times, providing better ways to analyze the behavior of the attributes studied. The analysis showed that spatial variability in relief and sampling time influenced the spatial distribution of components of organic matter. The influence of relief on the horizontal movement of the attributes related to organic material was higher for the first sampling time.

Keywords: geostatistics, humic substances, mobility, relief.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Divisão dos compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS)	21
Figura 2- Semivariograma experimental e o modelo teórico ajustado	31
Figura 3- Localização da Fazenda Experimental Bananal do Norte, pertencente ao INCAPER no sul do estado do Espírito Santo	34
Figura 4- Regime pluviométrico na área de estudo para os anos de 2009 e 2010 em mm de chuva	35
Figura 5- Vista parcial da área experimental com café conilon var. Robusta Tropical	36
Figura 6- Esquema da metodologia de amostragem e demarcação das células.....	38
Figura 7- Modelo Digital de Elevação (a), Fluxo acumulado do escoamento superficial da área de estudo (b) e Declividade (c)	40
Figura 8- Semivariogramas das variáveis ácido fúlvico (AF, g kg ⁻¹), ácido húmico (AH, g kg ⁻¹), humina (HU, g kg ⁻¹) e carbono orgânico total (COT, g kg ⁻¹) nas profundidades 0-10 e 10-20 cm para a primeira época de amostragem	60

Figura 9- Semivariogramas das variáveis ácido fúlvico (AF, g kg⁻¹), ácido húmico (AH, g kg⁻¹), humina (HU, g kg⁻¹) e carbono orgânico total (COT, g kg⁻¹) nas profundidades 0-10 e 10-20 cm para a primeira época de amostragem 61

Figura 10- Semivariogramas das variáveis estoque de carbono (kg m⁻²) nas profundidades 0-10 e 10-20 cm e relação AF₀₋₁₀/AF₁₀₋₂₀ para a primeira época de amostragem (a, c, e) e segunda época de amostragem (b, d, f)..... 62

Figura 11- Distribuição espacial dos atributos carbono orgânico total e do carbono orgânico das frações humina, ácido húmico e ácido fúlvico nas profundidades 0-10 cm (a, c, e, g) e 10-20 cm (b, d, f, h), para a primeira época de amostragem 65

Figura 12- Distribuição espacial dos atributos carbono orgânico total e do carbono orgânico das frações humina, ácido húmico e ácido fúlvico nas profundidades 0-10 cm (a, c, e, g) e 10-20 cm (b, d, f, h), para a segunda época de amostragem 66

Figura 13- Distribuição espacial dos atributos estoque de carbono na profundidade 0-10 cm (a, c) e 10 -20 cm (b, d), na primeira (a,b) e segunda (c, d) épocas de amostragem e relação ácido fúlvico das duas profundidades na primeira (e) e segunda (f) épocas de amostragem 71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Propriedades gerais das substâncias húmicas e seus efeitos no solo..	23
Tabela 2- Caracterização dos atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho amarelo distrófico da área de estudo para as profundidades 0-10 e 10-20 cm	39
Tabela 3- Sumário da estatística descritiva dos atributos do solo ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH), humina (HU), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EST C). umidade do solo e densidade do solo nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, para a primeira de amostragem.....	50
Tabela 4- Sumário da estatística descritiva dos atributos do solo ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH), humina (HU), carbono orgânico total (COT) e teor de argila nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, para as duas épocas de amostragem para dados trabalhados	51
Tabela 5- Comparação entre as épocas de amostragem das médias dos atributos ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH), humina (HU), carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, pelo teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade	53
Tabela 6- Relações entre as frações das substâncias húmicas nas profundidades 0-10 e 10-20 cm para as duas épocas de amostragem.....	55

Tabela 7- Análise geoestatística dos atributos relacionados à matéria orgânica do solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, nas duas épocas de amostragem	58
---	----

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1- Teoria das Variáveis Regionalizadas	29
Equação 2- Semivariograma Experimental	30
Equação 3- Índice de Dependência espacial	32
Equação 4- Estimador da Krigagem	33
Equação 5- Volume gasto de Sulfato Ferroso	41
Equação 6- Carbono Orgânico Total	42
Equação 7- Carbono Orgânico das Substâncias Húmicas	44
Equação 8- Determinação dos <i>outliers</i>	45

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	16
2.0 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 A CULTURA DO CAFÉ CONILON (<i>Coffea canephora</i>)	18
2.2 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO	19
2.2.1 Substâncias Húmicas	21
2.2.2 Carbono Orgânico no solo	25
2.3 INFLUÊNCIA DE FORMAS DE RELEVO NOS ATRIBUTOS DO SOLO	26
2.4 TEORIA GEOESTATÍSTICA	28
2.4.1 Semivariogramas	30
2.4.2 Krigagem	33
3.0 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	34
3.2 AMOSTRAGEM	37
3.3 DETERMINAÇÕES	40
3.3.1 Carbono Orgânico Total	41
3.3.2 Substâncias Húmicas	42
3.3.2.1 Extração e Fracionamento	42
3.3.2.2 Determinação do carbono orgânico das substâncias húmicas	43
3.3.2.3 Recuperação de carbono das substâncias húmicas	45
3.3.3 Estoque de carbono	45
3.3.4 Relações entre algumas características estudadas	45
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	46
3.4.1 Análise Exploratória e Descritiva	46
3.4.2 Análise Geoestatística	47

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 ANÁLISE DESCRITIVA	48
4.2 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA	56
4.3 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL	64
5.0 CONCLUSÕES	73
6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

1 - INTRODUÇÃO

A cultura do café conilon ocupa lugar de destaque no cenário agrícola capixaba, ocupando grandes proporções de áreas cultivadas. Parte dessas áreas está inserida em regiões com relevo ondulado. Sendo assim o estudo da influência do relevo sobre os atributos do solo é de fundamental importância para a utilização correta dessas áreas.

Dentre os atributos do solo influenciados pelo relevo podem-se destacar os atributos relacionados à matéria orgânica, em especial as substâncias húmicas que concentram a maior parte dos estudos nessa área. As substâncias húmicas influenciam diversas propriedades físicas e químicas do solo de importância para a fertilidade do solo. Com relação às propriedades químicas, os compostos húmicos são responsáveis pela maior parte da capacidade de troca de cátions e pela reserva de nutrientes em solos altamente intemperizados.

Em decorrência de características intrínsecas, as substâncias húmicas possuem comportamentos distintos quanto à mobilidade no solo. Diversos trabalhos apontam os ácidos fúlvicos como a fração mais móvel no solo, podendo percolar no perfil do solo. Apesar de diversos trabalhos enfatizarem a mobilidade vertical das substâncias, existe escassez de informações com relação à mobilidade horizontal e distribuição espacial das substâncias húmicas na paisagem.

A técnica mais utilizada para verificar e quantificar a variabilidade espacial é a geoestatística, que utiliza diversas ferramentas para analisar a distribuição espacial de atributos do solo. Uma dessas ferramentas é o mapeamento da variabilidade espacial, permitindo melhor visualização e entendimento sobre a distribuição espacial ao longo das diferentes formas de relevo.

O presente trabalho objetivou avaliar a variabilidade espacial do carbono orgânico total e do carbono orgânico das frações ácido fúlvico, ácido húmico, humina e do estoque de carbono em um Latossolo sob cafeeiro conilon em relevo ondulado.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

1. Avaliar a variabilidade dos atributos relacionados à matéria orgânica do solo, utilizando técnicas da estatística clássica e da geoestatística.
2. Gerar mapas dos teores de carbono orgânico total, do carbono orgânico das substâncias húmicas (ácido fúlvico, ácido húmico e humina) e relacioná-los com o relevo.
3. Avaliar a influência da época de amostragem sobre os atributos relacionados à matéria orgânica.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1- A CULTURA DO CAFÉ CONILON (*Coffea canephora*)

O Brasil ocupa posição de destaque na produção de café no cenário mundial, sendo o maior produtor deste grão desde os meados do século XX (OLIVEIRA, 2007) e o segundo maior consumidor atrás apenas dos Estados Unidos.

No Brasil, a quase totalidade das lavouras de café, genericamente conhecido por Robusta, é da cultivar Conilon (*Coffea canephora*). O Espírito Santo é o maior produtor nacional, destacando-se ainda os estados de Rondônia, Minas Gerais, Mato Grosso, Bahia e Rio de Janeiro. Atualmente, mais de 60% do café produzido no Espírito Santo se origina desta cultivar, e responde por cerca de 70% da produção brasileira. Apesar de sua importância sócio-econômica para o Estado, a produtividade do café conilon é baixa, isto é, aquém do potencial desta cultivar (BRAGANÇA et al., 2001). Assim, com o potencial aumento de sua produtividade se faz necessário a realização de estudos que possibilitem a aplicação de técnicas de agricultura de precisão que contribuam para minimizar custos e aumentar a produtividade da cultura.

O cultivo do cafeeiro conilon vem se expandindo no estado do Espírito Santo, nas regiões fisiográficas baixas e de temperaturas relativamente elevadas, por se tratar de uma planta mais rústica, mais resistente à seca, a pragas e doenças (DADALTO et al., 1995). Contudo, a produtividade das lavouras cafeeiras não depende somente do potencial genético, mas também de outros fatores como solo, clima, relevo e manejo. Por mais que sejam conhecidos tais fatores e suas relações com a produtividade, existe certa dificuldade em quantificá-los e equacioná-los para o alcance de maiores produtividades.

O parque cafeeiro capixaba é aproximadamente de 600 milhões de plantas, em cerca de 330 mil hectares. A atividade emprega 350 mil pessoas de forma direta e

indireta, sendo que grande parte formados por agricultores de base familiar, que cultivam, beneficiam e comercializam os grãos (BOLETIM INFORMATIVO, 2008).

A primeira estimativa da safra cafeeira do Estado do Espírito Santo, para o ano de 2010 indica uma produção entre 11.497 a 12.035 milhões de sacas, considerando as duas espécies, arábica e robusta (conilon) indicando acréscimo na produção, entre 12,7% e 17,9%, em relação à safra anterior. Para o café conilon a primeira estimativa de safra para o ano de 2010, indica uma produção entre 8.557 e 8.959 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado (CONAB, 2010).

Apesar de o cultivo do café conilon contribuir para a sustentabilidade econômica e social do estado do Espírito Santo, as pesquisas envolvendo o estudo de solos cultivados com lavouras cafeeiras para as condições do sul do estado são escassas (EFFGEN, 2006). No sul do estado do Espírito Santo a maioria das lavouras encontra-se em propriedades de agricultura familiar e situadas em regiões declivosas (MATIELLO, 1998). São importantes estudos que correlacionem a declividade e posição da paisagem com os aspectos físicos, químicos e biológicos do solo.

A utilização de atributos do solo para a avaliação da sustentabilidade ambiental e econômica em áreas cultivadas com café conilon se torna de grande importância, pelo fato da grande parte da região apta ao cultivo de conilon do estado do Espírito Santo estar localizada em áreas com declividade expressiva (FERRÃO et al., 2004) possibilitando o arraste de nutrientes e partículas do solo.

2.2- MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

O solo é um sistema vivo, dinâmico em contínua evolução. Nele vivem milhares de organismos e animais intimamente dependentes da matéria orgânica, que lhe fornece energia e nutrientes para sua sobrevivência. A energia e os nutrientes disponíveis aos microrganismos são provenientes dos resíduos vegetais e animais e estão contidos numa ampla variedade de compostos orgânicos tais como carboidratos, lignina, proteínas, lipídios e substâncias húmicas, entre outros.

Conseqüentemente, a fração orgânica do solo representa um sistema complexo, composto de diversas substâncias, sendo sua dinâmica determinada pela incorporação de material vegetal e animal ao solo e pela transformação destes, via ação de distintos grupos de microrganismos, de enzimas e da fauna do solo (MENDONÇA, 2001). A natureza predominante da população microrgânica, seu número, as espécies e o grau de atividade dos microorganismos, são conseqüências da qualidade e quantidade de materiais que retroalimenta a matéria orgânica que serve de alimento; e das condições físicas (textura, aeração e umidade) e químicas (quantidade de sais nutrientes, pH e elementos tóxicos) encontradas no solo.

A matéria orgânica do solo (MOS) tem origem, em quase sua totalidade, de resíduos vegetais cuja composição média varia entre as diferentes espécies de vegetais e, dentro da mesma espécie, com a idade da planta. Todavia, apesar de se encontrar diferenças entre as espécies, ocorre certa constância entre os componentes básicos das plantas, variando apenas o percentual dos componentes estruturais. Estes componentes podem ser classificados em seis grupos: celulose, hemicelulose, lignina, fração solúvel em água, fração solúvel em éter ou em álcool e proteínas (WAKSMAN, 1952; MENDONÇA, 2001).

A MOS é o maior reservatório de carbono (C) terrestre se as reservas fósseis não forem consideradas, representando cerca de duas vezes a quantidade de C da atmosfera e da biomassa vegetal (SWIFT, 2001; LIMA et al., 2008).

A matéria orgânica do solo para melhor entendimento pode ser classificada como pode ser visto na Figura 1, em matéria orgânica viva e morta (THENG, 1987). A matéria orgânica viva, que raramente ultrapassa o teor de 4 % do carbono orgânico total do solo, pode ser subdividida em três compartimentos: raízes (5-10 %), macrorganismos ou fauna do solo (15-30 %), e microrganismos (60-80 %). O componente morto da matéria orgânica pode contribuir com cerca de 98 % do carbono orgânico total do solo, podendo ser subdividido em matéria macrorgânica e húmus. A matéria macrorgânica, ou fração leve, geralmente é a menor fração da matéria orgânica morta contendo cerca de 10-30 % do teor total de carbono orgânico do solo. Basicamente, essa fração é composta por resíduos de plantas em vários

estágios de decomposição. Alterações nos teores de matéria orgânica leve do solo são indicativos em curto prazo dos efeitos dos sistemas de manejo do solo.

O compartimento húmus consiste de substâncias húmicas e não-húmicas, decorrente das dificuldades de se definir seus limites. As substâncias não-húmicas podem chegar a contribuir com 30 % desse compartimento, as quais são grupos de compostos orgânicos muito bem caracterizados, tais como carboidratos, lipídios, ácidos orgânicos, pigmentos e proteínas. As substâncias húmicas, que contribuem com cerca de 70 % do compartimento húmus, consistem de macromoléculas humificadas, não muito bem caracterizadas quimicamente. Esse compartimento é o principal componente da MOS, consistindo na reserva orgânica do solo. Sendo assim, grande parte da pesquisa com matéria orgânica está voltada para o estudo dessa fração (MENDONÇA, 2001).

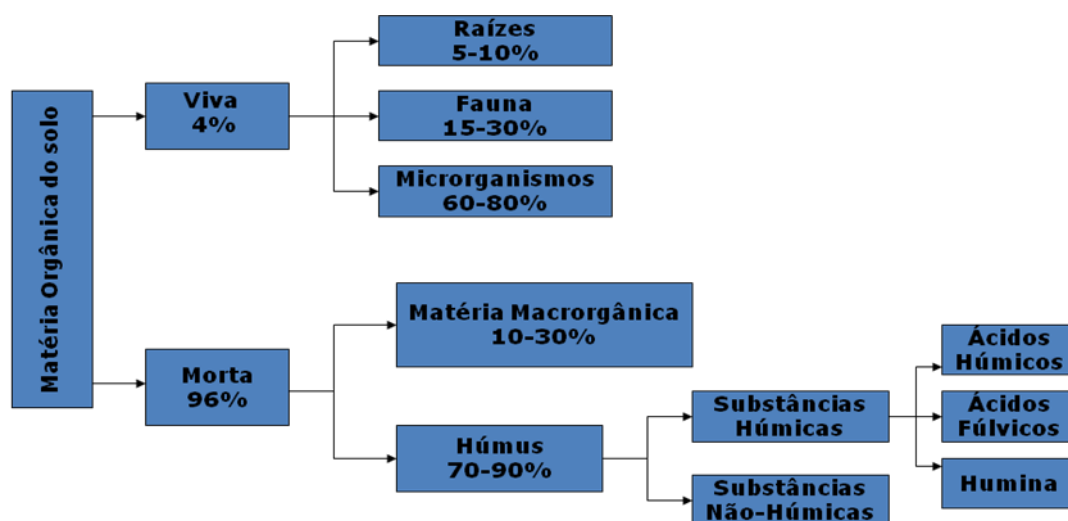


Figura 1. Divisão dos compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS). Fonte: SILVA E MENDONÇA, (2007).

2.2.1- Substâncias Húmicas

Estima-se que 80 a 90% da matéria orgânica de solos minerais seja constituída pelas substâncias húmicas (MENDONÇA e MATTOS, 2005). As substâncias húmicas são o principal componente da matéria orgânica dos solos, das águas e dos sedimentos. Além de influenciar as propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos, determinando a produção biológica dos ecossistemas, elas exercem efeito direto sobre o crescimento e metabolismo das plantas, especialmente sobre o desenvolvimento radicular (NARDI et al., 2002; CANELLAS et al., 2004). Esta fração representa o principal reservatório de carbono no solo e ainda interage com a atmosfera modificando a concentração de CO₂, dependendo do uso e manejo adotado no solo (PICCOLO, 1999).

As substâncias húmicas consistem de uma série de polieletrólitos de coloração amarelada à preta, com peso molecular variado e grande concentração de grupamentos ácidos. Essas substâncias, no solo, podem ser adsorvidas por colóides argilosos, formando complexos argilo-húmicos, ou reagir, por exemplo, com os íons Ca²⁺ e Al³⁺, ficando, nessas condições, mais resistentes a biodegradação (MENDONÇA, 2001). Representam a fração mais estável da matéria orgânica do solo. A estabilidade destas substâncias é atribuída à sua estrutura química complexa, associada à sua localização no interior dos agregados do solo e às suas interações com minerais de argilas e cátions metálicos (THENG et al., 1989). Essas partículas são produtos das transformações químicas e biológicas dos resíduos vegetais e animais, assim como da atividade da microflora do solo (MICHEL et al., 1996).

A grande variação no grau de polimerização e no número de cadeias laterais e radicais que podem ser encontrados nas substâncias húmicas faz com que não existam duas moléculas húmicas idênticas (LOURES e MENDONÇA, 1995).

As substâncias húmicas têm grande importância para o equilíbrio do solo, pois suas propriedades influenciam diretamente na qualidade do mesmo, propiciando uma melhoria em diversos atributos como agregação, troca de íons, retenção de água, complexação e também tem papel importante na diminuição do arraste de partículas do solo e nutrientes (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades gerais das substâncias húmicas e seus efeitos no solo

Propriedades	Substâncias húmicas	Efeitos no solo
Cor	Apresentam coloração variando de amarelo até escuro	Interferem no matiz e no croma do solo; retenção do calor
Retenção de água	Podem reter água até 20 vezes a sua massa	Proteção contra erosão; armazenamento de água no solo
União de partículas sólidas	Cimentam partículas do solo, formando agregados	Formação de estrutura no solo; porosidade do solo; densidade do solo
Complexação	Formam complexos específicos (Cu^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+}) e não específicos (Ca^{2+} , Cd^{2+})	Detoxificação de íons tóxicos (Al^{3+}); aumentam mobilidade de íons
Insolubilidade em água	Devido a sua associação com argilas e sais de cátions di e trivalentes	Pouca matéria orgânica é perdida com a água de percolação
Efeito-tampão	Tem função tamponante em amplos intervalos de pH	Ajudam a manter o equilíbrio da solução do solo
Troca de íons	A acidez total das frações isoladas do húmus varia de 300 a $1400 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	Responsáveis pela capacidade de troca de cátions e de ânions no solo
Mineralização	A decomposição da matéria orgânica libera íons e moléculas (CO_2 , PO_4^{3-} e SO_4^{2-})	Fornecimento de nutrientes para o crescimento das plantas

Fonte: SILVA E MENDONÇA, (2007)

O fracionamento químico das substâncias húmicas permite a obtenção das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas, que apresentam solubilidade diferenciada em soluções aquosas de extratos de solos, em distintos níveis de pH (STEVENSON, 1982). Cada uma dessas frações pode ser considerada como formada por uma série de moléculas de tamanhos diferentes, e a maioria delas não

possui a mesma configuração estrutural ou grupos reativos na mesma posição (COLNAGO et al., 1996).

Essas substâncias podem ser fracionadas química e fisicamente, sendo o fracionamento químico mais utilizado para estudar a dinâmica da matéria orgânica no solo. Do grande número de extratores estudados, a solução diluída de NaOH (normalmente 0,1 ou 0,5 mol L⁻¹ NaOH) é o mais utilizado, embora, tem-se tentado utilizar uma mistura de reagentes, tais como 0,1 mol L⁻¹ NaOH e 0,1 mol L⁻¹ Na₄P₂O₇ em solução ou reagentes mais brandos, tais como Na₄P₂O₇ a pH neutro. Este procedimento destaca-se por extrair substâncias húmicas do solo com um rendimento de até 2/3 do total da matéria orgânica quando usada de forma seqüencial (CANELLAS et al., 2004).

De acordo com a literatura (MENDONÇA e LOURES, 1995), as frações húmicas são quimicamente muito parecidas, diferindo em peso molecular, teores de C, O, N e S, e conteúdo de grupamentos funcionais. Os ácidos fúlvicos têm menor peso molecular, maior teor de O nos grupamentos funcionais (COOH, OH e C = O) por unidade de peso que as outras condições de acidez normalmente encontradas em solos. Estes compostos são responsáveis pela maior parte da capacidade de troca de cátions (CTC) de origem orgânica em camadas superficiais de solos.

A fração humina consiste de um aglomerado de materiais húmicos e não húmicos (MACCARTHY, 2001; BENITES et al., 2003) e poderia ser descrita como frações húmicas. Esta fração representa a porção mais reativa e conseqüentemente de maior polaridade. Estes compostos são os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions dentro do solo, por meio de complexos organometálicos, o que caracteriza o processo de queluviação (BENITES et al., 2003).

Os ácidos húmicos são os compostos húmicos mais estudados e apresentam pouca solubilidade nos materiais que contém substâncias húmicas. Apesar de apresentar baixa reatividade, são responsáveis por mecanismos de agregação de partículas e na maioria dos solos tropicais representa a maior parte do carbono humificado do solo (BENITES et al., 2003).

A distribuição do carbono orgânico nas três frações depende do tipo de solo, do tipo de vegetação, do uso e do manejo empregado (STEVENSON, 1994; DICK e MARTINAZZO, 2006).

2.2.2- Carbono Orgânico no Solo

O solo é o maior reservatório de C do ecossistema terrestre. A quantidade de C presente no solo e na biota terrestre é considerada pequena comparada a encontrada em sedimentos e oceanos, mas excede a quantidade presente na atmosfera como CO₂. Os teores de C em formas orgânicas (C orgânico) do solo estão diretamente ligados à sua interação com a biosfera. Por meio dos produtos da fotossíntese, grande parte do C entra no solo (SILVA e MENDONÇA, 2007).

Como já mencionado, a matéria orgânica do solo pode ser dividida para melhor entendimento em componentes vivos e não vivos. Do ponto de vista de estabilidade do solo, a matéria orgânica pode ser simplificada dividida em uma fração lábil (biodegradável, leve) e uma fração humificada (estável pesada). A fração lábil representa aproximadamente 1/3 do carbono orgânico do solo, e apresenta uma alta taxa de decomposição e um curto período de permanência no solo (THENG et al., 1989) e sua principal função é o fornecimento de nutrientes as plantas através de sua mineralização e de energia e carbono aos microorganismos do solo (OADES, 1989). A fração humificada representa cerca de 2/3 do carbono orgânico do solo e tem maior permanência no solo (THENG et al., 1989) sendo sua principal função atuar sobre as condições físicas e químicas do solo.

O carbono orgânico no solo se torna apto a ser utilizado pela biota e conseqüentemente pelas plantas através da decomposição da matéria orgânica, este processo é regulado por vários fatores que vão determinar a velocidade com que este material será decomposto como origem e natureza da matéria orgânica, umidade, arejamento, temperatura, acidez do solo, nutrientes do solo e relevo (MENDONÇA, 2001).

Estes fatores, associados à quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos adicionados ao solo, controlam o tamanho do compartimento lábil. Outros fatores importantes incluem o estado físico dos resíduos e o tipo e a frequência de cultivo (DUXBURY et al., 1989). De acordo com o manejo utilizado o tamanho deste compartimento pode ser diminuído significativamente, pois o revolvimento do solo expõe o C orgânico lábil, fazendo com que possa ser consumido rapidamente pelos microrganismos, também existe a possibilidade de se perder por lixiviação ou ser percolado para horizontes subsuperficiais, quando não retidos nestes horizontes podendo ser incorporados a corpos d'água.

Vários métodos são utilizados para determinação do carbono orgânico do solo, dentre eles se destaca o de Walkley-Black, que se baseia em técnicas de oxidação com dicromato de potássio. Este método é simples, rápido e não requer o uso de equipamento especial. Por não usar aquecimento externo das amostras de solo, geralmente a oxidação é incompleta, necessitando um fator de correção. Já outros métodos utilizam o aquecimento externo das amostras de solo, promovendo a total oxidação do C orgânico, como é o caso do método descrito por Yeomans e Bremner (1988).

2.3- INFLUÊNCIA DE FORMAS DE RELEVO NOS ATRIBUTOS DO SOLO

Em Ciência do Solo, o estudo do relevo é fundamental para entender as variações que esse provoca nos atributos dos solos. Desse modo, pode-se supor que os atributos dos solos variam significativamente entre pontos relativamente próximos (SOUZA et al., 2003).

Assim, para o entendimento dos processos envolvendo o conceito de relevo é necessário reconhecer que a maioria das variáveis de Ciência do Solo poderá ter um comportamento anisotrópico, isto é, mudar de maneira diferente para direções diferentes.

O comportamento diferenciado dos atributos dos solos em diferentes locais da paisagem pode ser entendido pela caracterização da variabilidade espacial dos

mesmos mediante técnicas de geoestatística, identificando locais específicos na paisagem. Estudos mostram que, em latossolos, em áreas de formas côncavas e convexas, independentes do histórico de manejo, há mais variabilidade de atributos químicos e físicos do que em áreas de formas lineares (SOUZA et al., 2003; SOUZA et al., 2004). Isso implica maior número de amostras naquelas áreas. Portanto, na avaliação da variabilidade espacial, o espaçamento com intervalos menores é necessário em áreas côncavas e convexas, sendo que uma das maneiras de avaliar esta premissa é mediante as técnicas de otimização de amostragem, baseadas na simulação espacial (GROENIGEN et al., 1999).

Para melhor entender a relação dos modelos de paisagem e suas influências na variabilidade dos atributos do solo são necessárias o uso de ferramentas de geoprocessamento para construção de modelos de elevação digital (MDE) e o uso de técnicas geoestatísticas.

Os MDE podem ser definidos como uma representação espacial da superfície do solo, a partir de pontos que descrevem a topografia do terreno ou a elevação tridimensional de uma grade de dados a intervalos regulares ou irregulares (CAMPOS et al., 2006).

Com o uso destas ferramentas pode-se observar as variações da topografia permitindo o melhor entendimento do padrão e distribuição dos fluxos d'água no terreno, o que possibilita estabelecer relações entre as formas do terreno e a variabilidade dos atributos do solo.

Considerando que as formas do relevo exercem papel decisivo no tempo de exposição dos materiais, na intensidade e direção do fluxo da água no perfil solo, e que regulam as variações nos processos pedogenéticos, a observação e o estudo das diferentes formas da paisagem se tornam fundamentais para entender diversos processos no solo, como a mobilidade e disponibilidade dos nutrientes. A mobilidade de grande parte dos nutrientes está intimamente relacionada ao relevo, pois as diferentes formas de relevo podem acentuar a mobilidade de alguns nutrientes, da matéria orgânica e das frações granulométricas. Algumas formas de relevo propiciam maior variabilidade em diversos atributos do solo como o aumento da

densidade do solo, capacidade de troca catiônica e disponibilidade de fósforo em formas de relevo côncavas quando comparadas as pedoformas convexas (CAMPOS, et al., 2006). Estes mesmos autores observaram que áreas de relevo côncavo apresentam maior conteúdo do carbono orgânico, da CTC e do conteúdo de argila e diminuição da densidade do solo e teor de areia.

No que diz respeito aos atributos relacionados à matéria orgânica do solo, a mobilidade de diversos atributos é influenciada pelas formas de relevo. As substâncias húmicas, por exemplo, podem ter sua distribuição afetada pela posição onde estão inseridas no relevo, como é o caso dos ácidos fúlvicos que podem ser arrastados ao longo do perfil do solo através do fluxo de água chegando a certos casos a corpos d'água. Isto se deve ao seu menor tamanho molecular e maior número de cargas o que facilita a complexação com íons metálicos e conseqüentemente sua movimentação no solo.

2.4- TEORIA GEOESTATÍSTICA

A geoestatística surgiu quando Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que as informações dadas pela variância das amostras em diferentes locais não explicavam o fenômeno em estudo, necessitando levar em consideração a distância entre as observações, ou seja, sua dependência espacial (VIEIRA, 2000). Baseando-se nestas observações, foi desenvolvida por Matheron (1971) uma teoria a qual chamada de Teoria das Variáveis Regionalizadas que contém os fundamentos da Geoestatística. Uma Variável Regionalizada é definida como uma função espacial numérica, que varia de um local para outro, com uma continuidade aparente e cuja variação não pode ser representada por uma função matemática simples (VIEIRA, 2000). A partir de então, surge o conceito da geoestatística, que leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial. Essa teoria pressupõe que a variação de uma variável pode ser expressa pela soma de três componentes, conforme a equação 1:

$$Z(x_i) = M(x) + \epsilon'_x + \epsilon_i \quad (1)$$

em que $Z(x_i)$ é a variável avaliada; $M(x)$ é a função determinística que descreve componente estrutural de $Z(x_i)$ na posição x ; ϵ_i é o termo estocástico que varia em cada posição de $M(x)$; e ϵ_i é o erro aleatório, independente e não correlacionado com x .

Um conceito chave na compreensão e análise dos fenômenos espaciais é a dependência espacial. Essa noção parte da primeira lei da geografia: “todas as coisas são parecidas, mas coisas mais próximas se parecem mais que coisas mais distantes” (TOBLER, 1970). Sendo assim pode-se dizer que de acordo com a distância existente entre características presentes em um determinado ponto suas relações são mais estreitas ou não. Como afirma Cressie (1993), a dependência está presente em todas as direções e fica mais fraca à medida que aumenta a dispersão na localização dos dados.

Análises estatísticas clássicas que consideram a independência entre as amostras, baseadas na média, vêm sendo substituídas por análises geoestatísticas fundamentadas na teoria das variáveis regionalizadas, por intermédio do semivariograma e da dependência espacial (SOUZA, 2004).

Quando uma determinada propriedade varia de um local para outro com algum grau de organização ou continuidade, expresso através da dependência espacial, a estatística clássica deve ser substituída devido a suas limitações e surge então uma ferramenta capaz de detectar o grau de dependência entre as amostras, levando em consideração as coordenadas geográficas de cada ponto. A teoria da Geoestatística pode ser aplicada nesse caso, para descrever o padrão da variabilidade espacial do atributo estudado (VIEIRA, 2000).

A geoestatística aplicada à agricultura de precisão tem por objetivo pesquisar a variabilidade espacial dos atributos do solo e das plantas e fazer estimativa, utilizando o princípio da variabilidade espacial e identificando inter-relações destes atributos no espaço, além de permitir estudar padrões de amostragem adequada (VIEIRA, 2000).

A preocupação com a variabilidade espacial de variáveis agronômicas é uma preocupação antiga de pesquisadores desde o princípio de século XX, quando Montgomery (1913) e Smith (1910), citados por Vieira (1983) e Silva (1989), realizaram experimentos procurando estudar o efeito da variabilidade do solo na produção de culturas. Outros autores como Waynick e Sharp (1919) citados por Burak (2008) estudaram variações de nitrogênio e carbono no solo em função da localização da parcela experimental.

A variabilidade espacial, se não utilizada, pode levar a conclusões errôneas de resultados experimentais e ao mau uso de áreas agrícolas com finalidade comercial. Quando considerada e bem utilizada, pode-se tornar um instrumento valioso, porque o conhecimento da variabilidade espacial possibilita melhor planejamento e interpretação de experimentos usados para recomendações de manejo do solo e culturas (ALBUQUERQUE et al., 1996).

2.4.1- Semivariogramas

O semivariograma é uma das ferramentas da Geoestatística utilizada para determinar a variabilidade espacial de atributos do solo, expressando o grau de dependência espacial entre amostras, por meio de seus parâmetros em um campo específico (BERTOLANI et al., 2001).

Um dos métodos mais antigos de se estimar a dependência no espaço ou no tempo, de amostras vizinhas é através da autocorrelação. Quando a amostragem envolve duas direções (x_i, y_i) o instrumento mais indicado na estimativa da dependência entre amostras é o semivariograma (VIEIRA, 2000), o qual é representado pela equação 2:

$$2\gamma(h) = 1/N(h) \sum [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (2)$$

em que $2\gamma(h)$ é a semivariância dos pares de pontos dentro da distância h , que é a distância entre os pontos; e $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados pela distância h (VIEIRA, 2000).

O semivariograma é representado pelo gráfico da semivariância $\gamma(h)$ versus h (Figura 2) e, normalmente a medida que h aumenta, $\gamma(h)$ também aumenta até um determinado valor. Quando não existe variação do semivariograma em função da direção (norte-sul, leste-oeste), os modelos são isotrópicos, e, caso contrário, os modelos serão anisotrópicos. Nos modelos anisotrópicos, diferentes semivariogramas podem ser ajustados para cada direção.

Os parâmetros básicos que caracterizam um semivariograma são: o efeito pepita (C_0), que é a interpretação do semivariograma com o eixo das ordenadas e indica a variação ao acaso ou erros na obtenção dos dados; o patamar (C_0+C), que é a estabilização dos valores do semivariograma, que é aproximadamente igual a variância dos dados, composto pelo efeito pepita e o componente estrutural (C), que é a parte da variação que é explicada pela continuidade espacial e, o alcance (a), que é a distância onde o semivariograma alcança o patamar. O alcance indica a distância limite entre os pontos correlacionados entre si (Figura 2). Pontos localizados a distâncias maiores que o alcance são independentes, não existindo restrições quanto ao uso da Estatística Clássica. Portanto, o alcance é a divisão entre a utilização da Geoestatística ou Estatística Clássica (VIEIRA, 2000).

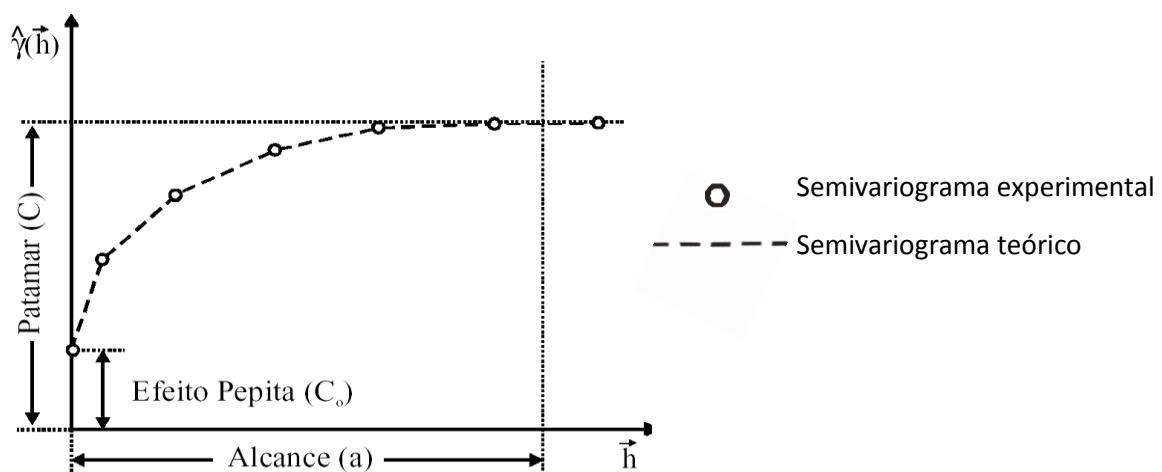


Figura 2. Semivariograma experimental e o modelo teórico ajustado. Fonte: BURAK, (2008).

Teoricamente, quando $h = 0$, o semivariograma deve ser igual a 0. Porém, na prática, à medida que h se aproxima de 0, $\gamma(h)$ aproxima-se de um valor chamado efeito pepita, que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores que a distância de amostragem. Esse efeito pode ser também devido a erros de medição ou variabilidade em pequena escala não captada pela amostragem realizada. Quando o efeito pepita é muito grande, teoricamente caminhamos para um semivariograma com efeito pepita puro, significando a não existência de dependência espacial das amostras (VIEIRA, 2000).

Os parâmetros do semivariograma efeito pepita (C_0) e patamar (C_0+C) são utilizados para identificar a intensidade da dependência espacial, e assim pode-se calcular o índice de dependência espacial de acordo com Zimback (2001) através da equação (3):

$$IDE = \frac{C}{(C_0 + C)} \cdot 100 \quad (3)$$

Dessa forma Zimback (2001) considerou como fraca dependência espacial atributos que possuem $IDE < 25\%$, moderada para $25 < IDE < 75\%$ e forte para $IDE > 75\%$.

Segundo Trangmar et al., (1985) e Carvalho (2001) a análise pelo semivariograma tem a vantagem adicional de definir parâmetros que podem ser usados na estimação local de valores de característica estudada. Os semivariogramas podem ser representados por vários modelos teóricos. Estes modelos devem fornecer soluções estáveis para o estimador no processo de krigagem, pois todos os cálculos de Geoestatística dependem do modelo e de suas características para cada distância específica.

Em Viera (2000) encontram-se os principais modelos teóricos para o ajuste do semivariograma, dentre eles se destacam os modelos gaussiano, esférico, linear e exponencial que são os mais comumente utilizados.

2.4.2- Krigagem

O termo krigagem foi usado em homenagem ao matemático Sul Africano, Krige, que foi o primeiro a formular e implementar esta técnica de interpolação em 1951 e foi utilizado inicialmente por Matheron, em 1965.

A krigagem é uma técnica usada na geoestatística para estimar valores de propriedades para locais onde esta propriedade não foi medida. Para que esta ferramenta seja utilizada é necessário que exista dependência espacial definida pelo semivariograma (VIEIRA, 2000). A krigagem é o método de interpolação da geoestatística, o qual usa a dependência espacial expressa no semivariograma entre amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima. Estas duas características fazem da krigagem um interpolador ótimo (BURGESS e WEBSTER, 1980). Além de um estimador não tendencioso, a krigagem é um interpolador exato, assim sendo, se o ponto a ser estimado coincidir com um dos pontos amostrados, o valor estimado deverá ser igual ao valor amostrado (ZIMBACK, 2003).

O processo de interpolação de krigagem segue praticamente a mesma o mesmo procedimento que os outros métodos, mas a diferença básica entre este estimador e os outros é a forma como os pesos são atribuídos a diferentes amostras, que neste caso os pesos são variáveis de acordo com a variabilidade espacial expressa pelo semivariograma (VIEIRA, 2000). A estimativa pontual é obtida pela seguinte expressão (4):

$$Z^*(X_0) = \sum \lambda_i Z(x_i) \quad (4)$$

em que N é o número de valores medidos, $Z(X_i)$, utilizados na estimativa da propriedade e, λ_i são os pesos associados a cada valor medido, $Z(X_i)$.

3.0- MATERIAL E MÉTODOS

3.1- LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental Bananal do Norte, pertencente ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), localizada no distrito de Pacotuba, município de Cachoeiro de Itapemirim, sul do estado do Espírito Santo. A área experimental está localizada nas coordenadas geográficas: 20° 45' 17,31" de Latitude Sul e 41° 17' 8,86" de Longitude Oeste de Greenwich com altitude média de 113 metros conforme Figura 3.

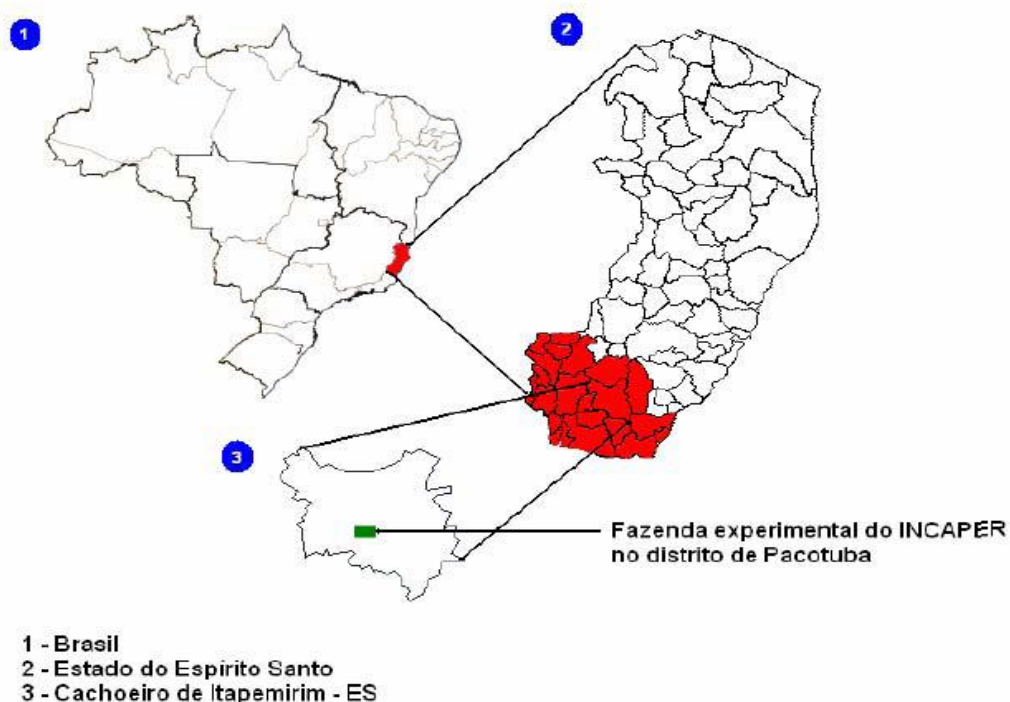


Figura 3. Localização da Fazenda Experimental Bananal do Norte, pertencente ao INCAPER no sul do estado do Espírito Santo. Fonte: Oliveira (2007).

O clima da região é do tipo Cwa, apresentando chuva mal distribuída ao longo do ano, com verão chuvoso e inverno seco de acordo com a classificação de Köpen. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 20°C e do mês mais quente superior a 27°C (OLIVEIRA, 2007).

Os dados climáticos foram obtidos da estação meteorológica do INCAPER, localizada na área de estudo. O regime pluviométrico dos anos de 2009 e 2010 corresponde ao período de amostragem (Figura 4), onde estão demonstradas as épocas de amostragem.

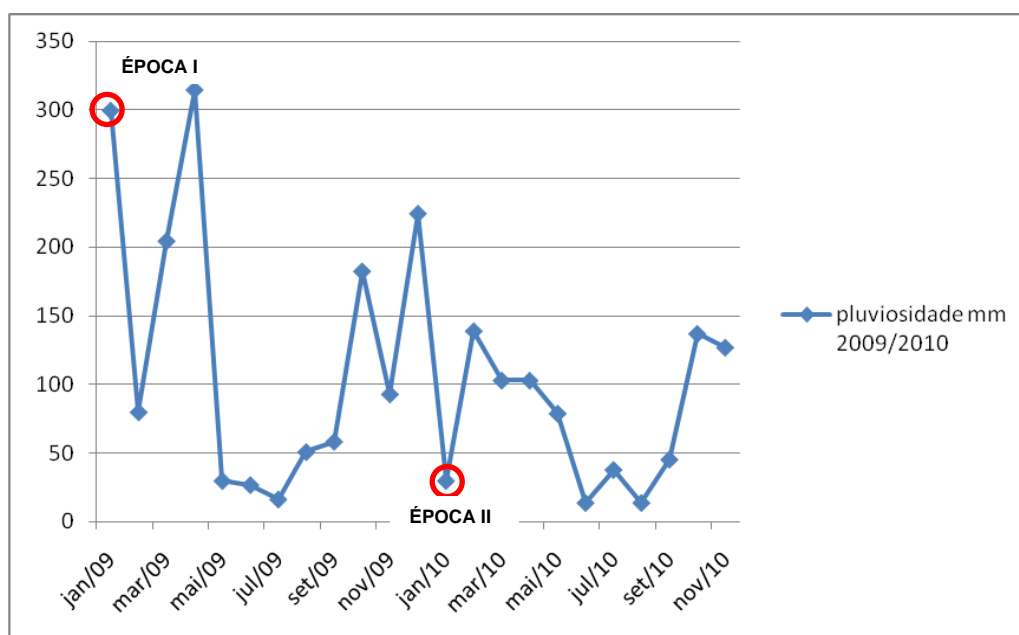


Figura 4. Regime pluviométrico na área de estudo para os anos de 2009 e 2010 em mm de chuva.

A região apresenta alta sazonalidade climática, sendo que as estações de baixas e altas pluviosidades estão bem definidas, corroborando com a classificação climática de Köpen. A estação seca ocorre entre os meses de abril e outubro, sendo que os meses de junho, julho e agosto são os de menor precipitação pluviométrica. Os períodos de maior índice pluviométrico iniciam-se aproximadamente na segunda

quinzena de outubro e se prolonga até a primeira quinzena de março, sendo os meses de novembro e dezembro os mais chuvosos (OLIVEIRA, 2007).

O relevo regional caracteriza-se como uma região com feições do tipo “Mar de Morros”, com relevo ondulado e cobertura vegetal natural de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, em cotas que variam de 100 a 150m de altitude. O material de origem é do tipo granito-gnáissico de origem pré-cambriana (IBGE, 1987). O solo da área experimental encontra-se sob Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura argilosa (EMBRAPA, 1978). Os valores de declividade ao longo da área variaram de 0,06 a 33,52% com média de 6,8%.

A espécie de café presente na área experimental é a *Coffea canephora* Pierre, var. Robusta Tropical – ‘Emcaper 8151’, sendo a primeira variedade melhorada de café conilon de propagação por sementes para o estado do Espírito Santo (Figura 5). O espaçamento da cultura é de 2,90 x 0,9 m.



Figura 5. Vista parcial da área experimental com café conilon var. Robusta Tropical.
Fonte: Oliveira, (2007).

Antes da implantação do café, a área foi utilizada com pastagem, constituída de braquiária e leucena. Inicialmente, fez-se uma limpeza da área através de roçagem e posteriormente uma destoca para implantação da lavoura. Na abertura das covas, em 1999, utilizou-se de um trado acionado pela tomada de potência (TDP) do trator. A adubação da lavoura desde a sua implantação tem sido com parcelamento de nitrogênio e potássio, utilizando o formulado (25-00-20), e fósforo, utilizando super simples, com as doses variando conforme análise de solo.

De acordo com informações oriundas de técnicos do INCAPER, o café é manejado com podas anuais, após cada colheita buscando manter, aproximadamente, de 12.000 a 15.000 hastes por hectare na área experimental e os restos culturais são deixados no campo, sem uma distribuição homogênea na área.

3.2- AMOSTRAGEM

Dentro da região selecionada foram demarcados pontos de amostragens em uma grade irregular, definidos como células, dentro de uma área de aproximadamente 6.000 m², totalizando 109 pontos. A demarcação foi realizada por meio do estaqueamento das cinco plantas representativas das células amostrais. As coordenadas de cada ponto amostral foram adquiridas com auxílio de um GPS topográfico, modelo GTR-1. Cada célula amostral foi composta de cinco plantas de café compondo uma área de 13,05 m². O georreferenciamento e coleta de solos para cada ponto corresponderam ao centro de cada célula, de acordo com a metodologia descrita por Balastreire et al. (1997), adaptada as condições deste estudo, conforme o esquema apresentado na Figura 6 (OLIVEIRA, 2007).

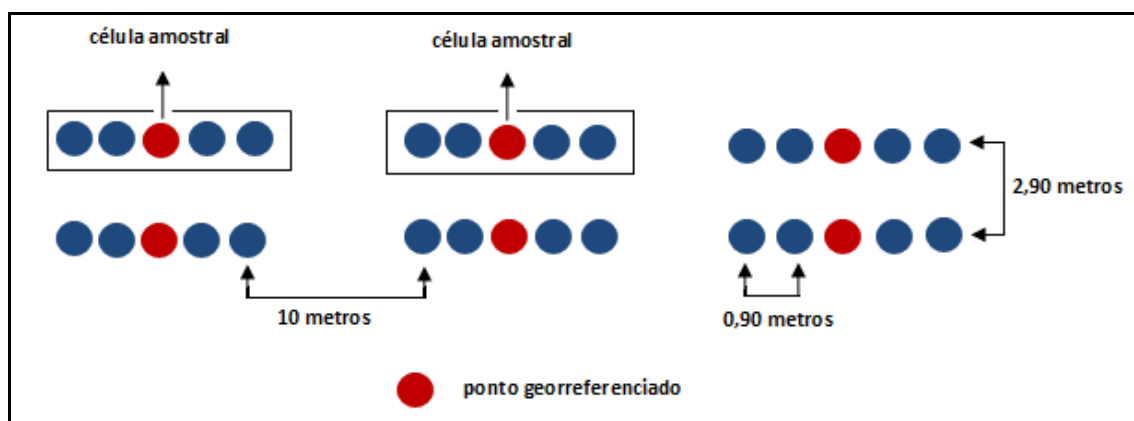


Figura 6. Esquema da metodologia de amostragem e demarcação das células.
Fonte: OLIVEIRA, (2007).

A amostragem dos atributos do solo foi realizada em duas épocas distintas de acordo com a pluviosidade. A amostragem referente à primeira coleta de dados foi realizada na primeira quinzena de janeiro de 2009 (Época I), nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, período este com maior índice pluviométrico (Figura 4). Já a amostragem referente à segunda coleta foi realizada na primeira quinzena de janeiro de 2010 (Época II) período de baixa pluviosidade. A coleta de amostras para realização das análises químicas foi realizada com auxílio de pá-reta, com a qual se retirou amostras compostas para determinações de carbono orgânico total e fracionamento químico das substâncias húmicas e determinação do carbono orgânico das frações que constituem as substâncias húmicas.

As amostras para determinação da densidade do solo foram retiradas em anel de aço de bordas cortantes (EMBRAPA, 1997), introduzidos no solo com auxílio do amostrador tipo Uhland. A densidade do solo foi avaliada pelo método do anel volumétrico, para posterior cálculo do estoque de carbono. A umidade do solo (kg kg^{-1}) foi determinada utilizando o método termogravimétrico (EMBRAPA, 1997).

As diferentes frações granulométricas (areia grossa, areia fina, silte e argila) foram determinadas conforme EMBRAPA (1997) com modificações. As amostras, após coletadas em campo com o auxílio de pá reta, foram destorroadas e passadas em

peneira com malha de 2 mm obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Determinaram-se as proporções, em %, de areia grossa (AG), areia fina (AF), silte (S) e argila total (AT), em cada amostra de solo. Para a realização da análise granulométrica, foi utilizado 10 g de TFSA, 50 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹, com agitação mecânica lenta (175 rpm), por 12 horas, adicionalmente com 10 esferas de aço de diâmetro de 4 mm. As frações de areia grossa e areia fina foram separadas, via peneiramento, utilizando, respectivamente, peneiras de malha 0,210 e 0,053 mm. As frações argila e silte, que englobam partículas com tamanho inferior a 0,053 mm, foram separadas por sedimentação, segundo a lei de Stokes. A caracterização química e física do solo em estudo para as profundidades 0-10 e 10-20 cm é apresentada na tabela 2. Os valores apresentados são a média dos 109 pontos amostrados.

Tabela 2. Caracterização dos atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho amarelo distrófico da área de estudo para as profundidades 0-10 e 10-20 cm

Atributo	Profundidade	
	0-10 cm	10-20 cm
pH (mg dm ⁻³)	4,91	4,65
Al (mg dm ⁻³)	0,11	0,18
Ca (mg dm ⁻³)	2,67	1,95
Mg (mg dm ⁻³)	0,93	0,66
P (mg dm ⁻³)	26,48	38,12
K (mg dm ⁻³)	196,08	233,20
Fe (mg dm ⁻³)	116,24	67,89
Cu (mg dm ⁻³)	1,89	1,51
Ds (g cm ⁻³)	1,24	1,31
PT (%)	52,33	50,52
Macro (%)	24,15	21,86
Micro (%)	28,17	28,64
Res Pen (MPa)	2,57	7,61
Areia Fina (%)	11,92	11,87
Areia Grossa (%)	32,17	29,80
Silte (%)	6,12	5,81
Argila (%)	49,80	52,51

Ds. Densidade do solo; PT. Porosidade total; Res Pen. Resistência à penetração.

Com os dados da altitude e das curvas de nível foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE), a partir do MDE extraíram-se planos de informação da declividade e do fluxo acumulado do escoamento superficial (Figura 7). O MDE foi produzido a partir de curvas de nível com intervalo de 1 metro. A interpolação das curvas de nível foi feita em uma estrutura de grade triangular, formando um MDE de formato TIN (Triangulated Irregular Network), sendo todo o procedimento realizado no programa ArcGIS 9.0 (ESRI, 2001) com a ferramenta *3D Analyst*. Posteriormente o MDE foi transformado para o formato *raster*, com tamanho de células (ou pixels) de 2 metros (Figura 7a). A partir do MDE *raster* foram extraídos os planos de informação da declividade em porcentagem (Figura 7c) e do fluxo acumulado do escoamento superficial (Figura 7b).

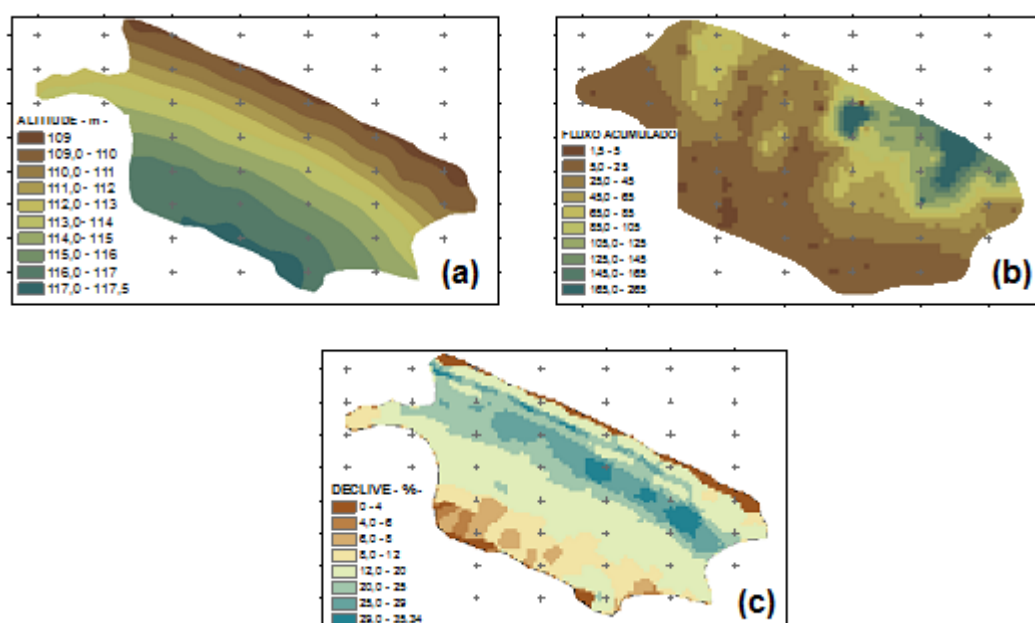


Figura 7. Modelo Digital de Elevação (a), Fluxo acumulado do escoamento superficial da área de estudo (b) e Declividade (c).

3.3 – DETERMINAÇÕES

3.3.1- Carbono Orgânico Total

Foram determinados os teores de carbono orgânico total das amostras de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) trituradas em almofariz e passadas em peneira de 0,210 mm por meio da oxidação da matéria orgânica por via úmida, utilizando-se solução de dicromato de potássio, $K_2Cr_2O_7$, em meio ácido (YEOMANS e BREMNER, 1988).

O procedimento metodológico consistiu na pesagem de 0,2 a 0,5 g do material de cada amostra. Após pesadas, as amostras foram colocadas em tubos de digestão e adicionados 5 mL de $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L⁻¹ e 7,5 mL de H_2SO_4 concentrado e levados a bloco digestor a 170°C por 30 minutos. Após o resfriamento, o conteúdo dos tubos foi transferido quantitativamente para erlenmeyers de 125 mL, utilizando-se água destilada suficiente para obter um volume final de aproximadamente 50 mL. Em seguida, foram adicionados 2 mL de H_3PO_4 concentrado e duas a três gotas de solução indicadora de ferroin.

A titulação do dicromato de potássio foi feita com sulfato ferroso amoniacal $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ 0,25 mol L⁻¹. Paralelamente, foram realizadas provas em branco, com e sem aquecimento.

O volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação (V), em mL, foi calculado pela equação (5):

$$V = (V_{bc} - V_a) [(V_{bs} - V_{bc}) / V_{bs}] + (V_{bc} - V_a) \quad (5)$$

em que:

V_{bc} : volume gasto de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ na titulação do branco com aquecimento em mL;

V_{bs} : volume gasto de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ na titulação do branco sem aquecimento em mL;

V_a : volume gasto de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ na titulação da amostra em mL.

Os teores de carbono orgânico total (COT), em g kg⁻¹, foram calculados pela seguinte expressão:

$$\text{COT} = \frac{[(V) (\text{molaridade Sulf. Ferroso}) (3) (1000)]}{\text{peso da amostra (mg)}} \quad (6)$$

em que:

3: 3 = 12 [(3/ 2)(1/ 6)], sendo 12: massa molar do carbono (g mol⁻¹); 3/2: relação de três moles de CO₂ produzidos para dois moles de Cr₂O₇²⁻ reduzidos; 1/6: relação molar entre um mol de Fe²⁺ oxidado para seis mols de Cr₂O₇²⁻ reduzidos na titulação.

3.3.2- Substâncias Húmicas

3.3.2.1- Extração e Fracionamento

O fracionamento químico das substâncias húmicas foi realizado com base nas características de solubilidade diferencial, obtendo como produtos as seguintes frações: ácidos fúlvicos (AF) - solúveis em ácido e em álcali; ácidos húmicos (AH) - solúveis em álcali e insolúveis em ácido; e huminas (HU) – insolúveis em ácido e em álcali (SCHNITZER, 1982).

Na extração, 1,5 g do material de cada amostra, triturado em almofariz e passado em peneira de 0,210 mm, foi colocado em tubos de centrífuga de 50 mL, onde receberam a adição de 15 ml de NaOH, 0,1 mol L⁻¹, agitado por uma hora em agitador horizontal a 175 rotações por minuto (rpm) e deixado em repouso por 24 horas. Após o repouso, o conjunto de extração foi centrifugado a 5.000 rpm por 20 minutos, transferindo-se o sobrenadante para recipientes de plástico de 70 mL de capacidade e reservando. Os tubos de centrífuga de 50 mL receberam novamente 15 mL da solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹, ressuspendendo-se o precipitado

manualmente, e deixados em repouso por uma hora. Após este período, as suspensões foram centrifugadas a 5.000 rpm por 20 minutos. Este procedimento foi repetido, seqüencialmente, por mais duas vezes. Todos os sobrenadantes foram misturados, totalizando-se um volume de 60 mL.

O material remanescente nos tubos de centrífuga, incluindo a fração HU e a matriz mineral do solo, foi seco em estufa a 45°C.

O sobrenadante, contendo as frações AF e AH dissolvidas, teve o seu pH ajustado para valor inferior a dois com solução de H_2SO_4 3,64 mol L^{-1} , possibilitando assim a precipitação da fração AH. Para total precipitação, a suspensão ficou de repouso por 18 horas, separando-se a fração AH da fração solúvel por centrifugação a 5.000 rpm por 10 minutos.

A porção solúvel do extrato acidificado, correspondente à fração AF, foi transferida para balão volumétrico de 100 mL e teve o seu volume aferido com água destilada. O precipitado (AH) recebeu aproximadamente 50 mL de solução de NaOH 0,1 mol L^{-1} , foi agitado manualmente e deixado em repouso por uma hora. Após redissolução, o volume foi aferido a 100 mL com a mesma solução de NaOH.

3.3.2.2- Determinação do carbono orgânico das frações húmicas

A determinação do C orgânico das frações AF, AH e HU, obtidas na extração, foi feita utilizando-se o processo de dicromatometria com aquecimento externo proposto por YEOMANS e BREMNER (1988).

O método consistiu na transferência de uma alíquota de 3 mL da fração AF para tubos de digestão, adicionando-se 5 mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,0083 mol L^{-1} e 10 mL de H_2SO_4 concentrado. Para a fração AH transferiu-se uma alíquota de 5 mL da amostra para tubos de digestão, adicionando 5 mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,0167 mol L^{-1} e 10 mL de H_2SO_4 concentrado. Após agitação, os tubos foram colocados em bloco digestor com 40 provas, pré-aquecido a 170°C, por 30 minutos.

Os extratos digeridos e resfriados foram transferidos quantitativamente para erlenmeyers de 125 mL, utilizando água destilada suficiente para um volume final de aproximadamente 50 mL. Logo, foram adicionados 2 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4) concentrado e duas a três gotas do indicador ferroin.

A titulação foi feita com solução de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ 0,02 e 0,01 mol L^{-1} para as frações AH e AF, respectivamente. Foram utilizados neste procedimento quatro brancos, sendo dois com aquecimento e dois sem aquecimento.

Para a fração HU, o material seco em estufa a 45°C foi triturado em almofariz e posteriormente recebeu 10 mL de solução de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,167 mol L^{-1} e 15 mL de H_2SO_4 concentrado.

A partir deste passo, o procedimento foi o mesmo descrito para as frações AH e AF, utilizando-se, contudo, solução mais concentrada de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ na titulação (0,4 mol L^{-1}). O cálculo dos teores de C orgânico da fração HU foi feito da mesma forma que para o COT.

Os teores de C orgânico, em g kg^{-1} , das frações AF e AH foram calculados pela seguinte expressão (7):

$$\text{COT}_{\text{AF,AH}} = \frac{\text{(V) (molaridade Sulf. Ferroso) (3) (1000) (VT)}}{\text{(VA) ((peso da amostra) (mg))}} \quad (7)$$

em que:

V: volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação mL;

3: $3 = 12 [(3/ 2)(1/ 6)]$, sendo 12: massa molar do carbono (g mol^{-1}); 3/2: relação de três mols de CO_2 produzidos para dois mols de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ reduzidos; 1/6: relação molar entre um mol de Fe^{2+} oxidado para seis mols de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ reduzidos na titulação;

VT: volume total obtido na extração de cada fração, em mL;

VA: quantidade de extrato utilizado para determinação do CO, em mL.

3.3.2.3- Recuperação de carbono das substâncias húmicas

Para cada profundidade do solo (0-10 e 10-20 cm), foi determinada a recuperação do carbono orgânico total nas frações húmicas, que foi avaliada pela soma das frações AF, AH e HU pelo COT ($AF+AH+HU/COT$). Essa relação avalia a porcentagem do COT recuperado no fracionamento das substâncias húmicas.

3.3.3- Estoque de carbono orgânico do solo

Para cada profundidade do solo (0-10, 10-20 cm) foi determinado o estoque de carbono. Esse estoque foi calculado multiplicando-se a concentração do elemento ($g\ kg^{-1}$) pela densidade do solo ($g\ cm^{-3}$) e a espessura da cama da do solo (cm). O resultado será dividido por 100, para obter o estoque de carbono em $kg\ m^{-2}$ (FIDALGO et al., 2007).

3.3.4- Relações entre algumas características estudadas

Após a determinação do carbono orgânico total e do carbono orgânico das substâncias húmicas, os resultados obtidos foram utilizados para a obtenção de relações entre as frações.

Foi determinada a relação AH/AF que é a relação entre os teores de carbono na forma de ácidos fúlvicos e ácidos húmicos e indica a mobilidade do carbono no solo. Outra relação determinada foi a EA/HU em que EA é a soma dos teores de carbono na forma de ácidos fúlvicos e os teores de carbono na forma de ácidos húmicos. Esta relação indica o potencial de iluviação da matéria orgânica (BENITES et al., 2001).

A relação entre AF 0-10 cm e AF 10-20 cm (AF_{0-10}/AF_{10-20}), foi determinada com o intuito de verificar a movimentação dessa fração ao longo das profundidades estudadas. Em decorrência da diferença entre massa molar, quantidade de grupamentos ácidos, graus de aromatização e tipos de grupos funcionais, as substâncias húmicas possuem diferentes comportamento químico e mobilidade no solo. Nesse sentido, diversos trabalhos apontam os ácidos fúlvicos como frações mais móveis no solo, podendo percolar no perfil do solo dissolvidos na água de drenagem, formando complexos ou não, e ficando retidos em maiores profundidades (CANELLAS e FAÇANHA, 2004).

3.4- ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

3.4.1- Análise Exploratória e Descritiva

A análise dos atributos químicos do solo relacionados a matéria orgânica foi realizada com intuito de se comparar as duas épocas de amostragem. Primeiramente os dados foram submetidos à análise descritiva no programa Statistica (STATSOFT, 2004), analisando medidas de posição (média, mediana e moda), medidas de dispersão (desvio padrão, coeficientes de variação, de assimetria e curtose, valores máximo e mínimo) e posteriormente a normalidade dos dados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) ao nível de 5% de probabilidade.

Para alguns atributos foram verificados valores discrepantes (*outliers*), de acordo com critérios que indicam os outliers como sendo todos os valores abaixo do limite inferior (LI) e acima do limite superior (LS), sendo LI e LS estimados pela equação 8:

$$LI = P_{25^{\circ}} - 1,5 * (P_{75^{\circ}} - P_{25^{\circ}})$$

(8)

$$LS = P_{75^{\circ}} + 1,5 * (P_{75^{\circ}} - P_{25^{\circ}})$$

em que:

$P_{25^{\circ}}$ - percentil onde se encontram 25% dos dados;

$P_{75^{\circ}}$ - percentil onde se encontram 75% dos dados.

Verificando que estes valores discrepantes influenciaram a análise geoestatística, esses *outliers* foram substituídos pela média dos valores dos cinco pontos vizinhos, sendo realizadas as análises estatísticas novamente (SOUZA et al., 2004). Os *outliers* podem produzir alta variabilidade e distorção dos dados em torno da média, prejudicando a normalidade e influenciando a análise geoestatística. Esses dados foram utilizados para a execução da análise geoestatística e posterior confecção dos mapas de distribuição espacial dos atributos estudados.

3.4.2- Análise Geoestatística

A análise geoestatística foi aplicada para verificar a existência de dependência e, se confirmada quantificar a dependência espacial dos atributos químicos relacionados à matéria orgânica do solo, a partir de ajustes de semivariogramas teóricos aos semivariogramas experimentais.

O *software* GS⁺ foi usado para a análise geoestatística (ROBERTSON, 1998), sendo que o semivariograma experimental foi avaliado de acordo com Vieira (2000). Os modelos testados no programa GS⁺ foram: esférico, exponencial, gaussiano e linear. A escolha do modelo adotado foi baseada na minimização da soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e no coeficiente de determinação R^2 do ajuste dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais.

Para avaliação dos modelos teóricos utilizou-se a validação cruzada, que se baseia em menores valores da média do erro reduzido e valores da variância do erro reduzido mais próximos a um para indicar os modelos com melhores ajustes (GOOVAERTS, 1997). Adicionalmente utilizaram-se os valores da validação

cruzada. Esse procedimento auxiliou na escolha entre os modelos teóricos mais bem ajustados.

Confirmada a dependência espacial por meio da análise geoestatística, foram estimados valores para locais não amostrados por meio da krigagem ordinária, gerando mapas da distribuição espacial dos atributos relacionados à matéria orgânica do solo e suas frações. Todo o procedimento foi realizado no programa ArcGIS 9.0 (ESRI, 2001) com o módulo *Geoestatística Analyst*.

4.0- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- ANÁLISE DESCRITIVA

A presença de *outliers* influenciou tanto as medidas de posição quanto as medidas de dispersão, resultando em maior amplitude dos dados estudados. Segundo Gonçalves et al. (2001) a presença de valores discrepantes pode influenciar na análise geoestatística dos dados.

Os resultados da análise descritiva dos dados referentes à primeira época de amostragem nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm são apresentados na Tabela 3. E os resultados da análise descritiva referente à segunda época de amostragem para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm são apresentados na Tabela 3.

O coeficiente de assimetria (C_s) é utilizado para caracterizar como e quanto à distribuição de frequências se afasta da simetria: se $C_s > 0$, tem-se a distribuição assimétrica à direita; se $C_s < 0$, a distribuição é assimétrica à esquerda. Observa-se para a primeira época de amostragem (Tabela 3) que a maioria dos atributos relacionados à matéria orgânica do solo apresenta C_s positivo, indicando uma maior frequência de valores maiores que a média. Esses resultados concordam com os encontrados por Zanão Júnior (2007) para matéria orgânica na profundidade de 0-20 cm e Sanchez (2010) que encontrou C_s positivo para COT em diferentes

profundidades. As variáveis HU nas duas profundidades estudadas, tanto para dados originais quanto para trabalhados e EST C na profundidade 0-10 cm, para dados trabalhados, apresentaram Cs negativo indicando a tendência de maior frequência de valores abaixo da média. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Souza et al. (2003) que observaram Cs negativo para MOS em diferentes formas de relevo em um Latossolo. Zanão Júnior et al. (2007) também observaram valores negativos do Cs para COT nas mesmas profundidades estudadas em um Latossolo Vermelho.

Para a segunda época de amostragem verificou-se que a maioria dos atributos apresentou Cs positivo. As exceções à afirmativa anterior foram observadas para as frações AF para dados trabalhados nas duas profundidades (0-10 e 10-20 cm), HU para dados trabalhados e COT, ambos na profundidade 10-20 cm e EST C na profundidade 10-20 cm para dados trabalhados

Segundo Isaaks e Srivastava (1989), o coeficiente de assimetria é mais sensível a valores extremos do que outras medidas como o coeficiente de variação, devido a essa característica somente um valor discrepante pode influenciar fortemente esse coeficiente.

Quanto ao coeficiente de curtose (Ck), que mostra a dispersão (achatamento) da distribuição em relação a um padrão, geralmente a curva normal, em que: se $Ck = 0$ a distribuição é mesocúrtica, se $Ck < 0$ platicúrtica e se $Ck > 0$ leptocúrtica. Observa-se que a maioria dos atributos do solo na primeira época de amostragem apresentaram Ck positivo, o que indica uma distribuição leptocúrtica, ou seja, uma curva mais afinada do que a curva normal. Esses resultados concordam com os encontrados por Moreira (2007), que observou valores de Ck positivos para COT, AF e HU para diferentes profundidades e Sanchez et al. (2010) que observaram valores de Ck positivos para diferentes formas do relevo. Alguns atributos apresentaram Ck negativo, o que indica uma distribuição platicúrtica ou uma curva mais achatada do que a curva normal. Para a segunda época de amostragem o comportamento do Ck foi o inverso do apresentado na primeira época de amostragem, sendo que a maioria dos atributos estudados apresentou Ck negativo.

A média e mediana dos dados foram similares para todas as variáveis estudadas, mostrando uma tendência de esses dados apresentarem distribuição normal, o que é confirmado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), ao nível de 5% de probabilidade. Analisando os resultados do teste de normalidade observa-se que apenas a fração AF na primeira época de amostragem nas duas profundidades em estudo e umidade do solo nas mesmas profundidades para as duas épocas de amostragem apresentaram distribuição não normal. Contudo, deve-se destacar que a geoestatística não exige distribuição normal dos dados para ser aplicada.

Tabela 3. Sumário da estatística descritiva dos atributos carbono orgânico das frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH), humina (HU), carbono orgânico total (COT), estoque de carbono (EST C), umidade do solo e densidade do solo (Ds) nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, na primeira época de amostragem

Variável	Prof. (cm)	Média	Med	Mín	Máx	S	CV %	Cs	Ck	d K-S p-valor
AF (g kg ⁻¹)	0-10	2,67	2,56	1,12	7,56	0,83	31,14	2,67	11,96	p<0,05*
	10-20	2,62	2,42	1,23	4,75	0,70	26,50	1,11	0,94	p<0,05*
AH (g kg ⁻¹)	0-10	2,94	2,89	1,22	6,85	1,03	34,86	1,26	2,67	p>0,05 ^{ns}
	10-20	2,67	2,56	0,69	6,64	1,16	43,33	0,74	1,21	p>0,05 ^{ns}
HU (g kg ⁻¹)	0-10	8,64	8,71	4,62	11,83	1,56	18,02	-0,54	0,02	p>0,05 ^{ns}
	10-20	7,00	7,11	4,22	9,90	1,11	15,82	-0,27	0,35	p>0,05 ^{ns}
COT (g kg ⁻¹)	0-10	18,64	18,69	12,95	24,80	2,77	14,85	0,01	-0,73	p>0,05 ^{ns}
	10-20	17,30	16,46	9,49	22,04	4,12	23,82	0,22	-0,89	p>0,05 ^{ns}
EST C (kg m ⁻²)	0-10	2,38	2,36	1,54	3,59	0,36	15,49	0,87	-0,39	p>0,05 ^{ns}
	10-20	2,20	2,10	1,10	3,41	0,55	24,95	0,14	-0,03	p>0,05 ^{ns}
Umidade (%)	0-10	22,10	22,22	10,96	50,64	6,61	29,89	1,22	3,87	p<0,05*
	10-20	24,96	24,54	10,09	48,43	6,69	26,81	0,42	1,00	p<0,05*
Ds (g cm ⁻³)	0-10	1,27	1,28	1,13	1,39	0,05	4,38	-0,27	0,01	p>0,05 ^{ns}
	10-20	1,27	1,26	1,03	1,58	0,06	5,48	0,52	3,43	p>0,05 ^{ns}

Prof.- profundidade; Med- mediana; Mín- mínimo; Máx- máximo; s- desvio padrão; CV- coeficiente de variação; Cs- assimetria; Ck- curtose; ns- distribuição normal pelo teste de Kolmogorov Smirnov (KS) a 5% de probabilidade; * - distribuição não normal.

Tabela 4. Sumário da estatística descritiva dos atributos carbono orgânico das frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH), humina (HU), carbono orgânico total (COT), umidade do solo e densidade do solo (Ds) nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, na segunda época de amostragem

Variável	Prof. (cm)	Média	Med	Mín	Máx	s	CV %	Cs	Ck	d K-S p-valor
AF (g kg ⁻¹)	0-10	2,82	2,80	1,45	4,39	0,53	18,83	0,19	0,54	p>0,05 ^{ns}
	10-20	2,32	2,35	1,43	3,84	0,44	18,82	0,28	0,43	p>0,05 ^{ns}
AH (g kg ⁻¹)	0-10	2,47	2,43	1,59	4,01	0,42	16,85	1,09	2,37	p>0,05 ^{ns}
	10-20	1,93	1,95	0,73	3,10	0,53	27,56	0,11	-0,81	p>0,05 ^{ns}
HU (g kg ⁻¹)	0-10	9,33	9,27	7,22	13,28	1,14	12,24	0,45	0,36	p>0,05 ^{ns}
	10-20	8,24	8,28	6,40	11,39	1,02	12,41	0,76	0,87	p>0,05 ^{ns}
COT (g kg ⁻¹)	0-10	20,84	20,90	16,07	24,43	1,86	8,90	-0,29	-0,15	p>0,05 ^{ns}
	10-20	19,98	19,85	14,08	25,41	2,25	11,28	0,01	-0,07	p>0,05 ^{ns}
EST C (kg m ⁻²)	0-10	2,71	2,71	1,83	3,51	0,33	12,41	0,15	-0,58	p>0,05 ^{ns}
	10-20	2,55	2,55	1,80	3,38	0,33	12,97	0,05	-0,02	p>0,05 ^{ns}
Umidade (%)	0-10	11,89	11,31	2,29	48,43	6,02	50,52	2,96	2,31	p<0,05*
	10-20	14,41	14,35	4,40	48,28	6,64	46,09	3,31	2,17	p<0,05*
Ds (g cm ⁻³)	0-10	1,20	1,20	1,13	1,39	0,07	6,10	-0,52	0,52	p>0,05 ^{ns}
	10-20	1,25	1,24	1,03	1,58	0,08	6,82	0,52	3,43	p>0,05 ^{ns}

Prof.- profundidade; Med- mediana; Mín- mínimo; Máx- máximo; s- desvio padrão; CV- coeficiente de variação; Cs- assimetria; Ck- curtose; ns- distribuição normal pelo teste de Kolmogorov Smirnov (KS) a 5% de probabilidade; * - distribuição não normal.

A variabilidade dos dados medida pelo coeficiente de variação (CV) foi baseada na classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), para atributos do solo, que consideram: variabilidade baixa (CV < 12%); média (12% < CV < 60%) e alta (CV > 60%). De acordo com esses mesmos autores, alguns atributos de solo podem apresentar CV variando entre 10 a 100%. A variabilidade é decorrente a diferentes processos como manejo, erosão e natureza da variável estudada. Observa-se na Tabela 3 que os valores do CV de todos os atributos estudados apresentaram valores de CV na faixa de média variabilidade (valores entre 12 e 60%). Sanchez (2010) encontrou valores de CV na faixa de média variabilidade para EST C em

diferentes profundidades. Observando o CV dos atributos estudados na segunda época de amostragem (Tabela 3), nota-se CV na faixa de baixa variabilidade para a fração HU, COT e Ds nas duas profundidades estudadas, os demais atributos apresentaram CV na faixa de média variabilidade. O CV da maioria dos atributos foi maior na primeira época de amostragem quando comparados aos da segunda época de amostragem, esse comportamento pode ser explicado pela presença de maiores índices pluviométricos na primeira época de amostragem o que pode levar a uma maior variação dos atributos, especialmente aqueles que apresentam maior mobilidade como é o caso do AF.

Variáveis relacionadas à matéria orgânica como as frações ácido fúlvico e ácido húmico apresentaram maior variabilidade quando comparados aos outros atributos, tanto na camada de 0-10 cm quanto na camada de 10-20 cm, este comportamento está relacionado ao manejo de restos culturais (folhas, galhos e hastes) que são deixados na área após as podas aumentando a variação na área estudada.

Com relação aos teores de carbono das substâncias húmicas observa-se que a fração que predomina nas diferentes profundidades foi a fração humina, independente da época de amostragem, o que está de acordo com o exposto por Benites et al. (2003) que afirmam que em solos tropicais esta fração representa a maior parte do carbono humificado. Para Leite et al. (2003), o fato de a fração humina apresentar maior percentagem do COT, deve-se a menor estabilidade das frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, assim estão mais suscetíveis a processos de movimentação no perfil, ou mineralização, diminuindo sua composição percentual no solo. Os teores de carbono da fração AH foi maior do que o os teores de carbono na fração AF para a primeira época de amostragem, comportamento inverso foi encontrado para a segunda época de amostragem. Estes resultados mostram que na época em que houve maior pluviosidade e maior teor de umidade do solo ocorreu maiores perdas da fração AF seja por sua maior mobilidade horizontal seja por sua solubilidade e degradabilidade. Já na segunda época de amostragem o baixo teor de umidade no solo aliado a baixa pluviosidade contribuiu para uma menor perda ou mineralização e conseqüentemente menor movimentação da fração AF.

Tabela 5. Comparação entre as épocas de amostragem das médias dos atributos ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH), humina (HU), carbono orgânico total (COT), estoque de carbono, umidade do solo e densidade do solo (Ds), nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, pelo teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade

Variável	Prof. (cm)	Época I	Época II
AF (g kg ⁻¹)	0-10	2,67 b	2,82 a
	10-20	2,62 a	2,32 b
AH (g kg ⁻¹)	0-10	2,94 a	2,47 b
	10-20	2,67 a	1,93 b
HU (g kg ⁻¹)	0-10	8,64 b	9,33 a
	10-20	7,00 b	8,24 a
COT (g kg ⁻¹)	0-10	12,87 b	21,22 a
	10-20	10,33 b	20,04 a
EST C (kg m ⁻²)	0-10	1,62 b	2,71 a
	10-20	1,30 b	2,55 a
UMIDADE (%)	0-10	22,10 a	11,89 b
	10-20	24,96 a	14,41 b
Ds (g cm ⁻³)	0-10	1,27 a	1,20 a
	10-20	1,27 a	1,25 a

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t-Student.

Quanto aos teores dos diferentes atributos relacionados à matéria orgânica observa-se que para COT os teores variaram de 18 a 20 g kg⁻¹ para a primeira época de amostragem e 20 a 21 g kg⁻¹ na segunda época de amostragem. Esses valores são semelhantes aos encontrados por Effgen et al. (2008) que observaram teores de COT variando entre 9-15 g kg⁻¹ para café conilon na profundidade de 0-20 cm. Guedes Filho et al., (2009); Bayer et al., (2004) e Souza et al., (2003), que observaram valores de carbono total variando entre 10-15 g kg⁻¹ na camada agricultável (0-20 cm). Quanto aos teores de estoque de carbono os valores encontrados foram de 1,3 a 2,7 kg m⁻², valores semelhantes forma encontrados por Fidalgo et al. (2007), que estudando teores de estoque de carbono em classes de solo para todo Brasil encontraram valores de 2 a 4 kg m⁻² para Latossolos na

camada agricultável. Esses valores comparados a outros agroecossistemas como a Mata Atlântica ($4-6 \text{ kg m}^{-2}$) (FIDALGO et al, 2007), são considerados baixos devido ao inferior aporte de material vegetal do cultivo de café conilon quando comparado ao da Mata Atlântica.

Os atributos relacionados a MOS para as diferentes épocas de amostragem (Tabela 5), verifica-se maiores teores para os atributos COT, HU nas duas profundidades estudadas e AF na profundidade de 0-10 cm para a segunda época de amostragem, período com menor índice pluviométrico, e de baixa umidade no solo. Esses fatores aliados a diferença de tempo de uma amostragem para a outra podem explicar o acréscimo dos teores dos atributos do solo na época com baixa umidade do solo. A umidade do solo é um dos fatores que regula a decomposição da MOS e das substâncias húmicas. Segundo Loures e Mendonça (1995) todos os microrganismos, enzimas e organismos do solo dependem da água para o seu crescimento e desenvolvimento. Assim, o teor de água do solo irá influenciar a decomposição da matéria orgânica. Em situações onde se tem excesso de umidade no solo verifica-se redução na velocidade de decomposição decorrente da redução nas atividades microbiana e enzimática. A poda feita entre as duas épocas de amostragem propiciou um elevado aporte de resíduos vegetais na área o que contribuiu para o aumento dos teores de COT e HU na segunda época de amostragem.

Na tabela 6 são apresentados os resultados referentes às relações entre as frações das substâncias húmicas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm para as duas épocas de amostragem. As médias das relações entre as frações das substâncias húmicas, nas duas épocas de amostragem, foram comparadas pelo teste t-Student ao nível de 5% de probabilidade. A relação AH/AF, que avalia a mobilidade ou potencial de perda do carbono no solo, foi de 1,20 para a profundidade de 0-10 cm e 0,85 para 10-20 cm, na primeira época de amostragem, relações AH/AF maiores que um confere ao húmus um caráter húmico, mostrando um predomínio da fração AH em relação à fração AF apresentando assim um material orgânico mais estável. Resultados semelhantes forma encontrados por Fontana et al. (2001). Já na segunda época de amostragem os valores foram de 0,91 na profundidade de 0-10 cm e 0,85 para 10-20 cm. Observando os resultados do teste de médias da relação

AH/AF (Tabela 6), nota-se que houve diferença significativa entre as diferentes profundidades, dentro de cada época de amostragem. Segundo Cunha (2005), relações inferiores a um podem indicar evolução limitada da matéria orgânica devido a razões edáficas ou de manejo ou aportes recentes de matéria orgânicas. Barreto et al. (2008), encontraram valores de AH/AF menores que um para diferentes usos de solo. Comparando as diferentes épocas, observa-se uma redução na relação AH/AF da época I para a época II, fato que pode estar relacionado aporte de MOS e a baixa umidade do solo neste período. A ocorrência recente da poda entre uma época de amostragem e outra pode ter contribuído substancialmente para a diminuição da relação AH/AF, pois o material recém introduzido ao solo não possibilita total decomposição assim a um predomínio de frações que são mais solúveis como o AF em relação a fração AH.

Tabela 6. Relações entre as frações das substâncias húmicas nas profundidades 0-10 e 10-20 cm para as duas épocas de amostragem

Relações	Prof. (cm)	ÉPOCA I	ÉPOCA II
AH/AF	0-10	1,20 a	0,91 b
	10-20	0,85 a	0,85 a
AF ₀₋₁₀ /AF ₁₀₋₂₀		1,05 b	1,26 a
EA/HU	0-10	0,66 a	0,57 b
	10-20	0,77 a	0,52 b
REC C	0-10	77,61 a	69,65 b
	10-20	74,45 a	62,97 b

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t-Student.

Quanto a relação EA/HU, o extrato alcalino (EA) representa a soma dos teores de C nas frações AF e AH, e indica o potencial de iluviação da matéria orgânica do solo (Benites et al, 2003) os valores foram de 0,66 e 0,77 para as profundidades de 0-10

e 10-20 cm respectivamente, na primeira época de amostragem. Para a segunda época amostragem os valores foram de 0,57 e 0,52 para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm respectivamente. Observando a comparação das médias da relação EA/HU (Tabela 5), verifica-se que houve diferença significativa entre as profundidades nas duas épocas de amostragem e entre as épocas. Valores da relação EA/HU menores que um, indicam o predomínio de compostos orgânicos de elevado peso molecular.

A recuperação de carbono das substâncias húmicas (REC C) teve comportamento distinto tanto para as profundidades estudadas quanto para as épocas de amostragem. Na primeira época de amostragem os valores da REC C foram superiores para a profundidade 10-20 cm quando comparados a profundidade 0-10 cm. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato da profundidade 0-10 cm possuir maiores teores de argila, conforme mostra Sarnaglia et al. (2010) que avaliando a distribuição espacial das frações granulométricas para a mesma área de estudo, obteve maiores teores de argila na profundidade 0-10 cm. Esse maior teor de argila pode levar a uma proteção do carbono entre as partículas de argila tornando sua retirada mais dificultada, o que leva a uma menor taxa de recuperação de carbono nesta profundidade.

A relação AF_{0-10}/AF_{0-20} , indica a movimentação dessa fração ao longo do perfil do solo. Valores maiores que um evidencia uma maior presença da fração AF na primeira profundidade e em média menor movimentação dessa fração, mas como em algumas regiões do relevo ocorreram valores menores que um, a análise da movimentação dessa fração ao longo do perfil do solo pode ser mais bem explicada através dos mapas de distribuição espacial.

4.2- ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

O uso do semivariograma para a análise geoestatística permitiu verificar a presença de dependência espacial para todos os atributos relacionados à matéria orgânica do solo nas diferentes épocas de amostragem para as profundidades 0-10 e 10-20 cm, indicando que a malha amostral utilizada foi adequada para quantificar a

variabilidade espacial. Para a umidade do solo não foi possível verificar a presença de dependência espacial, sendo que este atributo apresentou efeito pepita puro, que significa a inexistência de dependência espacial, sendo as amostras independentes entre si. Assim o comportamento deste atributo não pode ser explicado utilizando-se as técnicas geoestatísticas. Os parâmetros obtidos a partir dos modelos teóricos que apresentam melhor ajuste aos semivariogramas experimentais são apresentados na Tabela 7.

Os modelos que apresentaram melhor ajuste aos semivariogramas dos atributos relacionados à matéria orgânica do solo em estudo são o esférico, o exponencial e o gaussiano. O modelo que ajustou com maior frequência aos dados foi o esférico, juntamente com o exponencial. De acordo com Mcbratney e Webster (1986), os modelos que mais se ajustam aos atributos do solo são o esférico e o exponencial. Estes resultados concordam com diversos trabalhos de variabilidade espacial que indicam que o modelo esférico (TRANGMAR et al., 1985; SALVIANO et al., 1998; BERTOLANI e VIEIRA, 2001; SOUZA et al., 2004; BOLFE et al., 2007; CAVALCANTE et al., 2007; SIQUEIRA et al., 2008; SOUZA, 2009; GUEDES FILHO et al., 2010) e modelos exponenciais (CARVALHO et al., 2002; SILVA et al., 2003) foram os mais adequados.

Observa-se, no ajuste do modelo teórico ao semivariograma experimental um valor de R^2 superior a 90% para os atributos relacionados à matéria orgânica nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, para as duas épocas de amostragem, com exceção do AF e COT na profundidade de 0-10 cm que apresenta R^2 89,4 e 87,5% respectivamente, na primeira época de amostragem, AH 0-10 cm e HU 10-20 cm, que apresenta R^2 de 87,5 e 77,7% respectivamente, na segunda época de amostragem, enquanto a SQR é baixa para todos os atributos em relação aos outros modelos testados. Esses resultados mostraram que a maior parte da variabilidade apresentada pelos dados foi explicada pelos modelos teóricos escolhidos. Robertson (1998) relatou que a SQR é um parâmetro mais robusto do que o R^2 e confere uma medida mais precisa do modelo ajustados, sendo que o *software* GS⁺ utiliza uma combinação de parâmetros do semivariograma para a minimização da SQR para cada modelo (SOUZA, 2009).

Tabela 7. Análise geoestatística dos atributos relacionados à matéria orgânica do solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, nas duas épocas de amostragem

Variável	Prof. (cm)	Modelo	C ₀	C ₀ + C	a	IDE	R ²	SQR	Validação Cruzada	
									variância	média
ÉPOCA I										
AF (g kg ⁻¹)	0-10	EXP	0,0001	0,153	8,40	99,90	89,40	2,72 e-4	1,125	-0,006
	10-20	EXP	0,0153	0,193	9,42	92,10	97,80	5,37 e-5	0,984	0,012
AH (g kg ⁻¹)	0-10	GAU	0,0010	0,537	6,94	99,80	99,50	4,93 e-4	1,021	0,005
	10-20	ESF	0,0010	0,997	6,22	99,90	93,60	9,37 e-3	0,982	-0,008
HU (g kg ⁻¹)	0-10	GAU	0,2380	2,248	4,93	90,20	99,60	1,43 e-3	1,035	-0,016
	10-20	ESF	0,0420	0,966	5,79	95,70	95,90	9,02 e-4	1,039	-0,019
COT (g kg ⁻¹)	0-10	ESF	0,0100	5,980	9,03	98,40	87,50	0,445	1,086	-0,014
	10-20	ESF	0,0100	4,598	6,77	99,80	97,10	0,246	1,042	-0,021
EST C (kg m ⁻²)	0-10	ESF	0,0001	0,083	6,21	99,90	87,50	5,83 e-4	1,076	-0,011
	10-20	ESF	0,0001	0,059	8,01	99,80	81,30	6,60 e-5	1,090	-0,002
AF ₀₋₁₀ / AF ₁₀₋₂₀		GAU	0,0001	0,525	9,81	99,80	93,40	1,26 e-4	1,040	0,032
Ds (g cm ⁻³)	0-10	ESF	0,0005	0,002	6,79	97,90	84,30	5,80 e-9	1,041	0,054
	10-20	ESF	0,0007	0,005	6,95	98,60	86,70	2,98 e-7	0,984	0,009
Umidade (%)	0-10	EPP	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-20	EPP	-	-	-	-	-	-	-	-
ÉPOCA II										
AF (g kg ⁻¹)	0-10	EXP	0,0021	0,220	6,54	99,10	98,60	1,20 e-5	1,032	-0,017
	10-20	EXP	0,0033	0,160	7,20	98,00	99,00	6,18 e-6	0,985	0,025
AH (g kg ⁻¹)	0-10	EXP	0,0034	0,100	9,21	96,70	87,50	2,85 e-5	1,012	-0,014
	10-20	ESF	0,0256	0,280	10,15	91,00	98,80	1,24 e-4	0,988	0,019
HU (g kg ⁻¹)	0-10	GAU	0,2280	1,120	5,92	79,70	99,90	1,35 e-4	1,009	0,025
	10-20	GAU	0,0230	0,730	5,43	96,90	77,70	0,011	0,989	0,034
COT (g kg ⁻¹)	0-10	ESF	0,0930	3,110	6,40	97,00	90,30	0,0453	1,091	0,009
	10-20	GAU	0,0100	4,800	6,65	99,80	94,00	0,259	1,032	0,020
EST C (kg m ⁻²)	0-10	GAU	0,0092	0,110	4,81	99,20	82,20	1,60 e-4	0,981	-0,020
	10-20	GAU	0,0001	0,090	7,95	99,90	89,10	4,92 e-4	1,058	0,012
AF ₀₋₁₀ / AF ₁₀₋₂₀		EXP	0,0054	0,130	12,21	96,00	98,20	4,98 e-5	1,075	-0,025
Ds (g cm ⁻³)	0-10	ESF	0,0025	0,007	5,19	96,00	94,30	7,80 e-6	0,064	1,001
	10-20	ESF	0,0027	0,015	5,95	99,60	96,70	4,98 e-8	0,019	0,953
Umidade (%)	0-10	EPP	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-20	EPP	-	-	-	-	-	-	-	-

EXP- exponencial; ESF- esférico; GAU- gaussiano; EPP- efeito pepita puro; Co- efeito pepita; Co+C- patamar; a- alcance; IDE- índice de dependência espacial; R²- coeficiente de determinação do semivariograma; SQR- soma de quadrados do resíduo do semivariograma. *- classificação do IDE, forte (IDE>75%), moderado (25<IDE<75%) e fraco (IDE<25%) (ZIMBACK, 2001).

A análise dos semivariogramas para os atributos relacionados à matéria orgânica do solo em estudo não indica nenhuma direção preferencial, ou seja, os dados não são anisotrópicos, assim a variabilidade espacial dos dados ocorre de forma isotrópica ou similar para em todas as direções (VIEIRA, 2000).

O alcance (a) é parâmetro que define a distância máxima em que o valor de uma variável possui dependência espacial entre amostras sendo o limite entre a utilização da estatística clássica e da geoestatística. Amostragens realizadas a distâncias maiores que o alcance são consideradas independentes, podendo ser aplicada a estatística clássica, já as amostragens realizadas a distâncias menores que o alcance são dependentes, ou seja, são correlacionadas espacialmente uma com as outras, permitindo que se façam interpolações para espaçamentos menores que o amostrado (SILVA et al., 2003).

O maior alcance observado nas duas épocas de amostragem foram para a relação AF_{0-10}/AF_{10-20} , apresentando 9,81 m para a primeira época de amostragem e 12,21 m para a segunda. Os semivariogramas dos atributos relacionados a matéria orgânica do solo apresentaram alcances superiores aos do espaçamento mínimo adotado na amostragem (2,9 m), o alcance foi maior para os atributos que apresentam maior mobilidade no solo como a fração AF na primeira época de amostragem, período este com maior pluviosidade e umidade do solo, do que para a segunda época de amostragem, período de menor pluviosidade e baixa umidade do solo (Tabela 6). Esse comportamento mostra maior dispersão ou maior mobilidade especialmente da fração AF na primeira época de amostragem, evidenciando a contribuição do manejo e da época de amostragem na distribuição dessa fração.

O comportamento dos valores do alcance mostra a influência do clima e relevo na distribuição da fração AF e COT no solo. Atributos que possuem maior mobilidade no solo apresentaram valores de alcance superiores na primeira época de amostragem, como é o caso do AF que apresentou maior dispersão na área, pelo fato da fração ácido fúlvico possuir tamanho menor molecular, o que lhe permite maior mobilidade principalmente quando formam complexos com íons metálicos (WENG et al, 2002) e ser mais suscetível a movimentações na direção do fluxo do escoamento superficial, o que leva a uma dispersão dos teores de AF em maiores

distâncias. Já o COT apresentou maior alcance provavelmente devido a presença de áreas de enriquecimento desse atributo em regiões diferentes do relevo.

Nas Figuras 8, 9 e 10 são apresentados os modelos dos semivariogramas teóricos ajustados aos dados dos atributos estudados nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm nas duas épocas de amostragem.

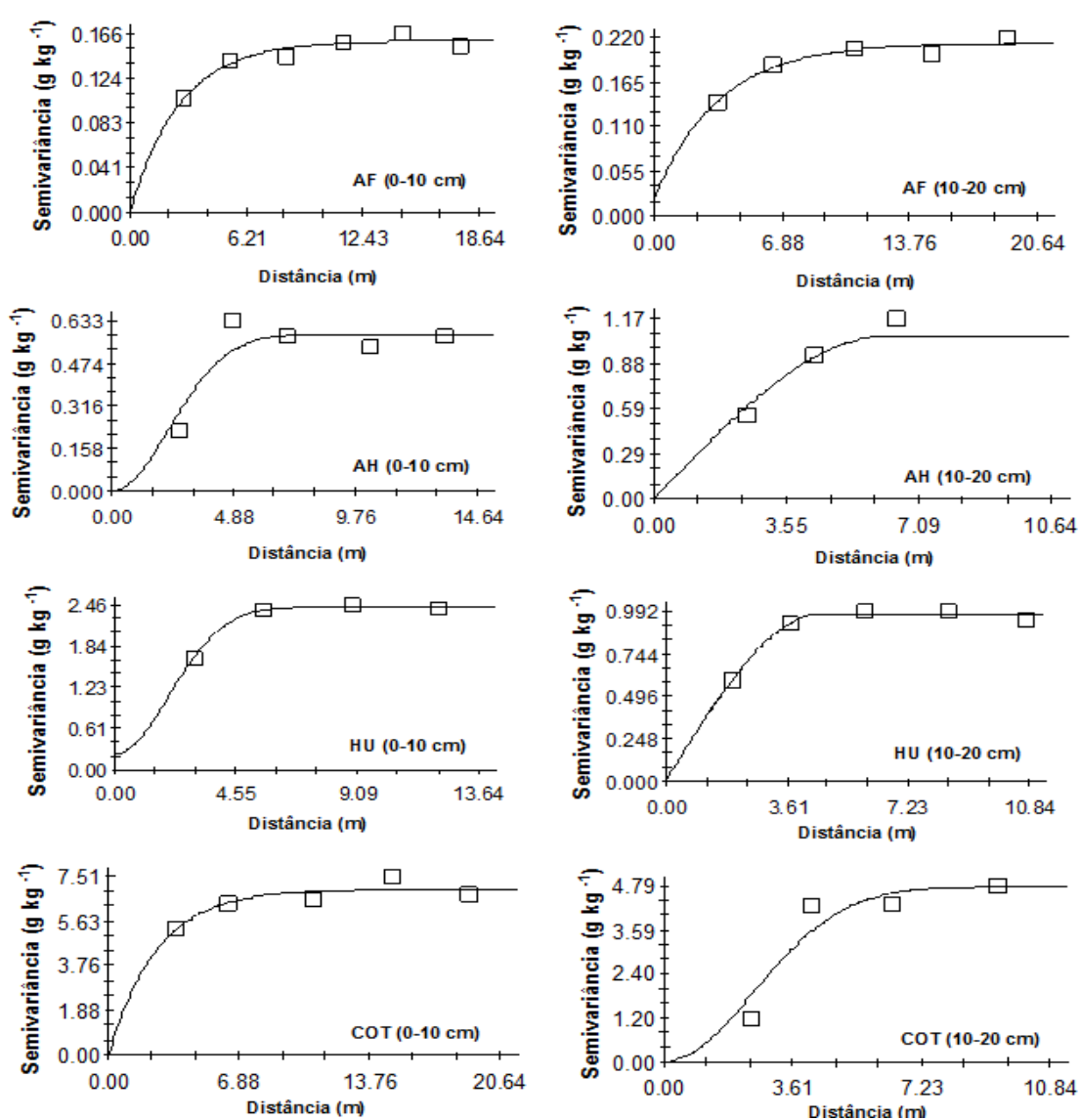


Figura 8. Semivariogramas das variáveis ácido fúlvico (AF, g kg⁻¹), ácido húmico (AH, g kg⁻¹), humina (HU, g kg⁻¹) e carbono orgânico total (COT, g kg⁻¹) nas profundidades 0-10 e 10-20 cm para a primeira época de amostragem.

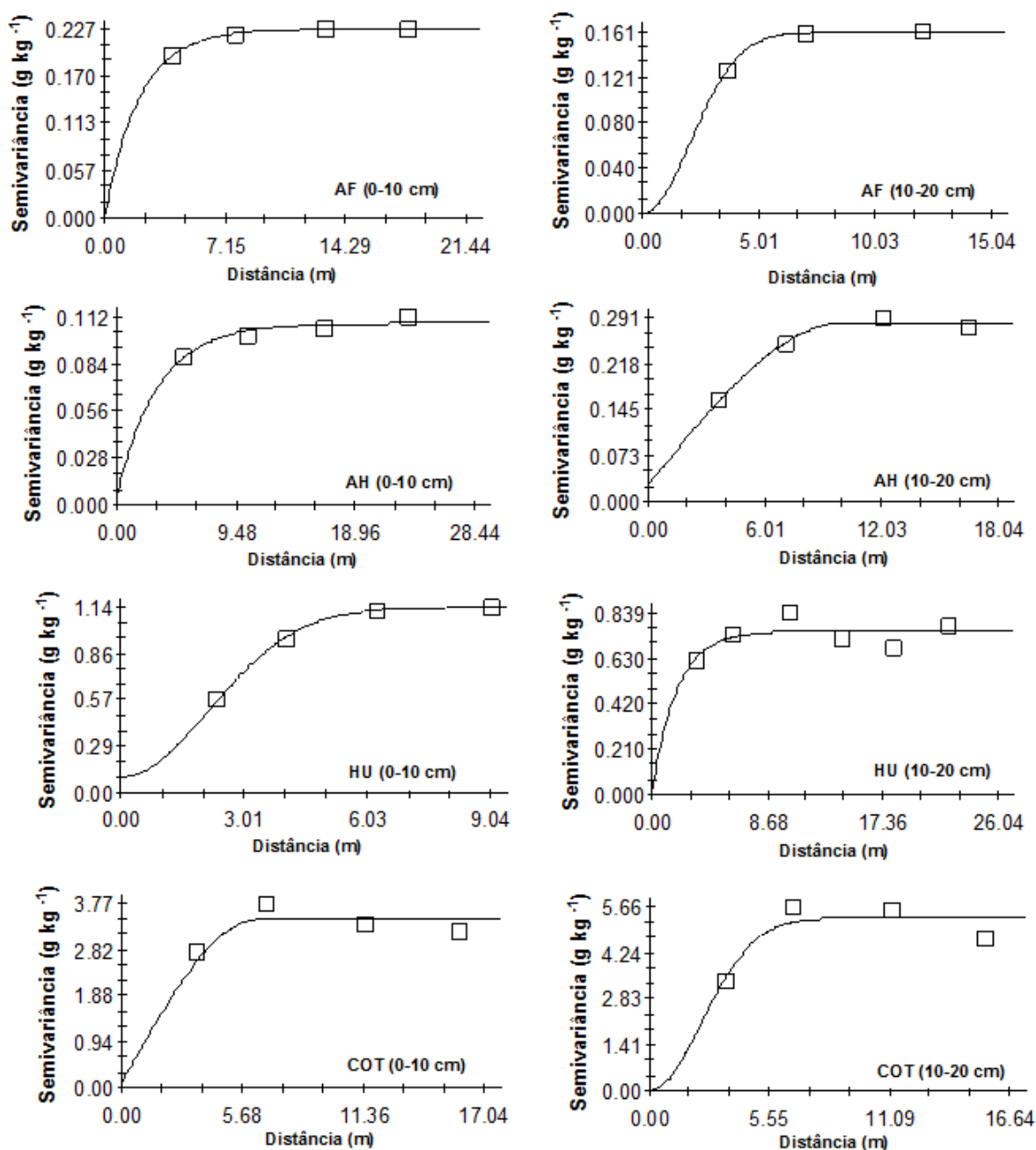


Figura 9. Semivariogramas das variáveis ácido fúlvico (AF, g kg⁻¹), ácido húmico (AH, g kg⁻¹), humina (HU, g kg⁻¹) e carbono orgânico total (COT, g kg⁻¹) nas profundidades 0-10 e 10-20 cm para a primeira época de amostragem.

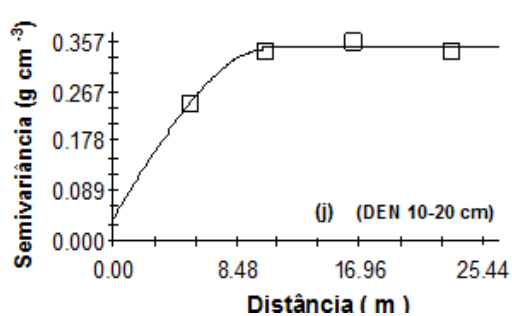
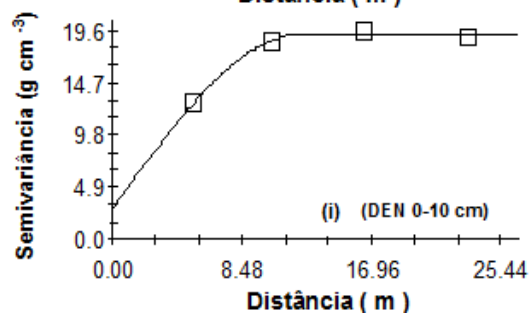
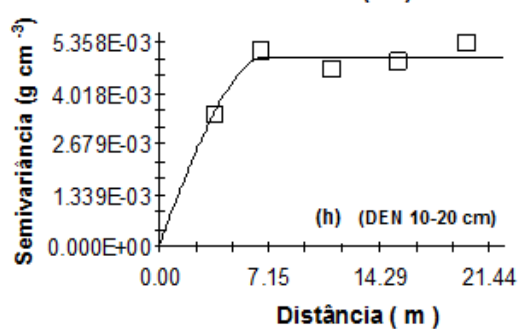
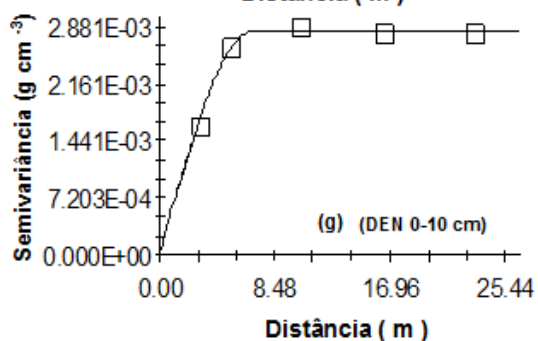
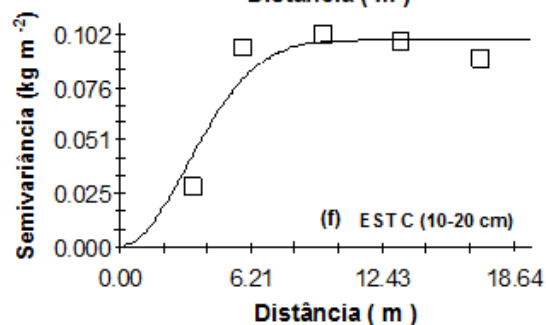
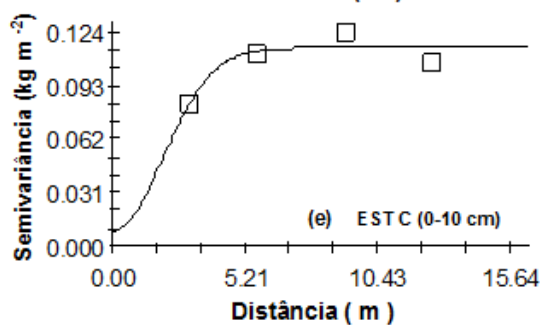
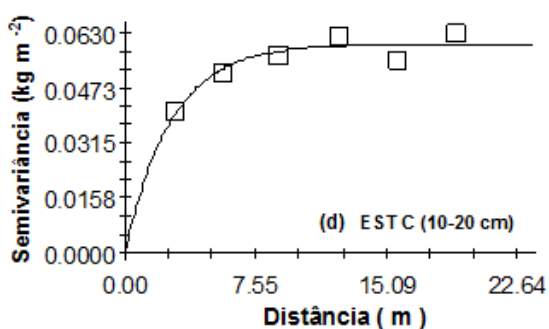
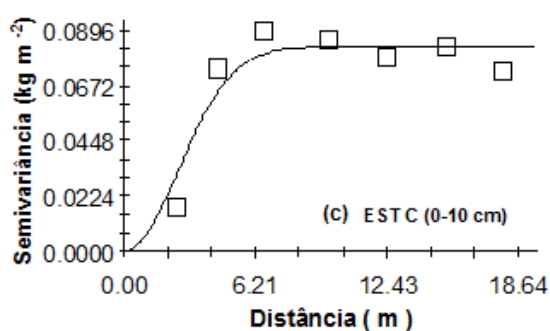
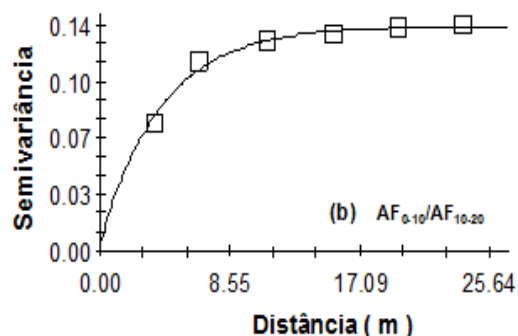
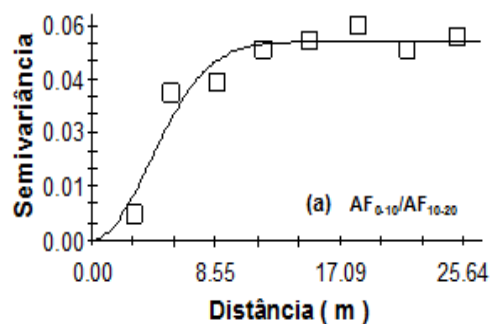


Figura 10. Semivariogramas das variáveis estoque de carbono (kg m^{-2}) e densidade do solo (g cm^{-3}) nas profundidades 0-10 e 10-20 cm e relação AF_{0-10}/AF_{10-20} para a primeira época de amostragem (a, c, e, g, i) e segunda época de amostragem (b, d, f, h, j).

O efeito pepita é um parâmetro importante do semivariograma e indica variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada (MCBRATNEY e WEBSTER, 1986), frequentemente causada por erros de medições ou variações dos atributos que não podem ser detectadas (VIEIRA, 2000). Esse parâmetro pode ser expresso como porcentagem do patamar, com o objetivo de facilitar a comparação do grau de dependência espacial das variáveis em estudo (TRANGMAR et al., 1985). Observa-se que todos os atributos apresentaram baixos valores para o efeito pepita (C_0) nas duas épocas de amostragem. Dessa forma, esses atributos apresentam uma maior continuidade espacial.

De acordo com Zimback (2001), o índice de dependência espacial pode ser classificado em: forte ($IDE > 75\%$), moderado ($25 < IDE < 75\%$) e fraco ($IDE < 25\%$). Observa-se forte dependência espacial para todos os atributos, nas diferentes profundidades em ambas as épocas de amostragem. De maneira geral, nota-se baixa aleatoriedade dos dados, uma vez que a contribuição do efeito pepita na variabilidade foi relativamente baixa, assim os maiores valores de IDE proporcionam melhores estimativas na krigagem. Esses resultados concordam com os encontrados por Sanchez, (2010) que observou um forte grau de dependência espacial para atributos relacionados à matéria orgânica. A alta dependência espacial só foi possível com a retirada dos valores discrepantes, assim pode-se inferir que fatores intrínsecos como o manejo influenciam na variabilidade dos atributos relacionados à matéria orgânica.

4.3- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

Nas Figuras 11 e 12 são apresentados os mapas interpolados por krigagem ordinária, mostrando a distribuição dos atributos relacionados à matéria orgânica (AF, AH, HU e COT) nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, para as duas épocas de amostragem.

Quando se compara a distribuição dos atributos nas duas profundidades em estudo dentro de cada época de amostragem, verificam-se diferentes comportamentos de distribuição no relevo. Para o atributo COT (Figura 11a e 11b) se observa padrões distintos de distribuição espacial para as diferentes profundidades. Na camada superficial do solo (0-10 cm) observa-se que os maiores teores de COT se concentram em locais onde há um acúmulo do fluxo do escoamento superficial (Figura 8).

Na profundidade 10-20 cm a distribuição do COT não obedeceu a um padrão definido pelo fluxo acumulado e pelo relevo. Pode-se inferir que o manejo adotado na área teve maior contribuição na distribuição espacial do COT, pois a forma aleatória com que se distribuem os restos culturais provenientes da poda leva ao aparecimento de áreas com maior enriquecimento de COT em relação a outras áreas, sem forte relação com o relevo.

Observando o comportamento da distribuição do carbono orgânico da fração humina na primeira época de amostragem (Figura 11c, 11d), verifica-se que para a profundidade 10-20 cm a concentração dos maiores valores ocorreram em regiões do relevo onde se tem menor declividade, menor altitude e acúmulo do fluxo do escoamento superficial. Souza et al. (2003) afirmam que as variações dos atributos do solo estão associadas às formas do relevo, principalmente as variações nas pedoformas. Juntamente com o relevo o teor de umidade tem grande importância na distribuição da fração HU, o aumento da umidade pode ter acelerado o ciclo natural de mineralização do carbono fazendo com que frações menos solúveis e de mais difícil decomposição possam ser acumuladas em diferentes regiões do relevo.

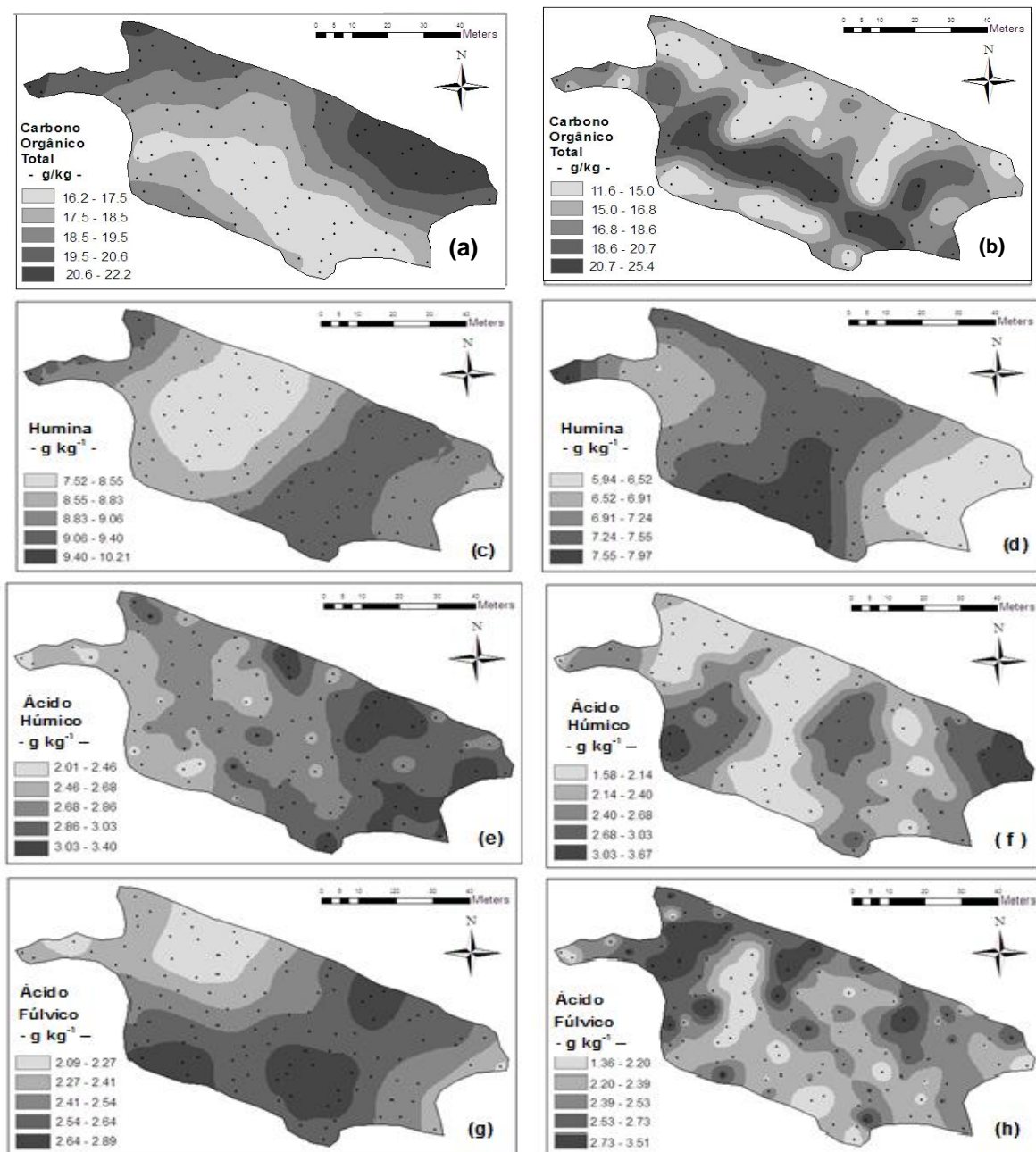


Figura 11. Distribuição espacial dos atributos carbono orgânico total e carbono orgânico das frações humina, ácido húmico e ácido fúlvico nas profundidades 0-10 cm (a, c, e, g) e 10-20 cm (b, d, f, h), para a primeira época de amostragem. Os valores foram interpolados por meio da krigagem ordinária.

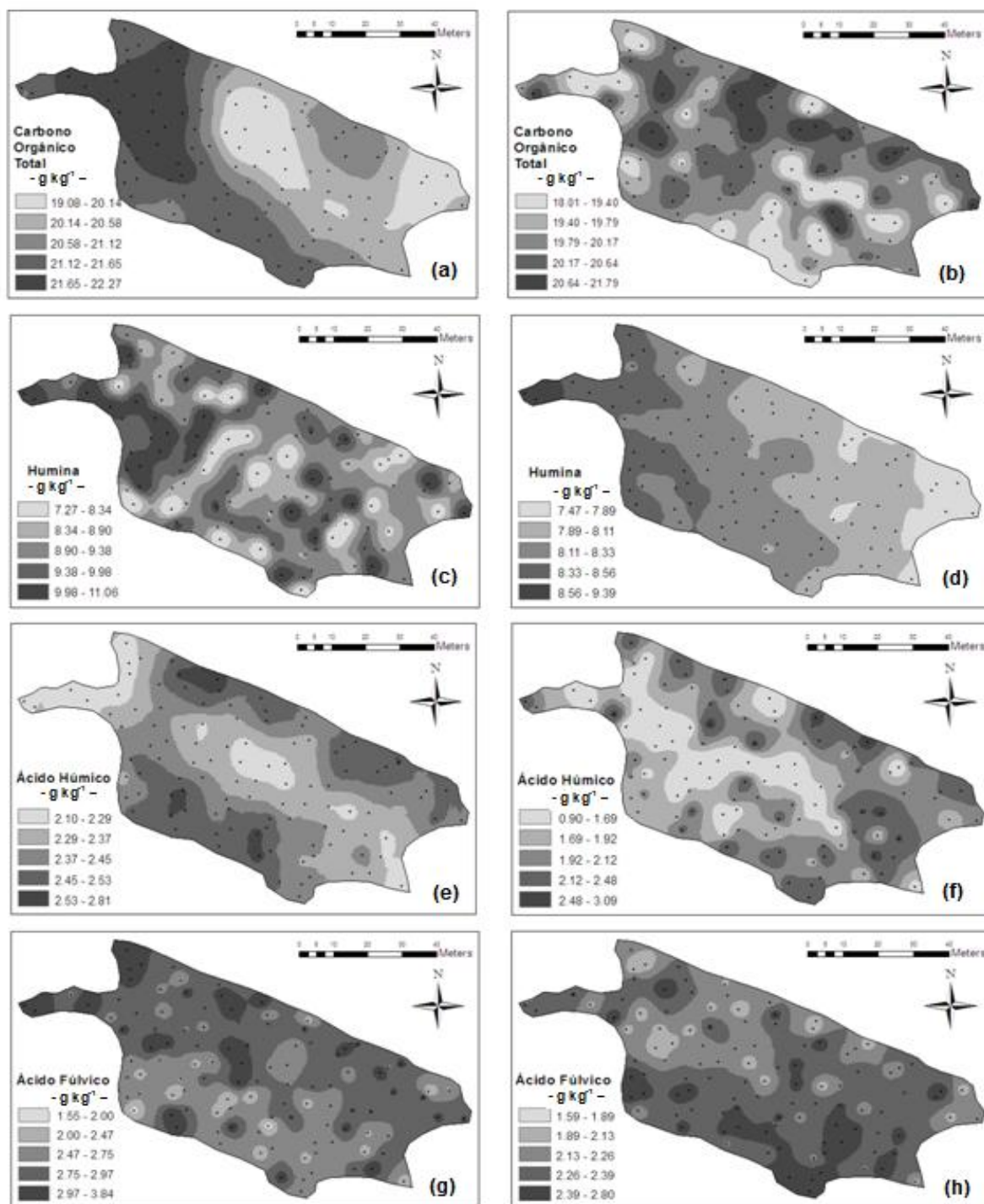


Figura 12. Distribuição espacial dos atributos carbono orgânico total e do carbono orgânico das frações humina, ácido húmico e ácido fúlvico nas profundidades 0-10 cm (a, c, e, g) e 10-20 cm (b, d, f, h), para a segunda época de amostragem. Os valores foram interpolados por meio da krigagem ordinária.

Na profundidade 10-20 cm a fração HU tem uma distribuição distinta da primeira profundidade, a concentração dos maiores valores ocorreu em regiões com maior altitude, o que pode estar relacionado com o teor de argila, que nestas regiões são maiores (SARNAGLIA et al., 2010), podendo levar a uma proteção da MOS entre os agregados e partículas do solo, dificultando assim a movimentação para outras regiões, aumentando assim a concentração da fração HU.

Para a fração AH (0-10 cm) (Figura 11e), observa-se concentrações elevadas em diferentes regiões do relevo, mas áreas com acúmulo do escoamento superficial apresentaram teores superiores de AH, esse comportamento pode ser devido a profundidade 0-10 cm possuir elevado aporte de matéria orgânica e essa fração juntamente com a HU está mais associada à fração mineral do solo. Em condições em que se tem um elevado teor de umidade do solo e maior pluviosidade a movimentação através do fluxo acumulado para regiões do relevo com menor declividade e altitude pode levar a maiores concentrações dessa fração. Na profundidade 10-20 cm o comportamento da distribuição espacial do AH (Figura 11f) foi mais influenciado pelo manejo, o que favoreceu o aparecimento em maior frequência de zonas com maiores teores de AH em detrimento de zonas de menores valores, em diferentes posições do relevo em um padrão aleatório de distribuição espacial, sem relação com o relevo.

A distribuição espacial da fração AF na profundidade 0-10 cm (Figura 11g) apresentou um padrão definido pelo do fluxo acumulado do escoamento superficial. Por apresentar menor tamanho molecular o AF é mais suscetível a movimentação no relevo (WENG et al., 2002), essa característica associada ao grande teor de água no solo, devido à maior pluviosidade na primeira época de amostragem, favorece sua movimentação para regiões com maior fluxo acumulado Assim, os locais da paisagem sob a mesma classe de solo e manejo semelhantes, influenciados por formas de paisagem e declives diferenciados, apresentam padrões de variabilidade espacial das propriedades do solo também diferenciadas (SOUZA et al., 2003). Na profundidade 10-20 cm (Figura 11h) o comportamento foi diferente do observado na profundidade 0-10 cm, não sendo observada influência do fluxo acumulado e das formas do relevo na distribuição espacial do AF, pois nessa profundidade a

movimentação dos atributos do solo para diferentes regiões do relevo é menor. Portanto, o padrão da distribuição espacial da fração AF nessa profundidade deve-se provavelmente aos fatores extrínsecos como o manejo.

Observando a distribuição espacial dos atributos relacionados à matéria orgânica para a segunda época de amostragem (Figura 12), período com menor pluviosidade e menor umidade do solo, nota-se um comportamento diferenciado para todos os atributos quando comparados a primeira época de amostragem, não se observando influência do fluxo acumulado do escoamento superficial, da declividade e da altitude na distribuição dos atributos para a profundidade 0-10 cm.

A distribuição espacial do COT na profundidade 0-10 cm apresentou um padrão de acúmulo em áreas com maiores altitudes. A presença de maiores teores de COT ocorreram em áreas com maior insolação, pois nestas áreas o espaçamento entre uma linha de plantio de outra é maior, devido ao plantio em nível. Esse fato acarreta a maior presença de plantas espontâneas, muitas dessas plantas possuem grande parte de sistema radicular concentrado na camada superficial do solo o que contribui após sua decomposição para um acréscimo no teor de carbono. Na profundidade 10-20 cm o comportamento foi semelhante ao observado na primeira época de amostragem em que a distribuição espacial do COT foi influenciada fortemente pelo manejo adotado, resultando em maiores teores associado a restos vegetais, que dispostos de forma aleatória na área de estudos, diminuem o surgimento de um padrão definido de distribuição no relevo. Comportamento semelhante foi observado para a fração HU na profundidade 0-10 cm (Figura 12d). Já para a profundidade 10-20 a distribuição espacial da fração HU seguiu padrão semelhante ao observado para COT (0-10 cm).

Para a fração AH na profundidade 0-10 cm (Figura 12e) verifica-se presença de maiores teores dessa fração em regiões de maiores altitudes que pode estar relacionado com a maior presença da fração argila nessas regiões, e menores altitudes. Já para a profundidade 10-20 cm (Figura 12f) a distribuição espacial apresenta grande variação de áreas com maiores e menores teores da fração AH, sendo distribuídas em todas as regiões do relevo.

A fração AF, possui maior capacidade de movimentação horizontal e vertical ao longo do relevo devido a suas características, assim essa fração apresenta maior dispersão independente da região ou da forma como pode ser observado na profundidade 0-10 cm (Figura 12g), onde se verifica uma maior uniformidade na distribuição espacial dessa fração, com predomínio para áreas de menor altitude. Entretanto, na profundidade 10-20 cm também se observa uma uniformidade de distribuição espacial, mas com predomínio de maiores teores em regiões com maiores altitudes.

Comparando o padrão da distribuição espacial dos diferentes atributos relacionados à matéria orgânica das duas épocas de amostragem, nota-se que houve maior influência do fluxo acumulado na primeira época de amostragem, pela presença de maiores teores de umidade do solo e pluviosidade nesse período. Frações mais com maior solubilidade (AF) apresentaram maior movimentação ao longo do relevo e para todos os atributos estudados foi verificada diferença na distribuição espacial para as duas profundidades (0-10 e 10-20 cm).

Na Figura 13 são apresentados os mapas da distribuição espacial do estoque de carbono nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm para as duas épocas de amostragem e da relação AF_{0-10}/AF_{10-20} nas duas épocas de amostragem. A relação entre os teores da fração AF nas duas profundidades indica a movimentação dessa fração ao longo do perfil do solo, podendo ser um indicativo de locais propensos à perdas de frações e nutrientes mais solúveis ou móveis.

Observando os mapas de distribuição espacial do estoque de carbono na primeira época de amostragem, notam-se na profundidade 0-10 cm maiores valores para este atributo quando comparados com a profundidade 10-20 cm. Assim a distribuição espacial dos atributos COT e Ds influenciam a distribuição do estoque de carbono. Portanto por apresentar maiores teores de COT na profundidade 0-10 cm o estoque de carbono também será maior nessa profundidade. Quando se compara o padrão de distribuição do EST C nas duas profundidades (Figuras 13a e 13b), observa-se maior concentração desse atributo em regiões que apresentam menores altitudes para a profundidade 10-20 cm, comportamento explicado pela distribuição de COT apresentar regiões com maiores teores nestas regiões. A

distribuição do EST C nas duas profundidades apresentou padrão semelhante à distribuição do COT na mesma época de amostragem para as duas profundidades.

Quando se compara a distribuição do estoque de carbono nas duas épocas de amostragem verifica-se influência do teor de umidade do solo e da pluviosidade no padrão de distribuição desse atributo. Na primeira época de amostragem, período com maior teor de umidade do solo e maior pluviosidade, os maiores valores para estoque de carbono se concentraram nas regiões com maior fluxo acumulado do escoamento superficial, comportamento também observado para COT na mesma época e profundidade, comprovando forte relação entre estes atributos. Na segunda época de amostragem por possuir menor teor de umidade a distribuição não foi afetada pelo fluxo acumulado, mas sim pelo manejo que contribuiu para o aparecimento de regiões com maior enriquecimento de EST C nas diferentes altitudes do relevo. Apesar da contribuição desses fatores outro fator atua diretamente na distribuição espacial do EST C que é a densidade do solo, verifica-se (Figura 13 g e 13 h) que nas regiões que apresentam elevados valores de densidade do solo também apresentam os maiores teores de EST C, nas duas profundidades estudadas.

Para a relação AF_{0-10}/AF_{10-20} , que indica a movimentação dessa fração ao longo do perfil do solo de forma horizontal e vertical, observa-se que em diferentes regiões do relevo essa relação foi menor que um, evidenciando uma movimentação da fração AF da profundidade 0-10 cm para a profundidade 10-20 cm. Esse comportamento pode levar à perda dessa fração devido a sua maior solubilidade, podendo também acarretar em perdas de nutrientes por lixiviação, pois em períodos com maior pluviosidade regiões com maior fluxo acumulado apresentaram movimentação dessa fração ao longo do perfil do solo. Esse comportamento pode levar a uma menor produtividade das plantas presentes nas regiões em que a relação AF_{0-10}/AF_{10-20} é menor que um assim é necessária atenção especial para as regiões que possuem características que levam a perda de nutrientes pela águas das chuvas e também através de processos erosivos para a sustentabilidade da lavoura cafeeira possa ser mantida.

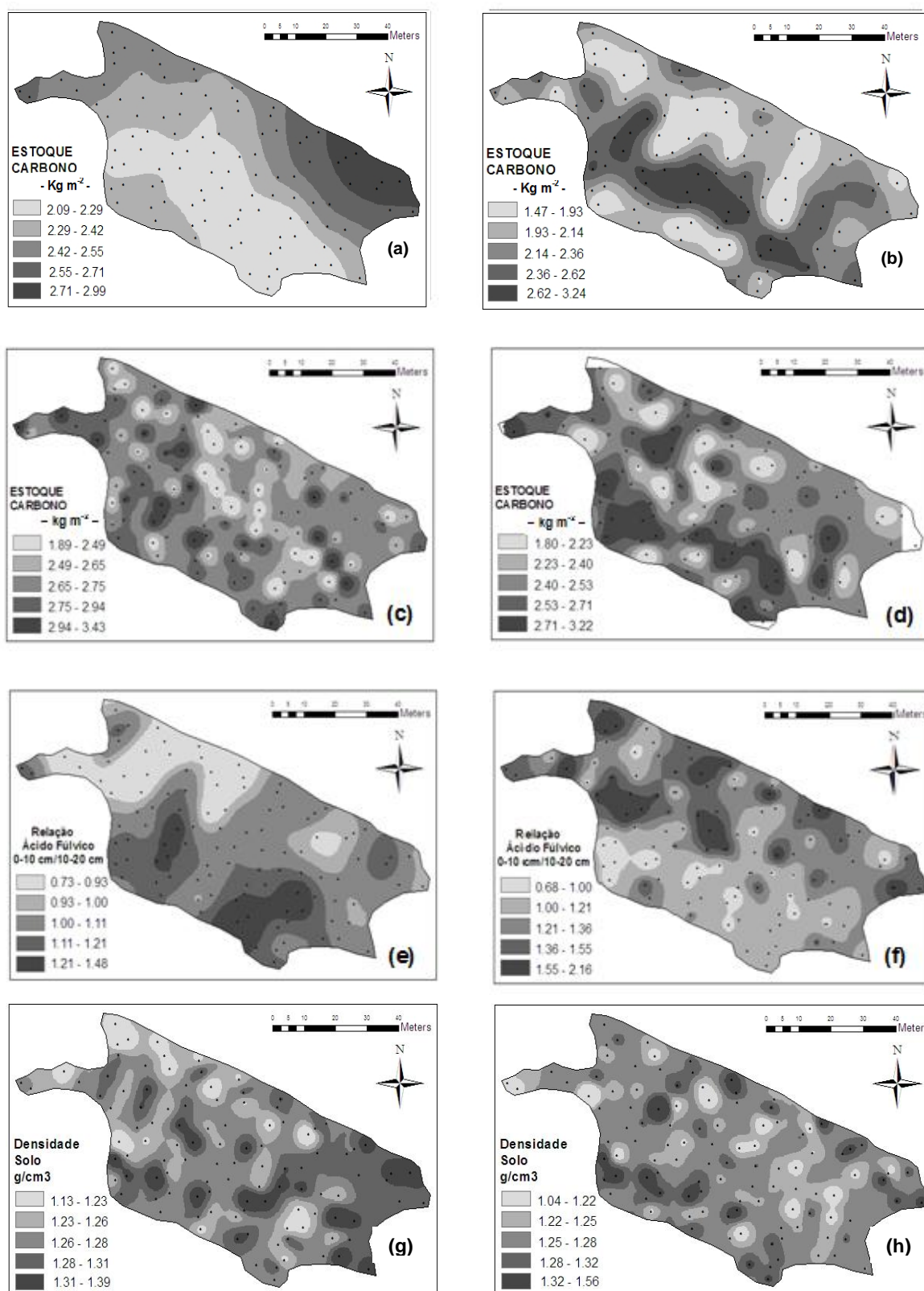


Figura 13. Distribuição espacial dos atributos estoque de carbono (kg m^{-2}) na profundidade 0-10 cm (a, c) e 10 -20 cm (b, d), na primeira (a, b) e segunda (c, d) épocas de amostragem, relação ácido fúlvico das duas profundidades na primeira

(e) e segunda (f) épocas de amostragem e densidade do solo (g cm^{-3}) nas profundidades 0-10 cm (g) e 10-20 cm (h) na primeira época de amostragem. Os valores foram interpolados por meio da krigagem ordinária.

Através da relação AF_{0-10}/AF_{10-20} nas diferentes épocas de amostragem é possível verificar o padrão de distribuição espacial nas diferentes regiões do relevo. Na primeira época de amostragem os maiores valores dessa relação ocorreram em regiões com maior altitude e maior teor de argila, fazendo com que estas regiões se tornem mais estáveis levando a uma menor mobilização da fração AF. Na segunda época de amostragem os maiores valores dessa relação ocorreram em áreas que apresentam maior teor de COT, o que acarreta a valores superiores de AF liberados pela matéria orgânica, mas devido ao baixo teor de umidade nesta época de amostragem a movimentação da fração AF não ocorreu, sendo assim grande parte do AF não foi carregado para áreas de menor altitude e acúmulo de fluxo de escoamento superficial. Através dessas inferências pode-se verificar que a fração AF é mais suscetível não só a movimentação vertical, mas também a movimentação horizontal, sendo um indicativo de zonas propícias à perdas de nutrientes, sendo que o manejo em áreas com esta característica devem ser realizados afim de minimizar essa tendência.

5.0- CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta as seguintes conclusões sobre o estudo da variabilidade espacial dos atributos relacionados à matéria orgânica:

- Os resultados apontam diferença significativa entre as épocas de amostragem, com a presença de maiores valores na segunda época de amostragem, com exceção para AF e AH na profundidade de 10-20 cm.
- O manejo adotado influenciou na presença de maiores teores dos atributos relacionados à matéria orgânica na segunda época de amostragem;
- Todos os atributos relacionados à matéria orgânica nas duas profundidades e épocas de amostragem apresentaram dependência espacial, sendo a variabilidade espacial classificada como forte;
- Os resultados do mapeamento da variabilidade espacial dos componentes da matéria orgânica revelaram comportamentos distintos de distribuição devido as diferentes profundidades e épocas de amostragem;
- A análise da variabilidade espacial mostrou que o relevo e a época de amostragem influenciaram na distribuição espacial dos componentes da matéria orgânica;
- A influência do relevo sobre a movimentação horizontal dos atributos relacionados à matéria orgânica foi para os atributos que apresentação maior capacidade de movimentação no solo como a fração AF.

6.0- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J. & FIORIN, J. E. Variabilidade de solo e planta em Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, 20:151-157, 1996.

BALASTREIRE, L. A; AMARAL, J. R.; LEAL, J. C. G.; BAIO, F. H. R. Disponível em:<<http://www.gpsglobal.com.br/Artigos/Agricola/Cafe.html#07>>. Acesso em: 10 out. 2009.

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q, R; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol.32, n.4, Julho/Agosto. 2008.

BAYER, C; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, jul. 2004.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2003. 7p. (Comunicado Técnico).

BENITES, V. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MENDONÇA, E. S.; MARTIN-NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob campos de altitude no parque estadual da Serra do Brigadeiro - MG. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, 25:661-674, 2001.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, n.4, p. 987-995, 2001.

BOLFE, E. L.; GOMES, J. B. V.; FONTES, H. R. Variabilidade espacial de atributos do solo como subsídio para produção integrada de frutas em perímetro irrigado no nordeste do Brasil. *Anais. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Florianópolis, Brasil, 2007, INPE 67-74p.

BRAGANÇA, S. M.; CARVALHO, C. H. S.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G. Variedades clonais de café Conilon para o Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 765-770, maio 2001.

BURAK, D. L. **Geoquímica e distribuição de metais pesados em solos na região de Unaí, Paracatú e Vazante-MG**. 2008, 173 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I: The semivariogram and punctual kriging. **Journal of Soil Science**, v. 33, p. 315-331, 1980.

CAMPOS, M. C. C.; CARDOZO, N. P.; MARQUES JÚNIOR, J. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos de pedológicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, p. 104-114, 2006.

CANELLAS, L. P.; ESPINDOLA, A. J. A.; RESENDE, C. E.; CAMARGO, P. B.; ZANDONADI, D. B.; RUMJANEK, V. M.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; BRAZ-FILHO, R. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. **Sci. Agric.**, 61:53-61, 2004.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. de A.; MORAES, A. A.; OLIVARES, F. L.; RUMJANEK, V. M. Avaliação das características de ácidos húmicos extraídos de resíduos urbanos. I. Métodos espectroscópicos (Uv-vis, IV, RMN 13 C-CP/MAS) e microscopia eletrônica de varredura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24,p. 741-750, 2000a.

CANELLAS, L. P.; FAÇANHA, A. R. Chemical nature of soil humified fractions and their bioactivity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.3, p.233-240, mar. 2004.

CANELLAS, L. P.; BERNER, P. G.; SILVA, S. G.; SILVA, M. B. E.; SANTOS, G. DE A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.1, p.133-143, jan. 2000.

CARVALHO, J. R. P. et al. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M. Associação das técnicas multivariada e geoestatística na estimativa e interpretação de mapas de produção. **Embrapa Informática Agropecuária**. 2001, 41 p.

CAVALCANTE, E. G. S. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.31, p.1329-1339, 2007.

COLNAGO, L. A.; MARTIN-NETO, L.; BISCEGLI, C. I.; NASCIMENTO, O. R.; BONAGAMBA, T. J.; PANEPUCCI, H.; VIEIRA, E. M.; SEIDEL, P. R.; SPOSITO, G.; OPELLA, S. J. Aplicações da ressonância magnética nuclear (RMN) e ressonância paramagnética eletrônica (EPR). In: CRESTANA, S.; CRUVINEL, P. E.; MASCARENHAS, S.; BISCEGLI, C. I.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L. A., ed. **Instrumentação agropecuária: contribuições no limiar do novo século**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. Cap.1, p.15-50.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Comercialização de estoques. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em 04/07/2010.

CRESSIE, N. A. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley & Sons, 1993. 900p.

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

DICK, D. P.; MARTINAZZO, R. Matéria orgânica em ambientes terrestres e aquáticos: compartimentos, composição e reações. In: POLETO, C.; MERTEN, G. H. (Org.) **Qualidade dos Sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2006. cap. 4, p. 65-80.

DUCHAUFOR, P. **Pedology: pedogenesis and classification**. London: George Allen & Unwin, 1982. 187 p.

DUXBURY et al. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C. et al. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii, 1989. p. 33-67.

EFFGEN, T. A. M.; PASSOS, R. R.; LIMA, J. S. DE S.; BORGES, E. N.; DARDENGO, M. C. J. D.; REIS, E. F. Atributos químicos do solo e produtividade de lavouras de cafeeiro conilon submetidas a diferentes tratos culturais no sul do estado do Espírito Santo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 7- 18, Apr./June. 2008

EFFGEN, T. A. M. **Atributos do solo em função de tratos culturais em lavouras de cafeeiro conilon no sul do estado do Espírito Santo**. Alegre, Universidade Federal do Espírito Santo, 2006, 93 p. (Dissertação de Mestrado).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Embrapa-CNPS, 1978. 412p.

ESRI. **ArcGIS**, GIS for Windows. Environmental Systems Research Institute. v 9.0. Redlands, CA., USA. 2001.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; de MUNER, L. H.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; MARQUES, E. M. G.; ZUCATELI, F. **Café conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas**. Vitória: INCAPER, 2004. 60p. (Circular técnica 03-1).

FIDALGO, E. C. C.; BENITES, V. M.; MACHADO, P. L. O. A.; MADARI, B. E.; COELHO, M. R.; MOURA, I. B.; LIMA, C. X. **Estoques de carbono nos solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 25 p. 2007 (Boletim de Pesquisas e Desenvolvimento, ISSN 1678-0892; 121).

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; NASCIMENTO, G. B. do; ANJOS, L. H. C. dos; EBELING, A. G. Matéria orgânica em solos de tabuleiro na Região Norte Fluminense do RJ. **Floresta & Ambiente**, Instituto de Florestas - UFRRJ, 8 (1):114-119, 2001.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; MATA, J de D. V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 23, n. 5, p. 1140-1157, 2001.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for Natural Resources Evaluation**. Oxford Univ. Press, New York, NY. 1997. 483p.

GROENIGEN, van J. W. et al. Constrained optimisation of soil sampling for minimisation of the kriging variance. **Geoderma**, Amsterdam, v.87, n.3-4, p.239-259, 1999.

GUEDES FILHO, O. **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta**. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Sub-Tropical). Instituto Agronômico, Campinas, SP.

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

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de C orgânico e seus compartimentos em

Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 27:821-832, 2003.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S.; DEMOLINARI, M. S. M.; LEITE, F. P. Frações da material orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce–MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, 32: 1053-1063, 2008.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BRITO, R. J. de. Distribuição das substâncias húmicas em solos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Universidade Rural – Série Ciências da Vida**, Seropédica, RJ: EDUR, v. 26, n 1, p.57-69, jan-jun, 2006.

LOURES, E.G.; MENDONÇA, E. S. **Matéria Orgânica do solo**. Departamento de Solos. UFV, Viçosa, MG, 36 p. 1995.

MATIELLO, J. B. **Café conilon: como plantar, tratar, colher, preparar e vender**. Rio de Janeiro: MM Produções Gráficas, 1998. 162 p.

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties. **Soil Science**, Baltimore, v. 135, n. 3, p. 177- 183, 1986.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises**. Viçosa: UFV, 2005. 107 p.

MENDONÇA, E. S. **Características da matéria orgânica do solo e o fornecimento de nutrientes as plantas**. 2001. In: MENDONÇA, E. S.; OLIVEIRA, F. H. T. Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo. *Anais*. 1º Simpósio sobre fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto. Associação de Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2001. p. 70-81.

MOREIRA, A. Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos na Amazônia Ocidental. **Bragantia**: Revista de ciências agrônômicas, ano/vol. 66, número 002. Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, SP. 2007. 307-315 p.

NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A.; VIANELLO, A. Physiological effects of humic substances in plant growth. **Soil Biology and Biochemistry**, Exeter, v.34, n.11, p.1527-1536, 2002.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Viii, 1017 p.

OADES, J. M. An introduction to organic matter in mineral soils. In: DIXON, J. B., WEED, S. B. (Eds.). **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 89-160.

OLIVEIRA, R. B. **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas de café conilon para fins de agricultura de precisão**. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES.

PICCOLO, A.; CONTE, P.; COZZOLINO, A. Conformational association of dissolved humic substances as affected by interactions with mineral and monocarboxylic acids. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 50, p. 687-694, 1999.

ROBERTSON, G. P. GS+: **Geostatistics for the environmental sciences**. Versão 5.03 Beta, Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.

SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. 1998. 91 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SANCHEZ, G. A. R. **Variabilidade especial do carbono e outros atributos do solo em uma área destinada ao reflorestamento no Rio Grande do Norte**. 2010. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SARNAGLIA, S. A. A.; BURAK, D. L.; SANTOS, D. A.; SHALDERS, G.; TRISTÃO, K. P.; ANDRADE, F. V.; PASSOS, R. R. **Influência do relevo na distribuição espacial de frações granulométricas do solo.** *Anais. XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação.* Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2010.

SCHNITZER, M. Organic matter characterization. In: PAGE, A.L., MILLER, R.H., KEENEY, D. R. (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* 2 ed. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America**, 1982. p.581-594. (Agronomy Series, 9).

SILVA, I. R; MENDONCA, E. S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. (Org.). **Fertilidade do Solo.** 1ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, v. 1, p. 275-374.

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

SILVA, F. M; FIGUEIREDO, C. A. P.; VIEIRA, L. H. S., OLIVEIRA, E. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 32, p. 231- 241, 2008.

SIQUEIRA, G.M.; VIEIRA, S.R.; CEDDIA, M.B. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. **Bragantia**, n.67, p.693-699, 2008.

SOUZA, G. S. **Uso de indicadores de fertilidade do solo na análise da degradação de uma área sob pastagem utilizando geoestatística.** 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.5, p.491-499, maio 2004.

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. **Engenharia Agrícola**, v.23, p.486-495, 2003.

STATSOFT, Inc. **Statistica**: Data analyses software system, versão 7. 2004. 1 CD-ROM.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**. New York, John Wiley, 1982. 443 p.

THENG, B.K.G., TATE, K.R., SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D.C., OADES, J.M., UEHARA, G. (Eds.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: NifTAL Project, 1989. p.5-32.

THENG, B.K.G. Clay-humic interactions and soil aggregate stability. In: RENGASAMY, P. ed. **Soil structure and aggregate stability**. Seminar Proceedings, Institute of Irrigation and Salinity Research, Tatura, Australia, 1987. p. 32-73.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. **Application of geostatistics to spatial studies of soil properties**. Adv. Agron., 38:45-93, 1985.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade especial do solo**. In: Tópicos em Ciências do Solo. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.

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, 1980. p. 319-344.

WENG .L.; FEST, E.P.M.; FILLUS, J.; TEMMINGHOFF ,E.J.M.; van RIEMSDIJK, W.H. Transport of Humic and Fulvic Acids in Relation to Metal Mobility in a Copper-Contaminated Acid Sandy Soil. **Environ. Sci. Technol.** 2002, 36, 1699-1704 p.

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

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, vol. 37, n. 4, 1000-1007 p. Julho/Agosto, 2007.

ZIMBACK, C. R. L. **Geoestatística**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georeferenciadas. 2003, p. 1-25.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e ftopedologia). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP.