

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

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE UM
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB
PASTAGEM E VEGETAÇÃO NATIVA NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO ITAPEMIRIM**

MARCOS ANTONIO SATTLER

**ALEGRE
ESPÍRITO SANTO - BRASIL
FEVEREIRO – 2006**

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

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE UM
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB
PASTAGEM E VEGETAÇÃO NATIVA NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO ITAPEMIRIM**

MARCOS ANTONIO SATTLER

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima

Co-orientador: Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos

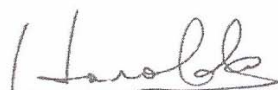
**ALEGRE
ESPÍRITO SANTO - BRASIL
FEVEREIRO – 2006**

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB PASTAGEM E VEGETAÇÃO NATIVA NA BACIA HIDROGRAFICA DO ITAPEMIRIM

MARCOS ANTONIO SATTLER

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

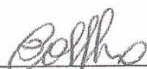
Aprovada: 17 de fevereiro de 2006.



Prof. Dr. Haroldo Carlos Fernandes
Universidade Federal Viçosa-MG



Prof. Dr. Paulo César Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Ruimário Inácio Coelho
Universidade Federal do Espírito Santo



Dr. Renato Ribeiro Passos
Universidade Federal do Espírito Santo
(Co-orientador)



Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima
Universidade Federal do Espírito Santo
(Orientador)

DEDICATORIA:

Aos meus pais, Jurandyr Alexandre Sattler (in memorian) e Alba Pagani Sattler, pelo dom da vida e pelo amor com o qual me educaram, educação esta enraizada na dignidade, na honestidade na esperança e na perseverança.

À minha esposa, Sonia Cansian Sattler e meus filhos, Ramon Cansian Sattler e Mariana Cansian Sattler, pelo amor e pela compreensão nos momentos em que estive “ausente”, sacrificando parte de suas vidas para que eu chegasse ao final deste trabalho.

A medida de um homem não se tem somente pelo que ele É, mas sim pelo que ele busca SER. Somente essa busca nos faz merecedores da nossa história.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e por todas as oportunidades que me tem oferecido ao longo de toda a minha caminhada.

Aos meus familiares pelo sacrifício e pelo amor com o qual me ajudaram a alimentar e realizar este sonho;

Ao Professor Dr. Julião Soares de Souza Lima, que bem mais que orientador, tenho hoje como amigo. Minha eterna gratidão pela paciência, pela dedicação e profissionalismo no qual pude me espelhar e balizar todo o meu trabalho. Enfim, obrigado por acreditar em mim.

Ao Professor Renato Ribeiro Passos, pela Co-orientação, pela amizade e pela mão estendida nos piores momentos. Serei eternamente grato.

Aos professores, membros da Banca Examinadora, Prof. Dr. Haroldo Carlos Fernandes, Prof. Dr. Paulo César Oliveira e Prof. Dr. Ruimário Inácio Coelho, obrigado pela disponibilidade, apoio e por enriquecer este trabalho.

Aos amigos da Pós-graduação em Produção Vegetal, em especial Teófilo André M. Effgen, Maria Cristina Delogo Dardengo, Pedro Quarto Junior e Rone Batista de Oliveira, pela inestimável ajuda e companheirismo.

Aos amigos Jeferson Valentin Ferrari, Emanuel M. Effgen, Carlos Fernando Stocco e Cíntia Machado de Oliveira, pela ajuda com as amostragens.

Ao companheiro Dr. João Batista Pavesi Simão, pelas dicas de redação.

Aos Professores José Augusto Amaral, Adilson Catem e Edvaldo Fialho dos Reis pela liberação das dependências dos Laboratórios de Fisiologia Vegetal, Química de Solos e Recursos Hídricos, respectivamente. Aos funcionários do Laboratório de Solos do CCA-UFES: Alessandro José de Almeida, Marcelo de Souza, Ronaldo Marabot e Silvio Rogério Ferraz.

Ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), pela oportunidade de, mais uma vez, fazer parte desta família.

À coordenação do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, na pessoa dos seus coordenadores, Dr. Sebastião Martins Filho e Dr. Luiz César da Silva e, em especial, à secretária da Coordenação de Pós-graduação em Produção Vegetal, Madalena Capucho de Oliveira.

Aos companheiros da Escola Agrotécnica Federal de Alegre, na pessoa de seus diretores, Professor Edson Fossi Filho e Carlos Humberto Sanson Moullan, pela confiança e oportunidade que me foram dadas.

Aos companheiros da FAFIA, pelo apoio e compreensão nos momentos mais difíceis.

A todas aquelas pessoas que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Marcos Antonio Sattler,

Natural da Cidade de Alegre, ES. Formado em Agronomia no ano de 1985, pelo então Centro Agropecuário da Universidade Federal do Espírito Santo (CAUFES), hoje Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES) e em Pedagogia no ano de 1989 pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Alegre (FAFIA).

Especialista em Planejamento Educacional pela ASSOEC, em 1992, e em Agroecologia pelo CCA-UFES, em 1996.

Atualmente, atua como Engenheiro Agrônomo na Escola Agrotécnica Federal de Alegre (EAFA), na qual ocupa a coordenação do Pólo de Educação Ambiental. Na FAFIA, ocupa a cadeira de Ecologia no curso noturno de Biologia desde 1992.

CONTEÚDO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE EQUAÇÕES.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	Xv
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	04
2.1. Ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Itapemirim.....	04
2.2. Influência da cobertura vegetal sobre os atributos do solo	07
2.3. Variabilidade espacial de atributos do solo.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1. Localização e caracterização da área experimental.....	20
3.2. Plano amostral.....	22
3.3. Amostragem e determinações experimentais.....	23
3.3.1. Densidade do solo.....	23
3.3.2. Densidade de partículas.....	24
3.3.3. Volume total de poros.....	25
3.3.4. Microporosidade.....	25
3.3.5. Macroporosidade.....	25
3.3.6. Resistência do solo à penetração.....	26
3.3.7. Umidade do solo.....	26
3.3.8. Textura e granulometria.....	26
3.3.9. Argila dispersa em água.....	27
3.3.10. Grau de floculação.....	28
3.3.11. Carbono orgânico total.....	28
3.4. Análise exploratória descritiva.....	29
3.5. Análise exploratória espacial.....	30
3.6. Análise geoestatística.....	31
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	35
4.1. Análise exploratória descritiva	35
4.2. Correlação dos atributos do solo com as cotas dos pontos amostrais.....	43
4.3. Análise exploratória espacial.....	44

4.4. Análise semivariográfica.....	53
4.5. Mapas dos atributos físicos do solo.....	60
CONCLUSÕES.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Bacia Hidrográfica do Itapemirim (% de cobertura florestal por município).....	06
Figura 2.	Fisionomia de uma floresta estacional semidecidual em ambiente de Mata Atlântica.....	07
Figura 3.	Área experimental na Escola Agrotécnica Federal de Alegre/ES com pastagem (à direita) e vegetação nativa em recomposição natural (à esquerda).....	21
Figura 4.	Representação topográfica da área experimental com os pontos amostrados na pastagem (PA) e vegetação nativa (VN).....	22
Figura 5.	Esquema da malha amostral utilizada para as áreas sob pastagem e vegetação nativa.....	23
Figura 6.	Gráfico <i>Postplot</i> do volume total de poros (VTP) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	45
Figura 7.	Gráfico <i>Postplot</i> da microporosidade (MiP) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	46
Figura 8.	Gráfico <i>Postplot</i> da macroporosidade (MaP) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	46
Figura 9.	Gráfico <i>Postplot</i> da densidade do solo (Ds) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	46
Figura 10.	Gráfico <i>Postplot</i> da resistência do solo à penetração (RP) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	46
Figura 11.	Gráfico <i>Postplot</i> da argila (Arg) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	47
Figura 12.	Gráfico <i>Postplot</i> da areia grossa (AG) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	47
Figura 13.	Gráfico <i>Postplot</i> da areia fina (AF) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	47
Figura 14.	Gráfico <i>Postplot</i> da areia total (AT) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	47
Figura 15.	Gráfico <i>Postplot</i> da silte (Sil) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	48

Figura 16.	Gráfico <i>Postplot</i> da umidade (U) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	48
Figura 17.	Gráfico <i>Postplot</i> do grau de floculação (GF) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	48
Figura 18.	Gráfico <i>Postplot</i> da argila dispersa em água (ADA) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	48
Figura 19.	Gráfico <i>Postplot</i> do carbono orgânico total (COT) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	49
Figura 20.	Gráficos de dispersão das médias e desvio padrão em colunas e linhas dos valores dos atributos físicos VTP (%), MiP (%), MaP (%) e Ds (kg.dm ⁻³), referentes às áreas sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	50
Figura 21.	Gráficos de dispersão das médias e desvio padrão em colunas e linhas dos valores dos atributos físicos RP (MPa), Arg (g.kg ⁻¹), AG (g.kg ⁻¹) e AF (g.kg ⁻¹), referentes às áreas sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	51
Figura 22.	Gráficos de dispersão das médias e desvio padrão em colunas e linhas dos valores dos atributos físicos AT (g.kg ⁻¹), Sil (g.kg ⁻¹), U (%) e GF (%), referentes às áreas sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	52
Figura 23.	Gráficos de dispersão das médias e desvio padrão em colunas e linhas dos valores dos atributos físicos ADA (g.kg ⁻¹) e COT (g.kg ⁻¹) referentes às áreas sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita).....	53
Figura 24.	Semivariogramas escalonados dos atributos VTP (%), MiP (%), MaP (%) e Ds (kg.dm ⁻³), referentes às áreas de pastagem e vegetação nativa.....	57
Figura 25.	Semivariogramas escalonados dos atributos RP (MPa), Arg (g.kg ⁻¹), AG (g.kg ⁻¹) e AF (g.kg ⁻¹), referentes às áreas de pastagem e vegetação nativa.....	58
Figura 26.	Semivariogramas escalonados dos atributos AT (g.kg ⁻¹), Sil (g.kg ⁻¹), U (%) e GF (%), referentes às áreas de pastagem e vegetação nativa....	59
Figura 27.	Semivariogramas escalonados dos atributos ADA (g.kg ⁻¹) e COT	

	(g.kg ⁻¹), referentes às áreas de pastagem e vegetação nativa.....	60
Figura 28.	Mapas de isolinhas para os atributos: VTP (%) no solo sob pastagem e vegetação nativa; MiP (%) no solo sob pastagem.....	61
Figura 29.	Mapas de isolinhas para os atributos: Ds (kg.dm ⁻³) no solo sob pastagem e vegetação nativa; RP (MPa) no solo sob vegetação nativa.....	62
Figura 30.	Mapa de isolinhas para os atributos: Arg (g.kg ⁻¹) nos solos sob pastagem e vegetação nativa; AF (g.kg ⁻¹); AG (g.kg ⁻¹) e AT (g.kg ⁻¹) no solo sob vegetação nativa.....	63
Figura 31.	Mapas de isolinhas para os atributos: ADA (g.kg ⁻¹) nas áreas sob pastagem vegetação nativa; COT (g.kg ⁻¹) e FLOC (%) na área sob pastagem e TAS (%) na área sob vegetação nativa.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Dados da análise descritiva dos atributos do solo sob pastagem e vegetação nativa.....	36
Tabela 2.	Teste t – Student para os valores dos atributos do solo sob pastagem e vegetação nativa.....	40
Tabela 3.	Correlação dos atributos do solo sob pastagem e vegetação nativa com as cotas dos pontos amostrais.....	44
Tabela 4	Dados de ajuste dos semivariogramas escalonados para os atributos nas áreas de pastagem (PA) e vegetação nativa (VN).....	54

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação	1. Covariância: $Cov(x_i, x_{i+h})$ entre $Z(x_i)$ e $Z(x_{i+h})$	16
Equação	2. Variograma.....	16
Equação	3. Semivariograma de Matheron.....	17
Equação	4. Semivariograma de Matheron (forma usual).....	17
Equação	5. Densidade do solo.....	24
Equação	6. Densidade de partículas	24
Equação	7. Volume total de poros.....	25
Equação	8. Microporosidade.....	25
Equação	9. Macroporosidade.....	26
Equação	10. Resistência do solo à penetração.....	26
Equação	11. Areia grossa.....	27
Equação	12. Areia fina.....	27
Equação	13. Argila total.....	27
Equação	14. Silte.....	27
Equação	15. Argila dispersa em água (ADA).....	27
Equação	16. Grau de floculação.....	28
Equação	17. Volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação para cálculo de COT.....	29
Equação	18. Carbono orgânico total.....	29
Equação	19. Semivariograma de Matheron.....	32
Equação	20. Modelo linear para o ajuste do semivariograma.....	33
Equação	21. Modelo esférico para o ajuste do semivariograma.....	33
Equação	22. Modelo exponencial para o ajuste do semivariograma.....	33
Equação	23. Modelo Gaussiano para o ajuste do semivariograma.....	33
Equação	24. Modelo sem patamar para o ajuste do semivariograma.....	33
Equação	25. Semivariograma escalonado.....	34
Equação	26. Estimador da Krigagem ordinária.....	34

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB PASTAGEM E VEGETAÇÃO NATIVA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ITAPEMIRIM

RESUMO

SATTLER, Marcos Antonio, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, fevereiro de 2006. **Variabilidade espacial de atributos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastagem e vegetação nativa na Bacia Hidrográfica do Itapemirim.** Orientador: Prof. Dr Julião Soares de Souza Lima. Co-orientador: Prof. Dr Renato Ribeiro Passos.

Nas áreas rurais da Bacia Hidrográfica do Itapemirim predominam as pastagens. Estas áreas apresentam sinais de erosão e distúrbios de ordem física em diversos níveis, onde sistemas de manejos inadequados às condições de relevo fortemente acidentado contribuem para alterações significativas de atributos do solo. O objetivo do presente trabalho foi verificar o comportamento dos atributos: densidade do solo, volume total de poros, macro e microporosidade, resistência mecânica do solo à penetração, frações granulométricas (areia, silte e argila), carbono orgânico total, umidade do solo, argila dispersa em água e grau de flocculação, em uma área sob pastagem comparativamente a outra sob vegetação nativa da Mata Atlântica, utilizando-se procedimentos de estatística clássica e geoestatística. Utilizou-se uma malha quadrada, composta de 64 pontos amostrais para a coleta dos dados, na profundidade de 0 a 0,20 m. As avaliações, utilizando-se a estatística clássica, consistiram em análise descritiva dos dados e suas correlações, análise descritiva espacial através de gráficos “*Posplot*” e da interpretação do efeito proporcional entre a média e o desvio padrão. A análise da variabilidade espacial foi feita a partir de semivariogramas escalonados, utilizando-se

a krigagem ordinária para realizar estimativas em locais não amostrados, quando comprovado a dependência espacial. Os resultados mostraram que: a) a utilização de técnicas da geoestatística possibilitou a análise espacial dos atributos físicos do solo sob pastagem e vegetação nativa, favorecendo seu detalhamento e a melhoria do diagnóstico; b) os valores médios dos atributos Ds, VTP, MaP, COT e das frações granulométricas apresentaram diferença significativa em relação as duas formas de uso, excetuando-se os atributos AF e MiP; c) houve correlação significativa entre a altitude (cotas) dos pontos amostrados com os atributos VTP, MiP, RP, AT, Sil, U e COT na área sob pastagem e com os atributos VTP, MiP, Ds, RP, Arg, AF, AG, AT, U, COT, GF e ADA na área sob vegetação nativa; d) os atributos do solo apresentam estrutura de dependência espacial com grau de dependência forte ou moderada, excetuando-se a MaP, RP e AF na pastagem e MaP, Sil e COT na área sob vegetação nativa; e) as frações granulométricas na área de vegetação nativa apresentam dependência espacial entre as amostras, com exceção para o silte. Na área de pastagem, a exceção é para areia grossa, areia total e silte, indicando capacidade infinita de dispersão na área de estudo, sugerindo influência direta da forma de uso do solo.

Palavras-chave: geoestatística, conservação de solos, correlação, análise espacial.

ABSTRACT

SATTLER, Marcos Antonio, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, fevereiro de 2006. **Spatial variability of physical attributes in a Yellow Red Argisols under pasture and native vegetation, in the Itapemirim River Basin.** Advisor: Prof. Dr Julião Soares de Souza Lima. Co-Advisor: Prof. Renato Ribeiro Passos.

In the rural areas of the Itapemirim River watershed the pastures prevail. These areas present erosion signs and disturbances of physical order in several levels, where inadequate handling systems to the relief conditions strongly uneven contribute to significant alterations of attributes of the soil. The objective of the present work was to verify the behavior of the attributes: density of the soil, total porosity, microporosity, macroporosity, mechanical resistance of the soil to the penetration, particle size fraction (sand, clay and silt) total organic carbon, humidity of the soil, clay disperses in water and degree flocculation, in an area under pasture comparatively the other under native vegetation of Atlantic forest, being used procedures of classic statistic and geostatistic. A square mesh was used, composed of 64 points of sample for the data collection, in the depth from 0 to 0,20 m. The evaluations being used the classic statistic, consisted of descriptive analysis of the data and their correlations, space descriptive analysis through graphs Posplot and the interpretation of the proportional effect between the average and the standard deviation. The analysis of the spatial variability was made starting from assigned semivariograms, being used the ordinary kriging to accomplish estimates in places without sample, when proven the spatial dependence. The results showed that: a) the use of geostatistic techniques made possible the spatial analysis of the physical attributes of the soil under pasture and native vegetation, favoring its detail and the improvement of the diagnosis; b) the medium values of the attributes Ds, VTP, MaP, COT and of the particle size fraction presented significant difference in relation to the two use forms, being excepted the attributes AF and MiP; c) there was significant correlation among the altitude of the points of samples with attributes VTP, MiP, RP, AT, Sil, U and COT in the area under pasture and with the attributes VTP, MiP, Ds, RP, Arg, AF, AG, AT, U, COT, GF and ADA in the area under native vegetation; d) the attributes of the soil present structure of spatial dependence with a strong or moderated degree, being excepted MaP, RP and AF in the pasture and MaP, Sil and

COT in the area under native vegetation; e) the particles size fractions in the area of native vegetation present spatial dependence among the samples, with exception for the silt. In the pasture area, the exception is for thick sand, total sand and silt, indicating infinite capacity of dispersion in the study area, suggesting direct influence in the way of using the soil.

Key words: geostatistic, soil conservation, correlation, spatial analyses.

1. INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Itapemirim situa-se na Região Sul do Estado do Espírito Santo e possui a maior parte de sua área ocupada por pastagem, com pecuária de leite e, mais recentemente, com pecuária de corte. Juntamente com a cultura do café, estas atividades constituem a base de sua economia.

No histórico da ocupação da Região Sul do Estado do Espírito Santo para fins de desenvolvimento, durante várias gerações, houve uma intensa exploração dos recursos naturais, sobretudo o solo, a água e a vegetação, fato este observado ainda hoje. Na medida em que o uso e ocupação da área ocorrem sem critérios técnicos, percebe-se uma crescente degradação dos referidos recursos naturais, refletindo-se na baixa capacidade produtiva dos solos, associada a outros danos ambientais também de significativa importância.

A cada ano, os produtores rurais, em sua maioria pequenos agricultores, sentem mais intensamente os prejuízos causados pela erosão de seus solos, embora muitas das vezes sequer conseguem correlacionar tais prejuízos ao estado de degradação decorrentes do tipo de uso deste solo e da ausência de práticas sustentáveis de produção. O aumento da pressão sobre áreas cultivadas, sem que o fator sustentabilidade esteja contemplado em qualquer esfera de decisão, pode tornar processo produtivo inviável sob diversos aspectos.

Historicamente, a alteração de ecossistemas naturais, através da retirada da cobertura vegetal para fins de implantação de culturas, tem promovido o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio, modificando seus atributos químicos, físicos e biológicos, limitando sua utilização sustentável nos processos produtivos e tornando-o mais suscetível à erosão. Assim sendo, cabe neste momento uma reflexão sobre

os reais mecanismos a serem adotados no sentido de aprimorar o modelo produtivo, para que homem e ambiente estejam integrados de maneira sustentável. Avaliar as reais condições do solo, não desconsiderando outros campos de interesse e importância, pode ser um ponto de partida para uma conciliação entre produção e preservação dos recursos naturais.

Para um perfeito entendimento sobre os processos erosivos que anos a fio vêm degradando os solos da região, torna-se pertinente uma melhor avaliação de seus atributos, levando em conta os sistemas de manejo empregados pelo produtor.

A caracterização da variabilidade espacial dos atributos do solo, associada a outras técnicas de tomada de decisão e à experiência do agricultor, são importantes para o refinamento das práticas de manejo e a avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental, podendo contribuir de maneira significativa para o desenvolvimento regional através de uma agricultura sustentável econômica e ecologicamente.

Os atributos do solo podem variar de forma significativa entre pontos relativamente próximos em áreas de mesma unidade taxonômica. Em consequência dessas variações, o uso do valor médio é, às vezes, de pouca utilidade, podendo conduzir a decisões de manejo equivocadas, principalmente, no sistema solo-água-planta.

A amostragem simples ao acaso adotada por modelos estatísticos convencionais nem sempre é a forma eficiente de estimar os parâmetros relacionados aos solos, porque a maioria das propriedades, além da variabilidade casual (intemperismo diferencial pontual, erosão e adição diferencial, fatores biológicos e hidrológicos diferenciais, erros analíticos e de amostragem, entre outros), possui também variabilidade espacial (sistemática) que pode ser explicada em função dos componentes de paisagem, tais como: os aspectos geomorfológicos, os fatores pedogenéticos, além do próprio uso e manejo do solo.

Sabe-se, no entanto, que a variabilidade espacial dos solos não tem sido devidamente considerada nos sistemas de produção, principalmente na realidade do pequeno agricultor, já que em outras situações, a agricultura de precisão é abordada de maneira mais intensa. O estudo da dependência espacial de propriedades do solo, através da teoria das variáveis regionalizadas ou geoestatística, permite a interpretação e a projeção dos resultados com base na estrutura da sua variabilidade natural, podendo indicar alternativas de uso, além de possibilitar uma

melhor compreensão da variabilidade dos atributos do solo e sua influência sobre a produção das culturas.

Este trabalho teve por objetivo analisar, através da estatística clássica, diferenças entre atributos físicos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a dois tipos de uso (pastagem e vegetação nativa em recomposição natural), as possíveis correlações destes atributos com o relevo e, com o uso da geoestatística, descrever a variabilidade espacial dos atributos deste solo nas duas situações.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Itapemirim

No Brasil, a maior parte das áreas com pastagem cultivada é constituída por plantas dos gêneros *Brachiaria* e *panicum*, fato comprovado pela sua grande área cultivada e pelo alto valor agregado ao comércio de suas sementes, sobretudo a *Brachiaria decumbens*, tornando-as principal fonte de nutrientes para animais em pastejo. As pastagens constituem ecossistemas complexos, embora a predominância de uma só espécie possa refletir o contrário (Dias Filho, 2004) e sua sustentabilidade dependa das inter-relações entre vários fatores ambientais. Em relação ao solo, destacam-se as propriedades químicas, através da ciclagem de nutrientes (Monteiro & Werner, 1997), as propriedades físicas e o manejo (Magalhães, 2001). A pastagem fornece o alimento básico ao rebanho bovino nacional, uma vez que, no nosso país, os sistemas pecuários são caracterizados pela sua utilização como sua principal fonte de alimento (Pedreira e Mello, 2000).

Segundo dados levantados em 2001, dos aproximadamente 180 milhões de hectares de pastagem cultivadas e nativas, estima-se que em cerca de 70 a 80% da área utilizem-se cultivares desses dois gêneros (Valle & Miles, 1994; Andrade, 1994). O manejo inadequado das pastagens, aliado à não reposição de nutrientes no solo, interferem diretamente na sustentabilidade das áreas destinadas à pastagem.

Na Bacia Hidrográfica do Itapemirim, a totalidade das áreas hoje ocupadas por pastagens, no passado era ocupada pelo bioma Mata Atlântica e seus

ecossistemas associados. A introdução da pastagem é, portanto, oriunda da remoção da vegetação nativa, embora uma parte tenha substituído as lavouras de café, em momentos distintos no histórico de ocupação dos solos da região (Espírito Santo, 1999). A retirada da vegetação favorece a fase de estabelecimento das pastagens com a mineralização da matéria orgânica remanescente da floresta tropical, disponibilizando o nitrogênio necessário à produtividade das gramíneas (Cantarutti, 1996). Entretanto, a destruição ou perturbação do ecossistema original interrompeu os ciclos biológicos que mantinham o equilíbrio entre as espécies e o meio.

No histórico da ocupação da região observa-se um ritmo acelerado na exploração dos recursos naturais, bem como alteração e/ou substituição de ecossistemas. Os modelos produtivos utilizados, desde então, vêm levando a região a uma crescente degradação dos referidos recursos naturais, refletindo-se na baixa capacidade produtiva dos solos, associada a outros danos ambientais também de significativa importância.

A Bacia do Rio Itapemirim possui área de 687.000. ha, geograficamente situada entre os meridianos 40°48' e 41°52' de longitude W.G. e entre os paralelos 20°10' e 21°15'. Compreende 17 municípios. São eles: Alegre, Atílio Viváqua, Conceição do Castelo, Castelo, Ibatiba, Ibitirama, Irupi, Jerônimo Monteiro, Muniz Freire, Muqui, Vargem Alta, Venda Nova do Imigrante, Itapemirim, Cachoeiro do Itapemirim, Marataízes e Iúna (todos do ES) e Lajinha (MG). Os municípios componentes da Bacia Hidrográfica do Itapemirim, bem como seus respectivos percentuais de cobertura florestal estão representados na Figura 1.

O relevo da Bacia Hidrográfica do Itapemirim é muito diversificado, com altitudes que variam de zero (litoral) até 2.890 m (Pico da Bandeira, PARNA CAPARAÓ). A variação topográfica em tão curto espaço físico, ou seja, na pequena distância entre o litoral e o Parque Nacional do Caparaó, aliada à grande diversidade climática e sobretudo à variabilidade de solos, confere à região uma situação ímpar no contexto do Bioma Mata Atlântica, seja nos diversos tipos de ecossistemas associados, nos ambientes extremamente frágeis do ponto de vista da exploração dos recursos naturais, seja também na diversificação de aptidão agrícola e outras atividades humanas voltadas ou não para o setor produtivo.

Dentro do Bioma Mata Atlântica, a vegetação natural de Floresta Estacional Semidecidual merece destaque. Segundo Veloso & Góes-Filho (2003), o conceito

ecológico de Floresta Estacional está diretamente relacionado ao clima de duas estações, uma chuvosa e outra seca, que condicionam uma estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes que têm aptidão fisiológica à deficiência hídrica ou à baixa temperatura, durante determinado tempo.

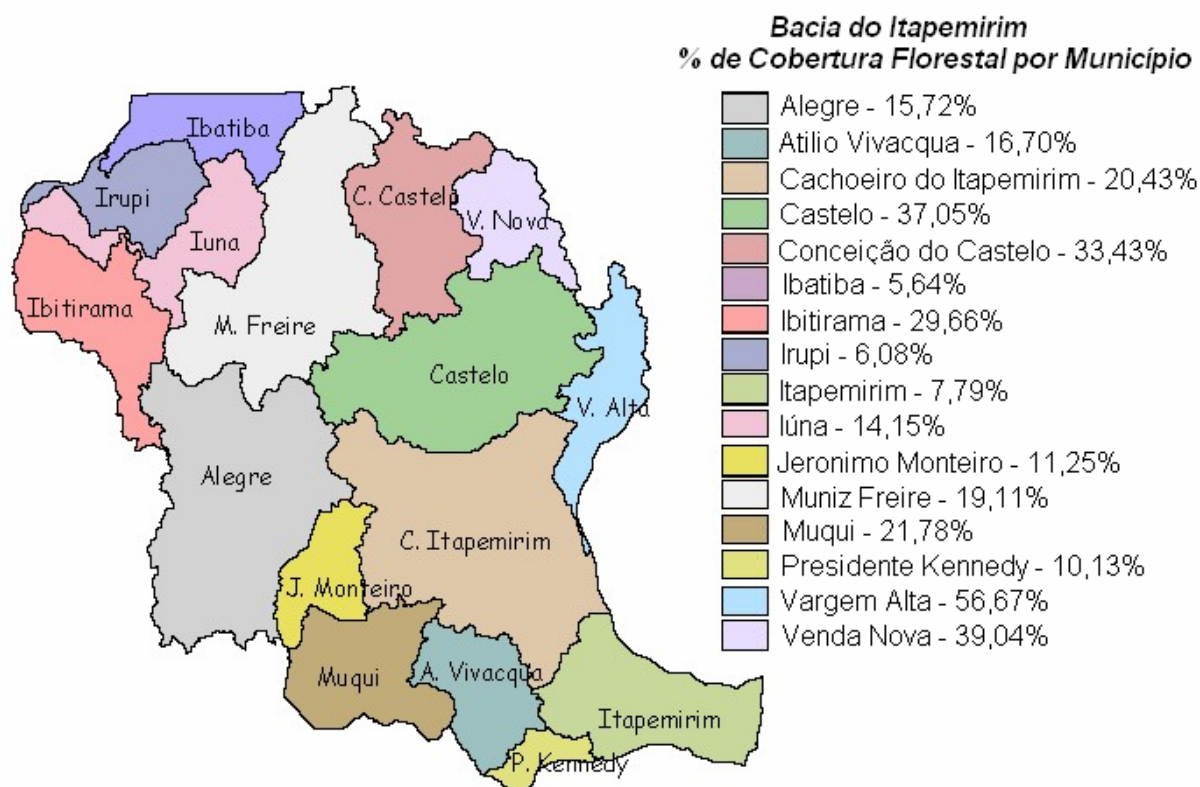


Figura 1 - Bacia Hidrográfica do Itapemirim (% de cobertura florestal por município)¹

A ocorrência desse tipo de vegetação em áreas mais quentes tem na baixa disponibilidade hídrica seu fator mais limitante. A Floresta Estacional Semidecidual, segundo Rodrigues & Nave (2000), mesmo recebendo diversas outras classificações, encontra no termo sua melhor expressão para designar as transformações de aspecto ou comportamento da comunidade conforme as estações do ano (ACIESP, 1997). Esta mesma floresta revestia 45% da região sudeste (precisamente São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo), bem como uma parte da Bahia e está hoje imensamente reduzida em função da ação antrópica, ficando as áreas remanescentes restritas a pequenas ilhas; no Espírito Santo, localizam-se principalmente na região do Caparaó.

1 - <http://www.nedtec.ufes.br/geo/Produtos/municipios.htm>

Essa formação é caracterizada por apresentar um dossel não perfeitamente contínuo (irregular), entre 15 a 20 m de altura, com presença de árvores emergentes de até 25 a 30 m de altura (Figura 2). Segundo Leitão Filho (1992), o extrativismo de muitas espécies foi feito para atender diversas demandas, principalmente aquelas relacionadas às atividades rurais, construção civil e, em alguns casos, na construção de pontes, estradas de ferro, postes, fabricação de carvão em situações específicas de olarias, padarias, locomotivas no passado, entre outras.

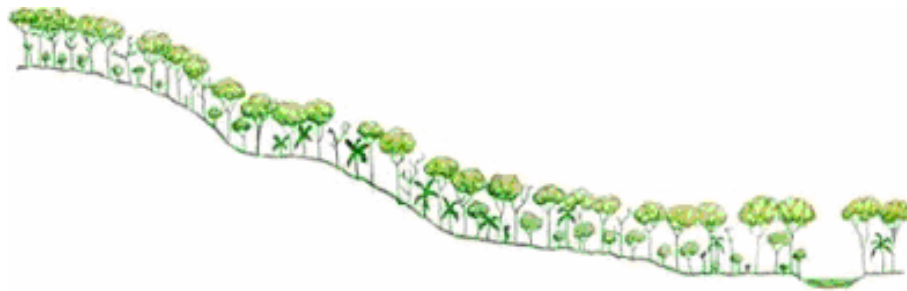


Figura 2 - Fisionomia de uma floresta estacional semidecidual em ambiente de Mata Atlântica²

2.2. Influência da cobertura vegetal sobre os atributos do solo.

Numa definição mais simplista, o termo solo é definido como sendo a superfície inconsolidada que recobre as rochas e mantém a vida animal e vegetal, constituído de camadas que diferem entre si pela natureza física, química, mineralógica e biológica, que se desenvolvem pela ação conjugada dos agentes intempéricos sobre os materiais preexistentes de natureza mineral e orgânica (Fontes & Fontes, 1992).

A Floresta Atlântica, assim como diversas outras florestas tropicais, encontra-se entre os principais ecossistemas ameaçados pela ocupação humana. Em todo o planeta intensificaram-se, nas últimas décadas, os estudos que buscam compreender os efeitos da ação antrópica sobre este ecossistema e processos responsáveis por sua manutenção (Lugo et al., 1993; Roberts & Gilliam, 1995).

2 - http://www.rbma.org.br/anuario/mata_02_eco_floresta_estacional_semidecidual.asp

No decorrer do desenvolvimento das espécies vegetais, ocorre uma estreita inter-relação entre os fatores que determinam a formação do solo e o ambiente dos ecossistemas, o que ocasiona uma mudança nas características da vegetação, resultando num processo natural de seleção de espécies. Assim, a forma das paisagens representa um retrato do momento de um processo contínuo e dinâmico das formações vegetais. A atividade florestal constitui-se numa ação que tem influência direta sobre o ambiente, especialmente sobre o solo, capaz de provocar profundas modificações no ecossistema. Cabe também ressaltar que em áreas declivosas o efeito do solo na vegetação pode ser modificado pela topografia, sendo os principais fatores edáficos modificados: o pH, a quantidade de nutrientes e a textura do solo (Clark, 2002).

A degradação de terras sob florestas representa uma significativa redução de sua capacidade produtiva, com a fragmentação de sua biodiversidade (Malleux, 1993). A avaliação deste processo degenerativo, embora complexo, tem como principais indicadores as modificações da estrutura do solo (ressaltando as camadas mais superficiais), a perda de matéria orgânica, a redução de nutrientes, os processos erosivos e os distúrbios no equilíbrio hídrico (Longo, 1999). Segundo Miranda (1993), essa mudança na vegetação causa um desequilíbrio no ecossistema e as propriedades intrínsecas da nova vegetação influenciarão os processos físico-químicos e os biológicos do solo, modificando suas características e propiciando sua degradação.

A retirada da cobertura vegetal original e a implantação de culturas, aliadas às práticas de manejo inadequadas, promovem o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio, modificando suas propriedades químicas, físicas e biológicas (Muller, 2001), além de limitar sua utilização agrícola e torná-lo mais suscetível à erosão (Centurion et al., 2001).

Longo (1999) pesquisou as modificações nas propriedades do solo decorrentes da introdução de pastagem no cerrado, verificando que ocorrem alterações em algumas características e propriedades, especialmente com relação aos atributos físicos. Em comparação ao solo em seu estado natural, ou seja, sob vegetação nativa e sem intervenção humana, o uso agrícola tem aumentado a densidade do solo e diminuído a porosidade, dificultando as trocas gasosas, a infiltração e o movimento de água, o crescimento de raízes, a atividade de microrganismos decompositores e/ou fixadores de nitrogênio, conforme enfatizam

Freitas (1994) e Borges et al. (1997). Segundo Alvarenga (1996), dentre os diversos atributos alterados pela ação antrópica estão aqueles relacionados com a sua estrutura física. As transformações ocasionadas pela substituição da vegetação nativa pela pastagem associam-se a outros fatores não menos impactantes, como o tipo de manejo a ser adotado no processo produtivo. Há visivelmente um maior grau de degradação em pastagens sob manejo intensivo (contínuo) em relação a sistemas menos agressivos, com o manejo rotativo.

Anjos et al. (1994) verificaram aumento da densidade do solo submetido aos diferentes manejos em relação à mata nativa. Spera (1995) também afirma que solos sob mata apresentam maior macroporosidade em relação a outras culturas, como a pastagem.

Comparando solos sob cerrado com áreas de pastoreio, Melo & Silva (1995) observaram que o sistema de manejo adotado na pastagem promoveu alterações nas propriedades físicas e no conteúdo de matéria orgânica. A compactação provocada pelo pastejo intensivo e a redução da matéria orgânica influenciaram negativamente as propriedades do solo, aumentando a densidade e diminuindo o tamanho dos agregados estáveis em água e a macroporosidade. Correa & Reichardt (1995), pesquisando pastagens em Latossolo Amarelo Argiloso, constataram que, com manejo rotativo, a pastagem teve preservada sua vitalidade em relação ao manejo contínuo, mesmo tendo este último certa vantagem em relação ao ganho de peso dos animais.

Segundo Burrows (1995), são poucas as pastagens nos trópicos e subtropicais com manejo equilibrado. O mesmo autor considera, ainda, que a sustentabilidade dos sistemas de pastagem apóia-se em dois importantes princípios: a necessidade de manter a integridade do solo e a necessidade de se aplicar técnicas conservadoras para o manejo da pastagem.

Segundo Dias & Griffith (1998), há uma dificuldade muito grande para se diagnosticar, em relação às atividades degradadoras, quais exatamente são os processos de degradação. São necessários o aprimoramento dos indicadores de processos de degradação de solos e a maior sensibilidade / conscientização do agricultor para as práticas de manejo e conservação de solo para que haja a alteração desse cenário.

Em áreas utilizadas com pastagem, a degradação das propriedades físicas se pronuncia de forma intensiva. Segundo Moraes & Lustosa (1997), a deterioração

das condições físicas do solo sob pastagem é atribuída ao pisoteio do gado, que causa sua compactação, impresso pelo aumento da sua densidade, redução do espaço poroso e aumento da resistência à penetração. Na literatura são mencionados valores que variam entre 0,25 MPa e 0,49 MPa para bovinos de 400 a 500 kg, podendo atingir a profundidade de 5 a 10 cm (Proffitt et al., 1993). Nie et al. (2001) indicaram ainda que a pressão exercida pelos animais em movimento pode ser o dobro da exercida quando eles estão parados. A degradação causada pelo pisoteio de animais em pastagens também foi abordada por outros autores como Humphreys (1994), Correa & Reichardt (1995), Holt et al. (1996) e Souza et al. (1998).

A densidade do solo e a porosidade total podem apresentar valores variáveis para um mesmo solo, alterando-se com o manejo aplicado e a estruturação. Borges (1995), ao promover a compactação do solo, elevando os valores de densidade de $1,32 \text{ kg.dm}^{-3}$ para $1,77 \text{ kg.dm}^{-3}$ em um Latossolo Vermelho-Escuro de textura média, verificou que a compactação reduziu a aeração em aproximadamente 5,8 vezes, enquanto que a umidade volumétrica foi aumentada em 1,58 vezes, comprometendo o crescimento das plantas.

O manejo inadequado pode provocar a compactação, alterando a estruturação e, conseqüentemente, a densidade do solo e a porosidade total (Kiehl, 1979). Gupta & Allmaras (1987) também afirmam que quando um solo não saturado é submetido a determinada pressão, ocasionando redução de volume com conseqüente aumento de densidade, ocorre o processo de compactação do solo.

A avaliação da densidade do solo consiste no melhor método para se determinar a sua compactação e, também, na mensuração de fenômenos de adensamento do solo (Mantovani, 1987). Com o desenvolvimento cada vez mais evidente da pecuária em áreas de relevo acidentado, como os que predominam a região de estudo, torna-se importante identificar até que ponto a compactação desses solos, provocada principalmente pelo pisoteio de animais, afeta a capacidade de suporte das pastagens com gramíneas forrageiras.

De acordo com Imhoff et al. (2000), a densidade do solo é influenciada principalmente pela idade e tipo de forrageira, pela taxa de lotação animal empregada, pela umidade do solo no momento do pastejo e pela textura do solo.

A compressibilidade do solo, que indica a sua resistência ao decréscimo de volume quando submetido a certa pressão (Horn & Lebert, 1994), é determinada por

características, tais como: a textura, a umidade, o teor de carbono orgânico (Imhoff, 2002), bem como, pela intensidade, frequência e tipo de sistema de pastejo adotado (Stephenson & Veigel, 1987; Defossez & Richard, 2002).

A resistência mecânica do solo à penetração é uma propriedade física obtida com relativa facilidade e, de certa forma, deve ser correlacionada com a densidade e com a macroporosidade. Para um mesmo solo, quanto maior a densidade do solo, maior será a resistência à penetração e menor será a macroporosidade, que é o principal espaço para o crescimento das raízes (Mercante et al, 2003). Para Klein et al. (1998), a resistência mecânica do solo à penetração é influenciada por vários fatores, sendo a densidade do solo e a umidade os principais, devendo esta última ser monitorada no momento da amostragem. Um solo seco oferece maior resistência à penetração que um solo úmido. Imhoff et al. (2000) expõem enfaticamente a correlação negativa entre teor de umidade e valor de resistência à penetração.

A resistência do solo à penetração das raízes é drasticamente alterada quando ocorre degradação da estrutura do solo (Willatt & Pular, 1983; Murphy et al., 1995) e constitui um indicador mais sensível do efeito do pisoteio dos animais sobre a estrutura do solo que a densidade do solo (Chanasyk & Naeth, 1995).

Segundo Taylor et al. (1991), limitações ao crescimento radicular ocorrem normalmente com valores de resistência do solo à penetração superiores a 2 Mpa. O estabelecimento de uma estimativa da capacidade de suporte de carga à valores de resistência à penetração, considerados não impeditivos ao crescimento de raízes, poderá evitar a degradação da qualidade estrutural de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. Considerando-se a importância da resistência do solo à penetração em diversos aspectos do processo produtivo, a avaliação deste atributo torna-se indispensável e deve ser utilizada para orientar o manejo e o controle da qualidade física do solo (Imhoff et al. 2002).

A textura do solo, resultante da proporção relativa entre os diferentes grupos de partículas primárias existentes no solo (areia, silte e argila) é determinada pela análise granulométrica, classificando-as em classes de diâmetro (Guimarães, 2000). Entre as principais características do solo, a textura, que é considerada a mais estável e representa a distribuição quantitativa das partículas do solo quanto ao tamanho (Ferreira, 1993), influencia o comportamento do solo quanto à relação da dinâmica da água, permeabilidade, resistência à erosão, adubação e práticas

conservacionistas (Spera, 1995). Juntamente com a estrutura do solo, influenciam uma gama de atributos como a porosidade e, conseqüentemente, a densidade do solo (Spera, 1995; Strickland et al., 1988 e Ferreira, 1993).

A textura deve ser considerada um fator de grande importância no processo de compactação do solo. Quando determinada pressão externa é aplicada ao solo, através de máquinas, equipamentos de transporte ou animais, podem ocorrer um novo acomodamento e/ou arranjo das partículas, diminuindo o espaço aéreo do solo, aumentando, assim, a densidade e a resistência à penetração e, decorrente disso, aumentando também a compactação (Soane, 1986; Horn & Lebert, 1994).

A matéria orgânica do solo corresponde a um complexo sistema de substâncias, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e pela transformação contínua sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos (Camargo et al., 1999).

A matéria orgânica é um dos principais agentes de agregação das partículas do solo, sendo que quanto maior o teor de carbono orgânico, maior o índice de estabilidade de agregados no solo. Além disso, o controle de processos erosivos coloca os sistemas florestais como um dos maiores mantenedores do estado de equilíbrio em relação aos agregados. Tanto a serrapilheira, sobre o solo, quanto a matéria orgânica nos agregados atuam na diminuição dos processos erosivos de forma decisiva. As gotas de chuva são amortecidas nessa camada de resíduos, de forma que a superfície do solo não sofre o impacto direto das gotas. Com isso, os agregados do solo não são desintegrados em suas partículas básicas: areia, silte e argila, evitando o desencadeamento do processo erosivo. Os resíduos orgânicos funcionam como obstáculos para o caminhamento de excedentes hídricos, reduzindo a velocidade da enxurrada (Castro Filho et al., 1998).

O teor de carbono orgânico total (COT) do solo, nesse contexto, é considerado um dos mais importantes indicadores da qualidade do solo por alterar sua dinâmica de nutrientes, propriedades físicas e biológicas e as características produtivas do solo (Grapeggia Junior, 2000). Segundo Passos (2000), a matéria orgânica constitui-se em um dos principais reservatórios de carbono (C) no ciclo global deste elemento, além de atuar como um dos principais agentes na formação e estabilização dos agregados, conforme citado também por Castro Filho et al., (1998). Entre tais agentes, ressalta-se ainda a ação da argila, sílica coloidal, compostos orgânicos, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro e

alumínio (Silva & Mielniczuk, 1997). O incremento ou a diminuição de matéria orgânica em solos sob cultivo depende, sobretudo, dos conteúdos iniciais de matéria orgânica, bem como do sistema de cultivo adotado. No entanto, as taxas de declínio podem ser reduzidas com algumas práticas de manejo (Anderson & Flanagan, 1989).

O tipo de cobertura vegetal implica de maneira direta em distintos comportamentos relacionados às propriedades físicas e químicas do solo. Oliveira et al. (1992) afirmam que a vegetação influi ativamente nos processos de formação dos solos, propiciando condições favoráveis às atividades biológicas e, conseqüentemente, na origem de diferentes ecossistemas.

O processo de formação da serrapilheira, definida como camada superior do solo rica em restos vegetais como folhas, galhos e outros restos vegetais, é bem característico em ambientes florestais e contribui decisivamente para as propriedades físicas e químicas do solo. Costa et al. (2000), avaliando o fluxo de nutrientes em uma área degradada após dez anos de sua revegetação com leguminosas arbóreas, constataram que a área estudada foi reabilitada pela adição de carbono e nitrogênio ao sistema e pelo restabelecimento do fluxo de nutrientes através da deposição de serrapilheira. Segundo o mesmo autor, a dinâmica do ambiente florestal, envolvendo a camada de matéria orgânica em decomposição que se encontra sobre a superfície do solo mineral, com sua microflora característica e com sua fauna, representa o critério mais importante na distinção entre solos ocupados com florestas ou com culturas agrícolas.

Em regiões cuja paisagem foi fortemente alterada pela ocupação humana, a restauração de áreas degradadas se constitui em uma importante estratégia para conservação e recuperação da diversidade biológica (Lugo et al., 1993 e Young, 2000). Estudos realizados em florestas secundárias têm enfatizado que o histórico de uso de uma área exerce forte influência sobre as características do processo de regeneração posterior (após abandono), afetando de maneira diferenciada os recursos, a partir dos quais se dará esta regeneração (Aide et al., 1995; Mizrahi et al., 1997; Holl, 1999, Pascarella et al., 2000). Assim, a restauração da floresta tende a ser mais lenta em áreas que, antes do abandono, foram exploradas de maneira intensiva e prolongada.

2.3. Variabilidade espacial de atributos do solo

As características e as propriedades dos solos apresentam variabilidades que podem ser casuais ou facilmente explicadas pela anisotropia de seus processos de formação (Guimarães, 2000). Alguns autores admitem que diversos atributos do solo podem apresentar dependência espacial em escalas que variam da ordem de poucas moléculas a alguns quilômetros (White et al., 1997; Castrignano et al., 2000; Yang et al., 2001).

Vários estudos relatam que a variabilidade dos atributos físicos do solo apresenta correlação ou dependência espacial (Reichardt, 1986; Machado, 1994; Carvalho et al., 2002; Carvalho et al., 2003) e que atributos do solo, geralmente, não ocorrem de maneira aleatória no espaço, mas segundo um arranjo estrutural com uma dimensão característica, que é seu domínio, e que corresponde à distância dentro da qual há interdependência dos valores medidos, ou seja, os atributos do solo podem apresentar-se espacialmente correlacionados em determinada área, podendo o conhecimento desta dependência espacial contribuir para o entendimento sobre a influência dos atributos e do manejo do solo sobre a produtividade das culturas. Todavia, os métodos tradicionais de classificação do solo e análises estatísticas não consideram essa questão (Trangmar et al., 1985).

Segundo Chen et al. (1995), o planejamento experimental e o número de amostras devem considerar a variabilidade espacial existente no solo. Vieira (1997) afirma que quando ocorre a variabilidade espacial para os atributos dos solos, a amostragem simples ao acaso falha em detectá-la, e, desta forma, esconde a realidade do comportamento da variável no solo. Segundo Davis et al. (1995), não considerar a variabilidade do solo poderia acarretar erros em detectar diferenças entre tratamentos, sendo que Ovalles & Collins (1988) sugerem que o conhecimento da variabilidade das propriedades do solo é essencial para produzir seguras interpretações, com o objetivo de produzir eficientes predições do seu desempenho em locais específicos.

A metodologia da estatística clássica considera as variações que ocorrem entre as amostras como aleatórias e casuais. Considera ainda que as variações são independentes e normalmente distribuídas. Nessa abordagem, o coeficiente de variação (CV), que mede a variabilidade em relação à média, é a medida que resume a variabilidade do atributo, não distinguindo o número de amostras utilizada

e nem sua posição espacial. Já, a metodologia da geoestatística procura analisar a variabilidade espacial explicada pela relação existente entre as amostras e a variabilidade casual, fazendo com que as estimativas realizadas por esta metodologia sejam mais precisas em relação à estatística clássica (Guimarães, 2000). Em síntese, a geoestatística incorpora, além da análise da distribuição estatística dos dados, as relações espaciais entre estes, na forma de correlação entre os pontos amostrados.

Dentro desse contexto, a geoestatística vem despontando como uma alternativa, propondo um método de investigação da dependência espacial e temporal de atributos do solo, e vem sendo bastante empregada na Ciência dos solos (Gontijo, 2003). E alguns estudos demonstram a aplicação da geoestatística na implantação e condução da agricultura de precisão (Vieira, 2000; Bailey et al., 2001 e Mercante et al., 2003), conceito este abordado e definido por diversos autores (Schueller, 1992; Goering, 1993; Searcy, 1995; Rawlins, 1996; Balastreire, 1998), referindo-se ao manejo de solo-planta-atmosfera, o qual se baseia em princípios de gerenciamento agrícola de informações sobre as variabilidades (espacial e temporal) dos fatores de produção e da própria produtividade.

A análise geoestatística permite detectar a existência da variabilidade e distribuição espacial das medidas estudadas e constitui importante ferramenta na análise e descrição detalhada dos atributos do solo (Vieira, 2000; Carvalho et al., 2002; Vieira et al., 2002). A geoestatística pode ser definida como uma coleção de técnicas para a solução de problemas de estimativa envolvendo variáveis espaciais (ASCE, 1990) e tem sua base conceitual na interpretação espacial de uma variável regionalizada com realização particular de uma função aleatória.

A teoria de variáveis regionalizadas foi desenvolvida por Matheron (1971), através de trabalhos desenvolvidos em atividades de mineração. A base geoestatística está nesse conceito de variável regionalizada associada a conceitos de funções aleatórias e estacionaridade.

A variável regionalizada $Z(x_k)$, para qualquer x_i dentro da área S , por sua vez, pode ser considerada uma realização do conjunto de variáveis aleatórias $\{Z(x_i)$, para qualquer x_i dentro de $S\}$. Esse conjunto de variáveis aleatórias é definido como uma função aleatória e é simbolizado por $Z(x_i)$ (Journel e Huijbregts, 1978).

De acordo com Guimarães (2000) para que a geoestatística possa ser utilizada adequadamente, faz-se necessário que algumas hipóteses de

estacionaridade de uma função aleatória $Z(x_i)$ sejam consideradas, dentre elas a hipótese de estacionaridade de ordem 2 e a hipótese intrínseca.

A hipótese de estacionaridade de ordem 2 implica na existência de uma variância finita dos valores medidos, $\text{Var} \{Z(x)\} = \text{Cov} (0)$. Esta hipótese pode não ser satisfeita para alguns fenômenos físicos os quais tem uma capacidade infinita de dispersão. Para tais situações, uma hipótese menos restritiva, a hipótese intrínseca, pode ser aplicável. Esta hipótese requer apenas a existência e estacionaridade do variograma, sem nenhuma restrição quanto à existência de variância finita. Uma função aleatória é intrínseca quando, além de satisfazer a condição de estacionariedade do primeiro momento estatístico ($E \{Z(x_i)\} = m$), também o incremento $\{Z(x_i) - Z(x_i+h)\}$ tem variância finita e não depende de x_i para qualquer vetor h .

Uma vez avaliadas as hipóteses envolvidas, o semivariograma pode ser definido. Em seus estudos, Guimarães (1993); Vieira (1998); Souza (1992) e Pannatier (1996) definiram o semivariograma clássico de Matheron como um método gráfico que expressa a estrutura espacial da semivariância.

A variabilidade espacial pode ser descrita a partir de autocorrelogramas (estimativa de dependência entre amostras vizinhas no espaço quando se está fazendo amostragem em uma direção), ou através de semivariogramas quando a amostragem envolve duas direções (x, y). Estas funções determinam a dependência espacial das amostras (Vieira et al., 1983; Libardi et al., 1986; Reichardt et al., 1986), sendo que, na geoestatística, o semivariograma é sempre o método mais utilizado por oferecer informações mais precisas e abrangentes.

Supondo-se que a função aleatória $Z(x_i)$ tenha valores esperados $E \{Z(x_i)\} = m(x_i)$ e $E \{Z(x_i+h)\} = m(x_i+h)$ e variâncias $\text{Var} \{Z(x_i)\}$, e $\text{Var} \{Z(x_i+h)\}$, respectivamente, para os locais x_i e x_i+h , e qualquer vetor h . Então a covariância $\text{Cov}(x_i, x_i+h)$ entre $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$ é definida por:

$$C(x_i, x_i+h) = E \{Z(x_i)Z(x_i+h)\} - m(x_i)m(x_i+h) \quad (\text{eq. 01})$$

o variograma é definido por:

$$2\gamma(x_i, x_i+h) = E \{Z(x_i) - Z(x_i+h)\}^2 \quad (\text{eq. 02})$$

e o semivariograma é, por definição,

$$\gamma(h) = 1/2 E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (\text{eq. 03})$$

podendo ser estimado através de:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2 N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (\text{eq. 04})$$

em que:

$N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados por um vetor h (distância entre as amostras).

O gráfico de $\gamma^*(h)$ versus os valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é uma função do vetor h e, portanto, depende de ambos, magnitude e direção de h .

Alguns autores definem a função semivariograma e sua aplicação prática no estudo da variabilidade espacial na Ciência do Solo. Vieira et al. (1983) descrevem o semivariograma como 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. Valeriano & Prado (2001) o definem como representação gráfica da função de dependência em relação à distância, através da qual se pode ajustar modelos teóricos de variabilidade espacial.

O valor da semivariância média das amostras é um estimador, sem tendência, da semivariância média da população, assumindo que a hipótese intrínseca foi satisfeita. Quando o patamar é atingido tem-se a variância da população e independência entre as amostras (Dourado Neto, 1989).

A geoestatística é uma ferramenta que permite a interpretação dos resultados obtidos do estudo com base na estrutura da sua variabilidade natural, considerando a existência de dependência espacial dentro do espaço da amostragem. Esta ferramenta permite estabelecer um modelo de semivariograma que melhor descreva a variabilidade espacial dos dados, o qual será utilizado no processo de interpolação pelo método da krigagem. A análise da dependência espacial é baseada na suposição de que medições separadas por distâncias

pequenas são mais semelhantes umas às outras, que aquelas separadas por distâncias maiores (Silva et al., 2003).

O semivariograma, que é o ajuste teórico dos dados analisados a modelos matemáticos, é um dos aspectos mais importantes da aplicação da teoria das variáveis regionalizadas. Davis et al. (1995) definem semivariograma como uma ferramenta da geoestatística, pautada na hipótese da estacionaridade da variância, sendo utilizado para descrever a dependência espacial entre observações, com base na teoria das variáveis regionalizadas.

Conhecido o semivariograma da variável em estudo e havendo dependência espacial, pode-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, pelo método da krigagem, baseando-se na função da dependência espacial definida pelo semivariograma (Vieira & Lombardi Neto, 1995). Segundo Ribeiro Júnior (1995) e Camargo (1997), a vantagem deste interpolador, em relação aos outros, é a de incorporar o modelo da variabilidade espacial dos dados, permitindo que os critérios de estimativa sejam baseados em condições estatísticas bem definidas, ou seja, além de ponderar pelas distâncias euclidianas entre o ponto a ser estimado e os demais pontos conhecidos, incorporam também a estrutura de variabilidade na região de estimação. Isto faz com que essa técnica seja mais eficiente em relação às outras técnicas de interpolação, que adotam critérios subjetivos.

A krigagem pode ser definida como um método para estimar, no espaço, o valor de uma variável de interesse em um local não amostrado, usando, para isso, dados obtidos em pontos adjacentes ou vizinhos. Para que esta ferramenta seja usada é necessário que exista a dependência espacial definida pelo semivariograma (Salviano, 1996). A krigagem foi discutida por Vieira et al. (1983) e Trangmar et al. (1985) e citada por Guimarães (2000) como uma técnica de estimação de valores de uma variável aleatória em locais não amostrados, usando as propriedades estruturais do semivariograma e o conjunto de valores experimentais inicial.

O estimador de krigagem determina uma ponderação dos estimadores amostrados, sendo os pesos calculados de forma a minimizar a variância do erro de predição, levando em consideração a configuração espacial da amostra (Braga, 1990) e, teoricamente, tem sido considerado o melhor método de interpolação, porque está baseada na metodologia de melhor estimador linear não tendencioso, ou seja, uma combinação linear definida por uma média móvel que leva em conta a estrutura de variabilidade encontrada para aquela variável (medida), expressa pelo

semivariograma (ou, equivalentemente, função de autocorrelação) e pela localização dos valores conhecidos (Lamparelli et al., 2001). Pontos próximos da posição a ser interpolada levam maiores pesos que os mais distantes. A caracterização da variabilidade espacial é essencial para um entendimento melhor das inter-relações entre propriedades do solo e fatores ambientais e surge como alternativa, conferindo maior precisão às metodologias propostas pela estatística clássica (Guimarães, 2000).

Assim, a geoestatística serve como uma ferramenta que auxilia uma maximização das informações, influenciando na redução dos efeitos da variabilidade do solo sobre a produção (Trangmar et al., 1985), na eficiência do manejo e desenvolvimento das culturas (Mulla et al., 1990) e também na estratégia de amostragem e planejamento agrícola (Bhatti et al. 1991).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização da área experimental

A área de estudo localiza-se na Bacia Hidrográfica do Itapemirim, sub bacia do Córrego Horizonte, na área da Escola Agrotécnica Federal de Alegre, situada no distrito de Rive, Município de Alegre, a sudoeste do estado do Espírito Santo e pertence a uma interface entre os ambientes “Cachoeiro” e “Celina”, segundo Lani (1987) numa altitude média de 120 m em relação ao nível do mar.

As coordenadas geográficas da área, considerando os quatro pontos extremos das duas malhas amostrais, são para mata: 20° 46' 2,8”S e 41° 27' 39,2”W; 20° 46' 1,15” e 41° 27' 40,6”; e pastagem: 20° 45' 59,6”S e 41° 27' 30,0” W; 20° 45' 57,3” e 41° 27' e 35,8”. O clima predominante na região é quente e úmido no verão com inverno seco. A parte mais elevada do município apresenta clima tropical úmido com inverno seco, com maior ocorrência de precipitação pluviométrica entre os meses de outubro e abril (IBGE, 1995). A área está localizada dentro do Bioma Mata Atlântica e sua vegetação natural se constituía de floresta estacional semidecidual, com influência direta da Serra do Caparaó.

O terreno escolhido situa-se na face sudeste de uma encosta, conforme Figura 3. Nesta área foi escolhido o terço médio da rampa, formando basicamente um compartimento homogêneo na área de pastagem com pedoforma convexa e na área de mata passando para levemente côncava na parte inferior esquerda, conforme representação gráfica na Figura 4. O relevo é predominantemente acidentado, com declividade média entre 30 a 45 graus.

A área experimental apresenta duas coberturas vegetais, sendo uma delas a pastagem de brachiária (*Brachiaria Decumbens*) com aproximadamente seis anos, em substituição à pastagem nativa de pernambuco (*Paspalum maritimum*), após aração com arado de aiveca de tração animal em nível e correção do solo com calcário dolomítico somente na época de plantio. O sistema de pastejo é extensivo, com média anual de 1,0 UA/ha, sendo uma maior concentração observada nos períodos de chuva, podendo chegar a 3,0 UA/ha, e uma menor concentração (ou retirada dos animais da área) nos períodos mais secos. A segunda cobertura vegetal compreende vegetação secundária em regeneração natural, há aproximadamente, 30 anos e os principais representantes do extrato arbóreo são: o angico canjiquinha (*Peltopodium dubium*), o ipê-felpudo (*Zeyhera tuberculosa*), o jacaré (*Piptadenia communis*), o cinco-folhas (*Sparattosperma vernicosum*); no extrato arbustivo o arranha-gato (*Acacia spp.*); e nas áreas mais abertas, a incidência de capim colômbio (*Panicum maximum Jacq.*)³.



Figura 3 - Área experimental na Escola Agrotécnica Federal de Alegre/ES sob pastagem (à direita) e vegetação nativa em recomposição natural (à esquerda)

3 <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res94/res0194.html>

O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, com textura argilosa, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). A densidade de partícula (D_p) do solo estudado, determinada pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997), foi de $2,65 \text{ kg dm}^{-3}$, valor médio referente às duas áreas estudadas. Reichardt (1985) afirma que a densidade de partículas é pouco influenciada pelo manejo do solo e sua distribuição é simétrica para uma mesma classe de solo (Libardi et al., 1996).

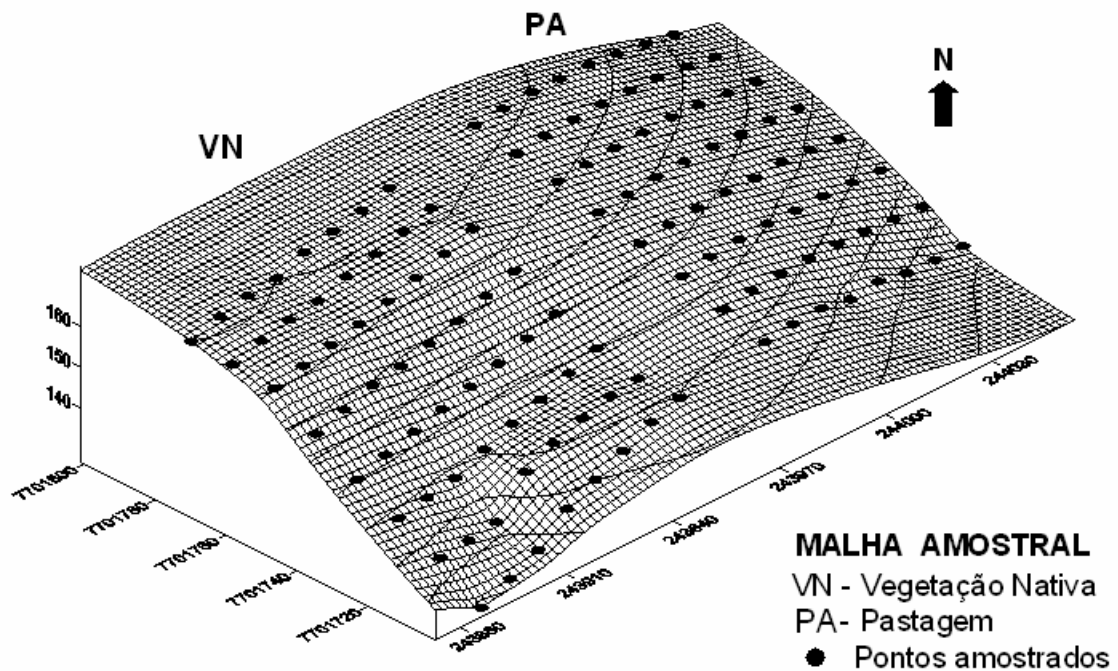


Figura 4- Representação topográfica da área experimental com os pontos amostrados na pastagem (PA) e vegetação nativa (VN)

3.2. Plano amostral

O experimento foi conduzido em duas áreas próximas, divididas em malhas regulares de 8×8 (64 pontos) e espaçados de 10 m, sendo uma malha para cada tipo de cobertura vegetal (Figura 5).

Para o processo de marcação dos pontos amostrados foram utilizados equipamentos de topografia (Estação Total). Foram obtidas informações complementares de identificação dos pontos extremos por meio de aparelho de GPs (Sistema de posicionamento global).

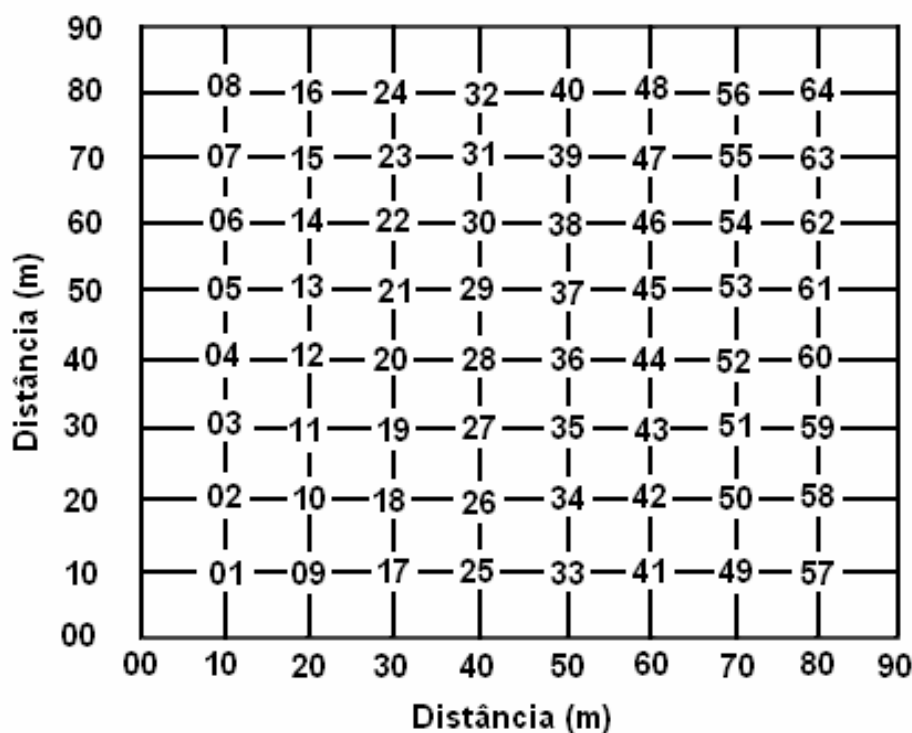


Figura 5- Esquema da malha amostral utilizada para as áreas sob pastagem e vegetação nativa

Os dados foram levantados em campo, tanto na área de pastagem como na de vegetação nativa, no período de novembro de 2004 a janeiro de 2005, na estação chuvosa da região, cuja média de precipitação foi de 204,3 mm, segundo dados levantados pela estação agro-climatológica do CCA-UFES para o município de Alegre - ES.

3.3. Amostragem e determinações experimentais

3.3.1. Densidade do solo

Para avaliação da densidade do solo (D_s), foram utilizadas amostras indeformadas retiradas em anel de aço de bordas cortantes (EMBRAPA, 1997), introduzido no solo com auxílio do amostrador tipo Uhland até o preenchimento total do anel, à profundidade desejada (0-20 cm). O excesso de solo foi removido e após revestiram-se a parte superior e inferior do anel que continham a amostra de solo com gaze, prendendo-a com um elástico. As amostras processadas foram levadas para o laboratório, secas em estufas na temperatura de 105° C, por um período de

aproximadamente 24 horas. Após esse período, determinou-se a D_s (kg dm^{-3}), através da equação 05:

$$D_s = \frac{M_s}{V_t} \quad \text{Eq. 05}$$

em que:

M_s = massa da amostra de solo seca a 105°C (kg); e

V_t = volume do anel (dm^3).

3.3.2. Densidade de partículas

A avaliação da densidade de partículas (D_p) é necessária para o cálculo da porosidade total (P_t), sendo obtida pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997). Para isso, pesaram-se 20 g de terra fina seca em estufa (TFSE) transferindo-se a mostra para um balão volumétrico de 50 mL, aferido. Adicionou-se 25 mL de álcool etílico ao balão com TFSE. Agitou-se o balão por 1 (um) minuto para facilitar a penetração do álcool nos capilares do solo. O balão foi deixado em repouso por 15 minutos, sendo completado com álcool etílico. Em seguida procedeu-se a leitura do nível de álcool na bureta (L). O volume de TFSE contido no balão volumétrico foi determinado pela expressão: $V_s = 50 - L$. A densidade de partículas (D_p), em kg dm^{-3} , foi calculada usando a equação 06.

$$D_p = \frac{M_s}{V_s} \quad \text{Eq. 06}$$

em que:

M_s = massa da TFSE (kg); e

V_s = volume de sólidos (dm^3).

No presente estudo, foi encontrado um valor médio para as duas áreas em estudo de $2,65 \text{ kg dm}^{-3}$ para a profundidade avaliada.

3.3.3. Volume total de poros

O volume total de poros (VTP) foi obtido indiretamente através da relação existente entre a D_s e a densidade de partículas (D_p) de acordo com EMBRAPA (1997), obtida pela equação 07.

$$VTP = 100. \frac{(D_p - D_s)}{D_p} \quad \text{Eq. 07}$$

em que:

VTP = porosidade total (%);

D_s = densidade do solo (kg dm^{-3}); e

D_p = densidade de partículas (kg dm^{-3}).

3.3.4. Microporosidade

Para estudo da microporosidade do solo (MiP), considerou-se como microporosidade o teor volumétrico de água retida no solo após a aplicação de uma tensão de 0,006 MPa. Foram utilizadas amostras indeformadas, retiradas, conforme descrição para densidade do solo. No laboratório, essas amostras após saturadas com água durante aproximadamente 12 horas foram colocadas em placas de cerâmica de 0,1 MPa (previamente saturadas), e submetidas à sucção de 0,006 MPa, no aparelho extrator de Richards, determinando-se a MiP, através da equação 08.

$$MiP = 100. \frac{(a - b)}{c} \quad \text{Eq. 08}$$

em que:

MiP = microporosidade do solo (%);

a = massa da amostra de solo submetida a uma pressão de 0,006 MPa (kg);

b = massa da amostra de solo seca a 105°C (kg); e

c = volume do cilindro (dm^3).

3.3.5. Macroporosidade

O cálculo da macroporosidade do solo (MaP), permite avaliar o volume do solo ocupado por poros com diâmetro maior que 0,05 mm, dado pela diferença entre

o volume total de poros e o volume de microporos (EMBRAPA, 1997), obtidos através da equação 09.

$$\text{MaP} = \text{VTP} - \text{MiP} \quad \text{Eq. 09}$$

em que:

MaP = macroporosidade do solo (%);

VTP = volume total de poros (%);

MiP = microporosidade do solo (%).

3.3.6. Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração (RP), em MPa, foi obtida na profundidade de 0 a 0,20 m, com a utilização de penetrômetro de impacto (Stolf, 1991), através da seguinte equação 09.

$$\text{RP (MPa)} = (5,40 + 65,258 \cdot N) \cdot 0,098 \quad \text{Eq. 10}$$

em que:

N = número de impactos; e

0,098 = fator de conversão da unidade em kgf cm^{-2} para MPa.

3.3.7. Umidade do solo

A umidade do solo (U) foi determinada no momento da amostragem da RP, utilizando-se o método termogravimétrico, em estufa a $105 \pm 110^\circ \text{C}$, conforme EMBRAPA (1997).

3.3.8. Textura ou Granulometria

A textura ou a granulometria das amostras foi determinada conforme EMBRAPA (1997). As amostras foram coletadas em campo com o auxílio de um trado tipo holandês, acondicionadas em sacos plásticos e secas ao ar por um período mínimo de quarenta e oito horas. Após este período, foram destorroadas e

passadas pela peneira com malha de 2 mm obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Determinaram-se os teores, em g kg^{-1} , de areia grossa (AG), areia fina (AF), silte (Sil) e argila total (Arg), em cada amostra de solo. Para a realização da análise granulométrica, utilizou-se a agitação mecânica rápida (12.000 rpm) e como agente dispersante químico o NaOH a 1 mol L^{-1} . As frações de areia grossa e areia fina foram separadas, via peneiramento, utilizando, respectivamente, peneiras de malha 0,210 e 0,05 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. Para obtenção de cada uma das frações, utilizaram-se as equações 11, 12, 13 e 14.

$$\text{Areia Grossa (g kg}^{-1}\text{)} = M_{AG} \cdot 50 \quad \text{Eq. 11}$$

em que:

M_{AG} = massa de areia grossa (g) retida na peneira de 0,210 mm

$$\text{Areia Fina (g kg}^{-1}\text{)} = M_{AF} \cdot 50 \quad \text{Eq. 12}$$

em que:

M_{AF} = massa de areia fina (g) retida na peneira de 0,053 mm

$$\text{Argila total (g kg}^{-1}\text{)} = (M_{Arg} - 0,02) \cdot 1000 \quad \text{Eq. 13}$$

em que:

M_{Arg} = massa de argila total (g); e

0,02 = massa do dispersante químico (g)

$$\text{Silte (g kg}^{-1}\text{)} = 1000 - (\text{Areia Grossa} + \text{Areia Fina} + \text{Argila total}) \quad \text{Eq. 14}$$

3.3.9. Argila dispersa em água

A argila dispersa em água (ADA) foi determinada conforme EMBRAPA (1997), a partir de TFSA, utilizando agitação mecânica rápida (12.000 rpm) e água destilada, obtendo-se, os teores de ADA, através da equação 15.

$$\text{ADA (g kg}^{-1}\text{)} = M_{ADA} \cdot 1000 \quad \text{Eq. 15}$$

em que:

M_{ADA} = massa de argila dispersa em água (g)

3.3.10. Grau de Flocculação

O grau de flocculação (GF) foi calculado pela equação 16.

$$GF(\%) = 100 \cdot \frac{(\text{Argila total} - ADA)}{\text{Argila total}} \quad \text{Eq. 16}$$

Os teores de carbono orgânico total (COT) foram determinados utilizando-se amostras de terra fina seca ao ar (TFSA), trituradas em almofariz e passadas pela peneira de 0,210 mm, por oxidação de matéria orgânica por via úmida, utilizando-se solução de $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido (Yeomans e Bremner, 1988).

As análises laboratoriais foram realizadas nos Laboratórios de Física de Solo, Fisiologia Vegetal e Recursos Hídricos do CCA-UFES

3.3.11. Carbono Orgânico Total

Foram determinados os teores de Carbono Orgânico Total (COT) de amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) trituradas em almofariz e passadas pela peneira de 0,210 mm, por oxidação de matéria orgânica por via úmida, utilizando-se solução de $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido (Yeomans e Bremner, 1988).

O procedimento metodológico consistiu na pesagem de aproximadamente 0,20 g de cada amostra e, após pesagem, as mesmas foram acondicionadas em tubos de digestão, recebendo 5,0 ml de $K_2Cr_2O_7$, 0,167 mol / L, e 7,5mL de H_2SO_4 concentrado e levadas ao bloco digestor a 170° C por 30 minutos. Após o resfriamento, o conteúdo dos tubos foi transferido para erlenmeyers de 125 mL, utilizando-se água destilada, completando o volume para aproximadamente 50 mL. Em seguida, foram adicionados 2,0 ml de H_3PO_4 concentrado, aproximadamente 0,20 g de NaF e duas a três gotas de solução indicadora de ferroin. Após este procedimento, a titulação foi feita com $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ 0,25 mol/L. Foram realizadas também provas em branco, com e sem aquecimento. O volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação (V) foi calculado pela equação 17.

$$V = (V_{bc} - V_a) \cdot \frac{(V_{bs} - V_{bc})}{V_{bs}} + (V_{bc} - V_a) \quad \text{Eq. 17}$$

em que:

V_{bc} = Volume gasto de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ na titulação do branco com aquecimento (L);

V_{bs} = Volume gasto de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ na titulação do branco sem aquecimento (L); e

V_a = Volume gasto de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ na titulação da amostra (L)

Os teores de carbono orgânico total (COT), em g/Kg, foram calculados pela equação 18.

$$\text{COT} = \frac{V.M.3}{m_{\text{solo}}} \quad \text{Eq. 18}$$

em que:

M = Concentração de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ (mol/L);

$3 = 12[(3/2)(1/6)]$, sendo 12 = massa molar do carbono (g/mol); $3/2$ = relação de três moles de CO_2 produzidos para dois moles de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ reduzidos;

$1/6$ = relação molar entre um mol de Fe^{2+} oxidado para seis moles de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ reduzidos na titulação; e

m_{solo} = massa da amostra de solo (kg).

3.4. Análise exploratória descritiva

Com os dados dos atributos físicos e Carbono Orgânico Total do solo foi realizado um resumo estatístico, com medidas de posição e dispersão, e uma análise exploratória dos dados, utilizando a parte estatística do *software* Excel for *windows* e o pacote estatístico Statistica.

Esta análise verifica a normalidade dos dados e detecta os chamados *outliers*, que nada mais são do que observações extremas que destoam do conjunto de dados, e alteram os valores de algumas medidas, como a média dos dados. Conforme menciona Hoaglin et al. (1983), é necessária uma medida de dispersão

que seja insensível a essas observações o que, contrariamente à amplitude e os valores de desvio padrão amostrais, a dispersão dos quartis fornece (Jakob, 1999). Utilizou-se o gráfico boxplot, que é composto por uma caixa dividida em quartis, sendo que, os pontos além dos limites críticos identificados são considerados anormais.

Outro método auxiliar na identificação dos *outliers* foi utilizado considerando a amplitude interquartílica dos dados, que é definida como sendo o valor do 3º quartil menos o valor do 1º quartil, e os valores que estão abaixo do 1º quartil menos 1,50 da amplitude interquartílica ou acima do 3º mais 1,50 da amplitude serão os *outliers* (Hoaglin et al., 1983).

Nos casos em que os atributos apresentaram observações com valores extremos, estas foram descartadas e, nessa situação, foram aplicados novamente os procedimentos citados sem as observações com valores extremos.

A normalidade dos dados foi verificada pelo *software* Statistica pelo método de Shapiro-Wilk, a 5% de significância. Este método tem como resultado o valor da estatística *W*, podendo variar de 0 a 1, e o valor de probabilidade (*p-value*), que descreve quão duvidosa a idéia de normalidade é, também variando de 0 a 1. Valores para *W* próximos a 1 e *p-value* altos caracterizam uma normalidade. A estatística *W* e o *p-value* desta devem ser analisados em conjunto (Jakob, 1999).

A verificação de normalidade dos dados também pode ser feita por meio dos coeficientes de assimetria, que indica o grau de desvio ou afastamento da simetria de uma distribuição, e curtose que mede o grau de achatamento de uma curva em relação à distribuição normal (Guimarães, 1993). O *software* GS⁺ (Robertson, 1998) utiliza os coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero indicando aproximação com a distribuição da normal padrão.

Como o experimento foi conduzido em malhas regulares localizadas em áreas declivosas, estudou-se a correlação dos atributos nas áreas com as cotas de cada ponto amostral.

3.5. Análise exploratória espacial

Nesta análise considerou-se a localização espacial das amostras de cada atributo. Utilizou-se, portanto, o gráfico *postplot* construído pelo programa Geocac

(Silva et al., 2003), onde cada valor foi associado a uma cor indicando a qual classe de quartil pertence. Esse gráfico constitui-se em um instrumento de verificação de tendências associadas às posições espaciais. Concentrações de cores iguais podem indicar sub-regiões e variações gradativas ao longo de alguma direção podem indicar a existência de tendências. Para atender a hipótese intrínseca não deve haver padrões neste gráfico (Libardi et al., 1996).

O comportamento de cada variável ao longo dos eixos da malha de amostragem indica o chamado efeito proporcional. Para esta verificação construíram-se gráficos de médias *versus* desvio padrões calculados em linhas e colunas, para cada variável. Este efeito está presente quando existe uma relação entre média e variância (Journel, 1988).

Nas variáveis que apresentaram o efeito proporcional, que indica uma tendência e com isto a falta de estacionaridade dos dados, utilizou-se para o refinamento o método da mediana descrito por Silva et. al. (2003), conforme a seguir: a) dispor os dados de acordo com sua posição na malha amostral; b) calcular a mediana de cada linha e coluna, e c) subtrair de cada valor amostrado o valor da mediana da linha e da coluna em que se encontra e adicionar, a cada valor amostrado, o valor da mediana de todo o conjunto de dados. Outro procedimento seguido foi o proposto por Vieira (2000), que consiste em utilizar o método da superfície parabólica de tendência de grau dois e trabalhar com os resíduos para examinar se enquadram nas hipóteses da estacionaridade ou intrínseca.

3.6. Análise geoestatística

A análise de dependência espacial é baseada na suposição de que medições separadas por distâncias pequenas são mais semelhantes umas às outras, que aquelas separadas por distâncias maiores (Landim, 1998). A geoestatística foi utilizada para verificar a existência e, neste caso, quantificar o grau de dependência espacial dos valores das variáveis estudadas, a partir do ajuste de funções teóricas aos modelos de semivariogramas (esféricos, exponencial, linear, linear com patamar e gaussiano). Com o ajuste de semivariogramas foi assumida a suposição de estacionaridade fraca, hipótese intrínseca e definidos os parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados.

A análise geoestatística foi realizada ajustando modelos teóricos aos semivariogramas experimentais utilizando o *Software GS+* (Robertson, 1998). A semivariância dos dados em função da distância de amostragem é estimada através da equação 19:

$$\gamma^*(h) = \frac{\sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2}{2N(h)} \quad \text{eq. 19}$$

em que;

$N(h)$ = é o número de pares de valores medidos; e

$Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$ = valores medidos na posição x_i e x_i+h , separados por um vetor h .

O gráfico de gama asterisco (γ^*) em função da distância (h) é denominado semivariograma. Do ajuste de um modelo matemático aos valores teóricos determina-se:

- Efeito pepita (C_0), ponto onde o semivariograma corta o eixo das ordenadas, refletindo microestruturas ou variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem, ou seja, revelando a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras.

- Patamar ($C_0 + C_1$), valor do semivariograma à medida que h aumenta até um valor máximo no qual se estabiliza, e é aproximadamente igual à variância dos dados. O termo C_1 é definido como a variância estrutural.

- Alcance (a): distância na qual o semivariograma atinge o patamar, considerando-se o limite da dependência espacial da grandeza. Pode-se dizer, também, que a partir desta distância a variável é considerada independente.

O programa *GS+* aplica a metodologia dos mínimos quadrados para os ajustes dos modelos e utiliza como critérios para a seleção do modelo o maior valor de R^2 (coeficiente de determinação) e menor SQR (soma de quadrados dos resíduos). Quanto menor o SQR, melhor será o modelo de semivariograma. Este resultado é utilizado para a seleção do modelo e, por meio de combinações dos parâmetros do modelo, minimiza-se o SQR. O autor do programa alega que a utilização desse critério na seleção do modelo é o preferido, por ser este mais sensível e mais robusto quando comparado com o coeficiente de determinação

(Guimarães, 2004). Os modelos teóricos apresentados no *software* GS+ para ajuste dos dados são: esférico, exponencial, linear, linear com patamar e gaussiano. Vieira et al (1983) apontam os principais modelos para o ajuste do semivariograma nas equações de 20 a 24:

(i) linear

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= C_0+Bh & 0 \leq h \leq a & \text{eq. 20} \\ \gamma(h) &= C_0+C_1 & h > a & \end{aligned}$$

(ii) Esférico

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= C_0+C_1[1,5(h/a)-0,5(h^3/a^3)] & 0 \leq h \leq a & \text{eq. 21} \\ \gamma(h) &= C_0+C_1 & h > a & \end{aligned}$$

(iii) Exponencial

$$\gamma(h) = C_0+C_1(1-\exp(-3h/a)) \quad 0 \leq h \leq d \quad \text{eq. 22}$$

(iv) Gaussiano

$$\gamma(h) = C_0+C_1(1-\exp(-3h^2/a^2)) \quad \text{eq. 23}$$

(v) Modelo sem patamar

$$\gamma(h) = C_0+Ah^B \quad 0 < B < 2 \quad \text{eq. 24}$$

Escolhido o modelo com melhor ajuste, foi realizada a verificação pelo método da validação cruzada. Nesta análise, cada valor original é removido do domínio espacial e, usando-se os demais, um novo valor é estimado para esse ponto. Desse modo, constrói-se um gráfico mostrando a relação entre valores reais e os valores estimados, analisando o coeficiente angular e o r^2 (Guimarães, 2000).

Em seguida, os semivariogramas foram escalonados pela variância, de acordo com Vieira et al. (1998), com isso o efeito pepita tornou-se automaticamente uma fração do patamar, facilitando as interpretações e comparações entre semivariogramas de diferentes atributos, visto que assim pode ser verificado se apresentam o mesmo padrão de variabilidade espacial, uma vez que assumem valores em uma escala padronizada. O semivariograma escalonado γ^* e pode ser estimado pela equação 25:

$$\gamma^* e = \frac{\gamma_i^*(h)}{S^2} \quad \text{eq. 25}$$

Em que, i vai de 1 até o número de variáveis medidas, e S^2 é valor da variância de cada atributo estudado.

Para análise do grau de dependência espacial das variáveis foi utilizada a relação $C_1/(C_0 + C_1)$, definida no *Software* GS+, indicando forte dependência para relação maior ou igual a 0,75, moderada dependência para relação entre 0,25 a 0,75 e baixa dependência para relação menor que 0,25.

Conhecendo-se o semivariograma da variável, e havendo dependência espacial entre as amostras, interpolou-se pelo *Software* GS+, por combinação linear dos valores medidos, valores na posição 2 x 2 metros no campo de estudo pelo método da krigagem ordinária. Neste método, pontos próximos da posição a ser interpolada levam maiores pesos que os mais distantes. Esse estimador nada mais é que uma média móvel ponderada (Vieira, 2000).

A estimativa por krigagem ordinária segue a equação 26.

$$Z^*(x) = \sum \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad \text{eq. 26}$$

Em que, λ_i são pesos de cada valor medido; Z é o valor medido; e Z^* é o valor estimado através do método de krigagem.

Os pesos λ , que são obtidos pelo método de multiplicadores de Lagrange, associados à equação de estimação e à exigência de que a esperança dos erros seja igual a zero e a variância de estimação seja mínima, faz com que a variância de krigagem seja a menor variância entre todos os processos de interpolação (Guimarães, 2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise estatística e geoestatística dos atributos físicos levantados na área de pastagem e vegetação nativa, sem os *outliers*, estão apresentados na Tabela 1.

4.1. Análise exploratória descritiva

Analisando a Tabela 1, verifica-se que dos quatorze atributos estudados na área de pastagem, oito apresentaram distribuição de frequência com assimetria negativa (MiP, Ds, RP, Arg, AF, U, GF e ADA). Na área de vegetação nativa (Tabela 1), seis atributos apresentaram o mesmo comportamento (MiP, Ds, Sil, U, GF e COT). Uma distribuição de frequência é dita simétrica quando as medidas de posição central (média, moda e mediana) são coincidentes.

Nesses casos, conclui-se que a mediana é maior que a média, mostrando uma tendência para concentração de valores maiores que a média. Esta tendência apresentou-se mais evidente para os atributos RP e GF na área sob pastagem e para a MiP e GF no solo sob vegetação nativa. Os demais atributos apresentaram valores da média e da mediana bem próximos.

Tanto na área de pastagem quanto na de vegetação nativa, a maioria dos atributos apresentou distribuição de frequência planicúrtica, ou seja, com curtose menor que zero (Tabela 1), mostrando uma tendência desses atributos apresentarem variabilidade em torno dos valores centrais. É importante ressaltar que

o software GS + (Robertson, 1998), utilizado para análise descritiva, adota como padrão o valor zero para distribuição mesocúrtica.

Tabela 1 - Dados da análise descritiva dos atributos do solo sob pastagem e vegetação nativa

Atributos	Unid.	-			Valores		Coeficientes		Normalidade		
		X	Md.	S	Min.	Max	Var	Curt.	Assim	W	P.val.
Área sob pastagem											
VTP	(%)	40,82	40,88	2,54	34,29	46,59	6,22	-0,01	0,09	0,99	0,66
MiP	(%)	33,25	33,77	1,84	29,07	37,86	5,55	-0,30	-0,18	0,98	0,26
MaP	(%)	7,27	7,52	1,82	3,34	11,43	28,49	-0,43	0,04	0,99	0,71
Ds	(kg.dm ⁻³)	1,56	1,56	0,07	1,41	1,73	4,30	-0,04	-0,09	0,99	0,66
RP	(MPa)	5,95	5,76	0,86	3,80	7,39	14,4	-0,45	-0,22	0,96	0,04*
Arg	(g.Kg ⁻¹)	421,13	422,60	54,73	290,20	541,90	13,00	-0,18	-0,16	0,99	0,90
AF	(g.Kg ⁻¹)	98,88	98,57	10,56	75,63	122,59	10,68	-0,74	-0,004	0,98	0,55
AG	(g.Kg ⁻¹)	254,18	252,92	51,87	156,81	374,11	20,4	-0,51	0,21	0,98	0,45
AT	(g.Kg ⁻¹)	357,91	351,68	60,49	243,62	516,52	16,90	-0,25	0,34	0,98	0,49
Sil	(g.Kg ⁻¹)	220,96	218,57	46,29	141,19	329,18	21,00	-0,85	0,23	0,97	0,12
U	(%)	17,72	17,85	1,24	14,42	20,58	7,0	0,02	-0,06	0,99	0,84
GF	(%)	46,31	45,77	5,48	31,57	57,34	11,94	0,23	-0,39	0,97	0,19
ADA	(g.Kg ⁻¹)	222,86	225,00	28,36	162,10	298,10	12,73	-0,18	-0,02	0,99	0,90
COT	(g.Kg ⁻¹)	15,04	14,40	2,51	10,74	20,52	17,32	-0,75	0,44	0,95	0,01*
Área sob vegetação nativa											
VTP	(%)	46,44	46,18	2,67	40,99	53,97	5,74	0,15	0,43	0,98	0,53
MiP	(%)	33,18	33,56	1,94	27,02	37,39	5,85	0,86	-0,87	0,95	0,013*
MaP	(%)	13,17	12,95	2,93	7,19	20,79	19,97	0,02	0,37	0,98	0,60
Ds	(kg.dm ⁻³)	1,43	1,43	0,06	1,29	1,57	4,52	-0,34	-0,16	0,99	0,80
RP	(MPa)	4,03	4,13	0,83	2,17	6,09	22,32	-0,06	0,37	0,97	0,15
Arg	(g.Kg ⁻¹)	448,55	447,80	55,70	309,30	573,80	12,42	-0,04	0,01	0,98	0,50
AF	(g.Kg ⁻¹)	102,32	102,25	9,43	86,17	127,19	13,88	-0,20	0,44	0,99	0,82
AG	(g.Kg ⁻¹)	222,04	219,65	30,83	157,94	294,54	12,43	-0,28	0,14	0,98	0,26
AT	(g.Kg ⁻¹)	322,15	317,04	36,07	256,97	410,19	11,20	-0,34	0,42	0,98	0,32
Sil	(g.Kg ⁻¹)	225,79	232,41	42,83	136,61	294,42	19,00	-0,78	-0,36	0,96	0,06
U	(%)	18,32	18,43	1,38	14,73	22,24	7,53	0,62	-0,23	0,98	0,42
GF	(%)	55,02	56,35	9,38	31,26	68,69	17,06	-0,34	-0,71	0,94	0,002*
ADA	(g.Kg ⁻¹)	193,96	192,10	33,40	134,60	266,30	17,22	-0,46	0,31	0,97	0,18
COT	(g.Kg ⁻¹)	17,05	17,63	2,44	11,01	21,02	15,94	-0,58	-0,39	0,97	0,11

(*) Distribuição não normal ; *p.val* – *p. Value*; VTP – volume total de poros; MiP – microporosidade; MaP – macroporosidade; Ds – densidade do solo; RP – Resistência à penetração na camada 0 a 0,20 m; Arg – fração argila; Sil – fração silte; AF – fração areia fina; AG – fração areia grossa, AT – fração areia total; U – Umidade do solo; GF – grau de floclulação; ADA – argila dispersa em água; COT- carbono orgânico total; \bar{X} - média; Md – mediana; Min. – valor mínimo; Max. – valor máximo; S - desvio padrão; Coeficientes: Var - variação (CV); Curt. - curtose; Assim - assimetria

A Ds foi o atributo que apresentou o menor coeficiente de variação (CV) nas duas áreas, com valor mínimo de 4,30% e a MaP foi a que apresentou maior valor (28,49%), ambos na área de pastagem. Adotando o critério de classificação para o coeficiente de variação proposto por Warrick & Nielsen (1980) para medida de dispersão, seus valores se revelaram: baixos ($CV < 12\%$) para 39,3% dos atributos; médios ($12 < CV < 24\%$) para 57,3% dos atributos; e altos ($CV > 24\%$) para 3,6% dos atributos. Isto mostra que, em geral, a dispersão de valores em torno da média ficou distribuída entre 12% a 24%.

O CV dos atributos VTP, MiP e Ds estão na mesma faixa de valores encontrados por Souza et al. (2004) para estes atributos em solo cultivado com cana-de-açúcar e Azevedo (2004) em estudo com áreas de pastagem e mata. Para os atributos Arg, Sil, AF e AT, os valores de CV estão em conformidade com os resultados obtidos por Guimarães (2000), na mesma profundidade em solo de cerrado.

Argila e areia dos latossolos são atributos mais estáveis e tendem a modificar-se pouco ao longo do tempo por ação do intemperismo e, geralmente, apresentam baixos valores de CV. No presente estudo em Argissolo, no entanto, o atributo areia tendeu a apresentar valores de CV de médios a altos, indicando uma possível influência do relevo através de processos erosivos (tanto de exportação quanto deposição), associados ao fluxo de água, conforme observado em estudos de Pocay (2000), Souza et al. (2001) e Souza et al. (2004).

O teste Shapiro-Wilks (W) utilizado para testar a normalidade dos dados, desconsiderando os *outliers*, apresentou uma estatística W para RP e COT de 0,96 e 0,95, respectivamente, no solo sob pastagem e 0,95 e 0,94 para MiP e GF, respectivamente, no solo sob vegetação nativa. Porém, os seus *p-value* foram próximos de zero (0), indicando maior evidência de que existem diferenças. Nesses casos, rejeita-se a hipótese de nulidade com maior certeza, indicando assim, que não há distribuição normal padrão.

Todas as variáveis relacionadas à granulometria (argila, silte e areias) apresentaram distribuição normal (Tabela 1), embora a não normalidade seja comum quando se trata de dados obtidos na natureza (Warrick & Nielsen, 1980 e Webster, 1985).

Uma vez comprovado que existem atributos sem distribuição normal dos dados é clara a importância da geoestatística no complemento da estatística

convencional, conforme descreve Jakob (1999), para interpretar com mais clareza e certeza os atributos estudados nas duas condições de uso do solo.

Nesta pesquisa os valores médios encontrados no solo sob pastagem para os atributos VTP, MiP e Ds foram respectivamente, de 40,82%, 33,25% e 1,56 kg dm⁻³. Valores médios de VTP na ordem de 38%, MiP de 25% e Ds de 1,54 kg dm⁻³ foram detectados por Souza & Alves (2003) em pastagem em solo de cerrado na profundidade de 0 a 0,20 m no Estado do Mato Grosso do Sul. Essas diferenças podem ocorrer devido a alguns fatores na formação do solo e manejo intenso adotado em área plana com presença de animais mais pesados e em maior número. Deve-se observar que o número de animais em áreas de pastagem tende a aumentar nas estações chuvosas em razão da maior disponibilidade de forragem, provocando nos atributos do solo efeito pelo pisoteio devido a uma umidade inadequada, conforme comenta Azevedo (2004). Apesar da umidade do solo de 17,72% e 18,32% observada na pastagem e vegetação nativa, respectivamente, cabe ressaltar que este trabalho foi conduzido na estação chuvosa no município de Alegre-ES, quando normalmente são observados maiores valores de umidade no solo.

A umidade, associada à textura, é o fator que determina a magnitude de deformação que pode ocorrer no solo no momento da aplicação da pressão, pois atua como lubrificante entre as partículas, permitindo o deslocamento das mesmas, o qual é favorecido à medida que a umidade aumenta (Larson & Gupta, 1980; Lerink, 1990; Smith et al., 1997; Silva et al., 2000). Os processos de expansão e contração de todo material mais rico em argila (como o Argissolo estudado), quando exposto a ciclos de umedecimento e secagem, acarretam o adensamento ou encrostamento das partículas (Campos et al., 2003), fato este, agravado pelo teor elevado de argila dispersa em água (ADA) apresentada pelo solo, próximo dos valores de 222,86 g kg⁻¹ e 193,96 g kg⁻¹ determinados na área sob pastagem e vegetação nativa, respectivamente.

O valor médio da densidade do solo (Ds) determinado na área sob vegetação nativa foi de 1,43 kg.dm⁻³ na profundidade de 0 a 0,20 m do solo, próximo do valor encontrado por Magalhães (2001) de 1,46 kg dm⁻³ e bem acima dos 1,10 kg dm⁻³ e 1,20 kg m⁻³ determinados por Sá et al. (2003) e Azevedo (2004), respectivamente, na mesma profundidade estudada. O valor elevado de Ds encontrado pode estar relacionado ao reduzido tempo de repouso da área para

regeneração, lembrando que anteriormente a mesma também foi utilizada como pastagem.

Souza (2004) observou que pastagens com super pastejo apresentam maior valor de densidade do solo quando comparadas a outros sistemas. Isso ocorre, segundo Peterson (1970), devido ao pisoteio de animais (bovinos) que apresentam peso corpóreo muito grande e a área da pata pequena, que, ao caminharem pelos pastos, imprimem sobre o solo elevadas pressões, compactando-o até 10 a 15 cm de profundidade. Magalhães (2001) afirma que a tendência no aumento da densidade do solo pode ser creditada ao tempo de pastejo e à degradação da própria pastagem. Segundo Sarvasi (1994), a redução de matéria orgânica do solo também pode contribuir para esse comportamento oriundo de vários fatores, dentre eles, o manejo intensivo.

De acordo com Archer & Smith (1972), o limite máximo tolerado da Ds para solo argiloso é de $1,20 \text{ kg dm}^{-3}$, sendo que solos com Ds acima de $1,30 \text{ kg dm}^{-3}$ apresentam sérias desvantagens quanto à permeabilidade e aeração. Spera (1995) e Alvarenga (1996) encontraram valores de densidade inferiores em solos sob vegetação nativa quando comparados a outros tipos de cobertura. Bertoni (1966) e Jorge (1985), obtendo resultados semelhantes, atribuíram maiores valores para densidade aos fatores pedogenéticos e/ou compactação oriunda do manejo, como no caso do excessivo pisoteio do gado bovino.

Analisando os valores da MaP (7,27%) e da RP no solo da área sob pastagem (5,95 MPa), verifica-se, conforme Tormena (2002) e Azevedo (2004), a presença de compactação na profundidade estudada. Segundo Alvarenga et al. (1996) e Tormena (2002), um valor de macroporosidade menor que 10% imprime uma inadequada difusão de oxigênio para atender as necessidades do sistema radicular e às atividades dos microorganismos no solo. Entretanto, o solo sob mata a MaP (13,17%) apresentou valor superior em relação à área de pastagem. Apesar dos valores de MaP encontrarem-se acima do recomendado, os elevados valores de RP (4,03 MPa) e Ds ($1,43 \text{ kg.dm}^{-3}$), obtidos na camada de 0 a 0,20 m do solo sob vegetação nativa estabelecem uma situação preocupante em relação ao desenvolvimento de plantas. Imhoff et al. (2001) propõem o limite aceitável para o atributo RP em torno de 2 e 3 MPa.

O solo em estudo apresentou um valor médio de $15,04 \text{ g kg}^{-1}$ de COT para área de pastagem e $17,05 \text{ g kg}^{-1}$ para área sob vegetação nativa, valores estes

considerados médios segundo CFSEMG (1999). Mesmo considerando-se o carbono orgânico como um importante agente cimentante (Campos et al, 1995), em solos tropicais a estrutura e a agregação não podem ser atribuídas somente à matéria orgânica. Pelo contrário, devem-se essencialmente à flocculação e à cimentação pelos óxidos hidratados de ferro e alumínio (Harris et al., 1965). No presente estudo encontrou-se valores de grau de flocculação de 46,31% na pastagem e 55,02% na área de vegetação nativa. Leite & Medina (1984), em solos sob floresta, observaram valor médio de 59,60%. Albuquerque et al. (2005) associa valores referentes ao grau de flocculação nas camadas superiores do solo à ação conjunta da matéria orgânica, atividade microbiana, sistema radicular e concentração de cátions trocáveis, bem como pela ação dos ciclos de umedecimento e secagem.

Campos et al. (1995), avaliando variações em atributos de solos sob diversos tipos de manejo, identificaram que o aumento da Ds acompanhou a diminuição do teor de matéria orgânica, com correlação significativa.

Com a finalidade de se compararem as médias dos valores dos atributos do solo sob vegetação nativa com os do solo sob pastagem, realizou-se o teste t-Student, conforme descrito por Azevedo (2004), cujos resultados encontram-se na Tabela 2. Ressalta-se que para este teste existe a pressuposição de distribuição normal das variáveis, porém, nenhum erro grave estaria sendo introduzido pela não-normalidade dos dados.

Tabela 2 – Teste t – Student para os valores dos atributos do solo sob pastagem e vegetação nativa

Atributos	Média*	
	Pastagem	Veg. Nativa
VTP (%)	40,82 a	46,44 b
MiP (%)	33,25 a	33,18 a
MaP (%)	7,27 a	13,17 b
Ds (kg.dm ⁻³)	1,56 a	1,43 b
RP (MPa)	5,95 a	4,03 b
Arg (g.kg ⁻¹)	421,13 a	448,55 b
AF (g.kg ⁻¹)	98,88 a	102,32 a
AG (g.kg ⁻¹)	254,18 a	222,04 b
AT (g.kg ⁻¹)	357,91 a	322,15 b
Sil (g.kg ⁻¹)	220,96 a	225,79 b
U (%)	17,72 a	18,32 b
GF (%)	46,31 a	55,02 b
ADA (g.kg ⁻¹)	222,86 a	193,96 b
COT (g.kg ⁻¹)	15,04 a	17,05 b

(*) Médias seguidas da mesma letra na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade

Pela Tabela 2, verifica-se que, à exceção dos atributos MiP e AF, houve diferença significativa para os atributos estudados. Os resultados de MiP confirmam as constatações de Silva & Kay (1997), indicando que este atributo é pouco influenciado pelo aumento na densidade do solo, porém não está em conformidade com o encontrado por Azevedo (2004) em estudo similar.

O solo sob mata apresentou maior volume total de poros (46,44%) em relação ao solo sob pastagem (40,82%), tendência acompanhada também para macroporosidade, cujos valores foram superiores na área sob vegetação nativa (13,17%) em relação à área sob pastagem (7,27%). Estes valores confirmam os resultados obtidos por Silva & Ribeiro (1992) ao comparar solo sob mata nativa em relação a solo sob cultivo de cana-de-açúcar. Albuquerque et al. (2001) verificaram maior valor para volume total de poros em solo sob floresta subtropical, em comparação a diversos tratamentos sob ação antrópica. Segundo Raij (1987) e Primavesi (1990), as condições de menor macroporosidade podem ocasionar drásticas alterações nos processos dinâmicos e biológicos do solo.

Spera (1995) encontrou maiores valores médios de Ds sob campo do que sob mata. Sa et al. (2003) verificaram menores valores de Ds em solos sob floresta secundária ($1,46 \text{ kg dm}^{-3}$) em relação à pastagem ($1,55 \text{ kg dm}^{-3}$). Centurion et al. (2001) e Souza & Alves (2003) observaram maiores valores de Ds em áreas de pastagem quando comparadas a outros tipos de manejo, associando os resultados obtidos, dentre outros fatores, ao pisoteio animal nestas áreas. Outros autores como Silva & Ribeiro (1992); Sanches et al. (1999); Islam & Weil (2000) e Araújo et al. (2004) obtiveram resultados semelhantes.

Embora o valor limite de Ds, ou seja, aquele acima do qual não há crescimento e aprofundamento das raízes, depende do tipo de solo (Veihmeyer & Hendrickson, 1948) e também do tipo de raiz em questão (Alvarenga, 1996). Assume-se que os valores encontrados para as duas áreas estão acima daquele comumente aceito como limitante para solos argilosos, segundo Archer & Smith (1972), de $1,30 \text{ kg dm}^{-3}$. O elevado valor encontrado para a área com vegetação nativa deve-se, provavelmente, ao estágio de regeneração da mesma, ainda incipiente, aliado ao teor médio de COT nesta área.

Os valores de resistência do solo à penetração (RP) foram elevados para as duas coberturas vegetais (Tabelas 1). A RP é uma forma indireta para identificar a compactação do solo e é grandemente influenciada pelo teor de água do solo no

momento da determinação. Como se pode observar na Tabela 2, os maiores valores de RP observados no solo da área sob pastagem foram acompanhados de elevados valores de Ds e menores teores de água do solo, conforme também relatado por Busscher et al. (1997); Klein et al. (1998); Tormena (1998) e Torres & Saraiva, (1999).

Em estudos comparativos entre mata nativa, cultivo convencional, plantio direto, cultivo convencional com subsolagem e pastagem nativa e seus efeitos sobre atributos físicos dos solos, Anjos et al. (1994) também verificaram aumento da densidade do solo submetido aos diferentes manejos em relação à mata nativa.

O solo da área sob vegetação nativa apresentou, em média, valores significativamente superiores das frações mais finas (argila, silte e areia fina) em relação à área sob pastagem (Tabela 2). Já em relação à areia grossa, a situação se inverte, sendo maiores os teores apresentados pelo solo da área sob pastagem em relação à área sob vegetação nativa. Semelhantemente, o atributo areia total, obtido pela soma das frações areia grossa e areia fina, apresentou maiores valores no solo sob pastagem em relação ao solo sob vegetação nativa. Esses resultados estão de acordo com os apresentados por Spera (1995), em que solos em condições de mata apresentaram maiores percentagens de frações mais finas, como areia fina e argila, em relação aos solos sob campo (pastagem), os quais, além de apresentarem maiores teores de frações grosseiras (maiores que 2,00 mm) e maior teor de areia total, apresentaram também maior densidade do solo e, conseqüentemente, menor teor de água disponível e menor capacidade de armazenamento.

O grau de flocculação da argila apresenta-se maior no solo de vegetação nativa (55,02%) em relação ao de pastagem (46,31%) provavelmente, devido à maior presença de matéria orgânica e à menor exposição do solo (Levy et al., 1993), uma vez que o uso do solo sob pastagem o expõe mais intensamente através do pisoteio. Neste caso, caracteriza-se uma elevada mobilização das partículas do mesmo.

O solo sob vegetação nativa apresentou teores de COT (Tabela 2) significativamente superiores em relação ao solo sob pastagem. Estes teores, apesar de serem considerados médios em ambas as coberturas vegetais (CFSEMG, 1999), indicam que a vegetação nativa já está promovendo modificações no solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza et al. (2004) e Albuquerque (2005), os quais atribuíram os maiores teores de carbono orgânico em áreas de

floresta, provavelmente, ao maior aporte de resíduos orgânicos. Segundo Leite (1996); Carvalho et al. (1999) e Longo (1999), tal fato é associado também ao não-revolvimento do solo, e à reduzida erosão hídrica nestes ambientes. Sanchez (1981) cita também a importância da natureza superficial das raízes da maioria dos vegetais como diferencial entre solos sob floresta e outros tipos de cobertura. Centurion et al. (2001) também observaram decréscimo dos teores de matéria orgânica nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, ao compararem a mata e os diferentes sistemas de exploração, afirmando que isso ocorre porque, em sistemas sob cultivo, o revolvimento dos solos aumenta a aeração, favorecendo a mineralização da matéria orgânica.

Existe uma relação entre os teores de COT e os valores de ADA e GF nas duas áreas. Assim, os maiores teores de COT na área sob vegetação nativa foram acompanhados de valores menores de ADA e superiores de GF em relação ao solo sob pastagem, indicando ainda que no solo sob vegetação nativa há maior agregação e que a matéria orgânica apresenta maior grau de humificação. Os resultados obtidos confirmam estudos realizados por Prado & Centurion (2001); Carvalho Junior et al. (1998); Prado & Natale (2003), demonstrando a interferência dos valores de COT sobre os atributos ADA e GF, embora tanto a dispersão quanto a floculação de argila possam sofrer interferência de outros fatores como a maior ou menor atividade bacteriana, decorrente dos níveis acidez do solo (De Boer & Kowalchuk, 2001) e das alterações na qualidade da matéria orgânica (Hu et al., 1997).

4.2. Correlação dos atributos do solo com as cotas dos pontos amostrais

Na área de pastagem, os dados demonstram correlações significativas positivas entre as cotas topográficas dos pontos amostrados e os atributos VTP, MiP, Sil, U, COT e negativa com a RP e AT. Na área de vegetação nativa, as correlações positivas foram com VTP, MiP, Arg, U, GF, COT e negativa com Ds, RP, AF, AG, AT e ADA. A correlação negativa da AT com as cotas foi maior na área de pastagem que na de vegetação nativa, mostrando uma faixa de deposição na parte baixa. O mesmo comportamento foi detectado em áreas de diferentes topografias por Torrado (1989) e em povoamento de eucalipto por Ortiz (2003). Os autores

afirmam que, isso se deve ao processo erosivo em decorrência do escoamento superficial, que favorece o transporte e acumulação relativa das partículas maiores e mais pesadas nas cotas inferiores do terreno durante o período chuvoso.

Os dados referentes à correlação entre os atributos e as cotas dos pontos amostrais estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Correlação dos atributos do solo sob pastagem e vegetação nativa com as cotas dos pontos amostrais

Atributos	Correlação	
	Cota Pastagem	Cota Veg. Nativa
VTP (%)	0,67*	0,42*
MiP (%)	0,66*	0,43*
MaP (%)	-0,07	0,07
Ds (kg.dm ⁻³)	-0,07	-0,42*
RP (MPa)	-0,67*	-0,37*
Arg (g.kg ⁻¹)	-0,13	0,37*
AF (g.kg ⁻¹)	0,01	-0,40*
AG (g.kg ⁻¹)	-0,12	-0,40*
AT (g.kg ⁻¹)	-0,58*	-0,45*
Sil (g.kg ⁻¹)	0,65*	-0,06
U (%)	0,50*	0,34*
COT (g.kg ⁻¹)	0,36*	0,44*
GF (%)	-0,21	0,61*
ADA (g.kg ⁻¹)	0,19	-0,45*

(*) Correlação Significativa ($p < 0,05$) pelo teste t

Os resultados demonstram uma importante contribuição da declividade do terreno com a distribuição espacial da maioria dos atributos pesquisados. Embora alguns pesquisadores admitam pouca alteração da textura do solo em função do manejo (Fernandes et al., 1983), os dados analisados demonstraram diferenciação no comportamento textural em função da declividade.

4.3. Análise exploratória espacial

A análise descritiva espacial dos atributos pelos gráficos *postplot* (Silva et al., 2003) nos dá uma idéia inicial sobre a continuidade do fenômeno na área e a localização dos *outliers*. Estes gráficos levam em consideração a posição das amostras na região de estudo na intenção de indicar seu comportamento.

Na análise dos *outliers* (pontos que compõem o conjunto de dados que estão muito afastados dos demais), os mesmos foram encontrados e identificados no “grid”

nas respectivas posições. As posições x e y desses pontos, retirados no “grid”, podem ser vistas nos gráficos *postplot* nas Figuras de 6 a 19. Em relação à área de pastagem, o ponto do atributo microporosidade foi identificado na posição (10,70); para o atributo macroporosidade nas posições (10,70), (50,70) e (80,60); para o atributo areia fina nas posições (10,10), (20,10) e (30,10); para areia grossa a posição (80,10) e para o atributo grau de flocculação as posições (10,40) e (80,50). Na área sob vegetação nativa o ponto do atributo microporosidade foi identificado na posição (80,60); para o atributo densidade do solo nas posições (30,30) e (40,30); para o atributo resistência mecânica à penetração nas posições (40,20) e (80,20); para o atributo argila a posição (10,10); para a areia grossa as posições (10,10), (10,20) e (10,30); para a areia fina as posições (10,10), (70,40), (70,80) e (80,60), para a areia total as posições (10,10), (10,20) e (10,30) e para o atributo ADA as posições (40,10), (50,20) e (70,20).

Verifica-se que dos quatorze atributos estudados nas duas áreas, cinco possuíram *outliers* na pastagem, detectando nove pontos, correspondendo a 1,15% do total de dados, os quais foram descartados. Na área sob vegetação nativa, oito atributos apresentaram *outliers*, com dezoito pontos, correspondendo a 2,18% do total de dados que foram descartados. Após a retirada desses pontos, foram feitas novas análises.

Observações feitas nestes gráficos confirmam para alguns atributos estudados uma leve tendência no sentido da declividade, apresentando uma descontinuidade no eixo y . Apesar deste comportamento, os dados foram interpretados e considerados isotrópicos no Software GS⁺ (Robertson, 1998), o que indica que, para essas variáveis, as hipóteses necessárias para o uso da geoestatística no estudo da variabilidade espacial estão satisfeitas, conforme considerou Scherpinski (2003).

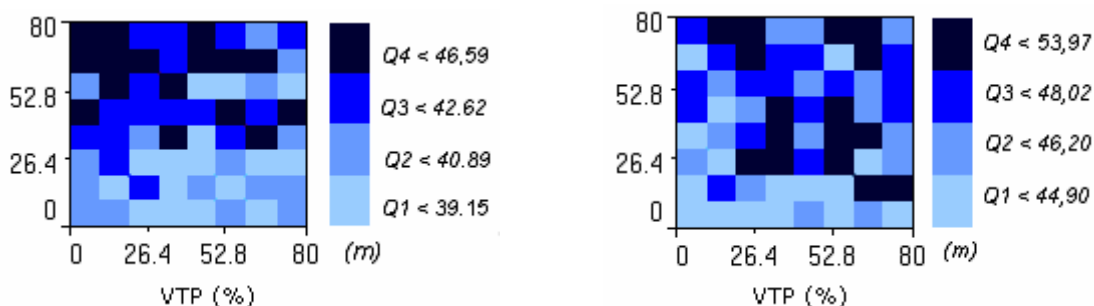


Figura 6- Gráfico *Postplot* do volume total de poros (VTP) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

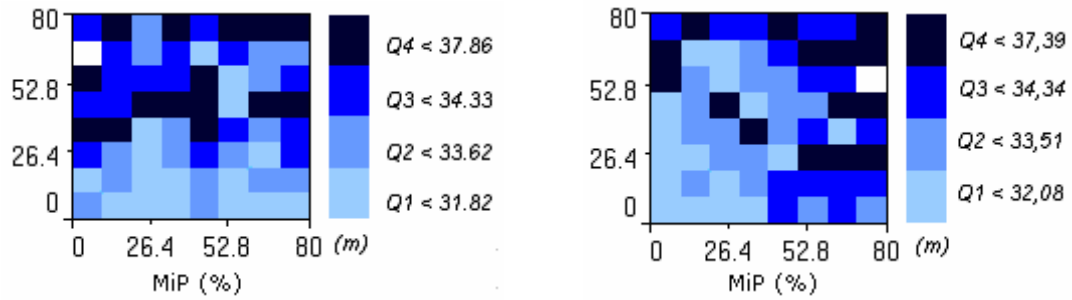


Figura 7- Gráfico *Postplot* da microporosidade (MiP) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

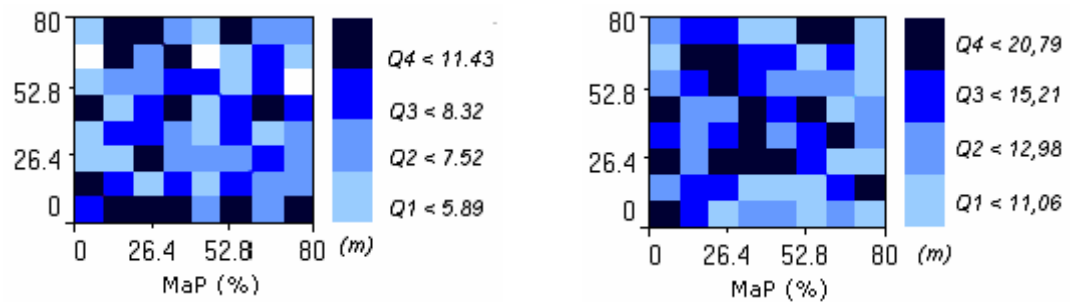


Figura 8- Gráfico *Postplot* da macroporosidade (MaP) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

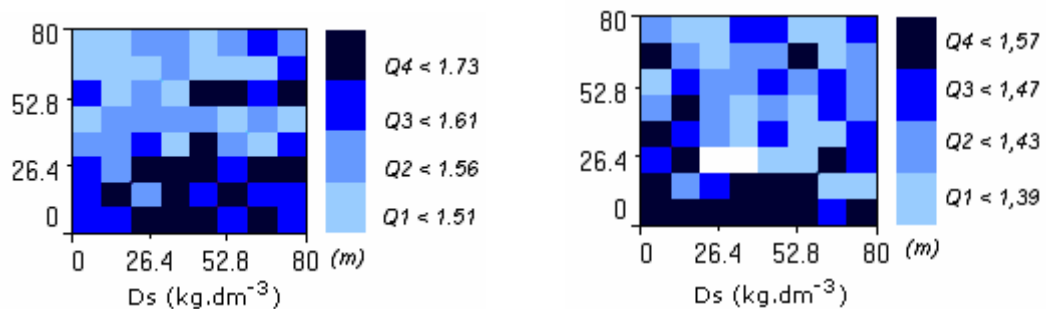


Figura 9- Gráfico *Postplot* da densidade do solo (Ds) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

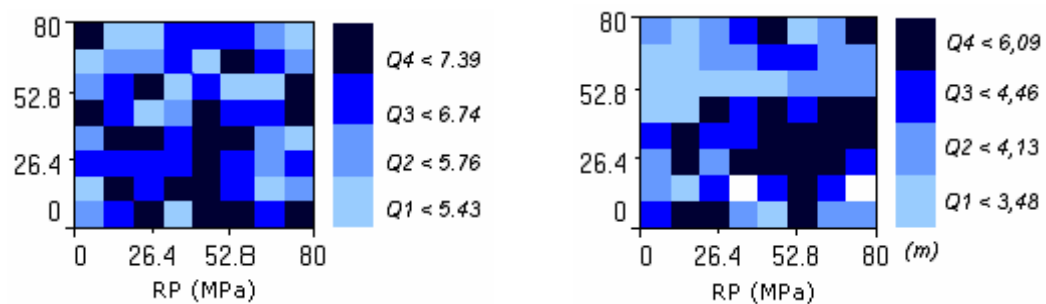


Figura 10- Gráfico *Postplot* da resistência do solo à penetração (RP) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

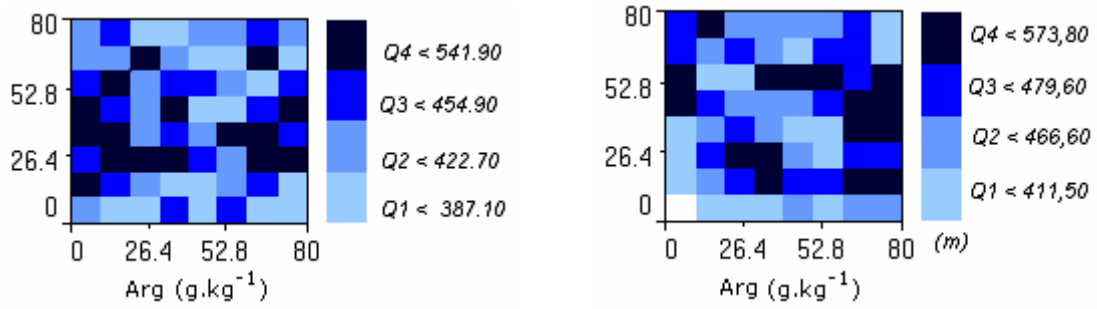


Figura 11- Gráfico *Postplot* da argila (Arg) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

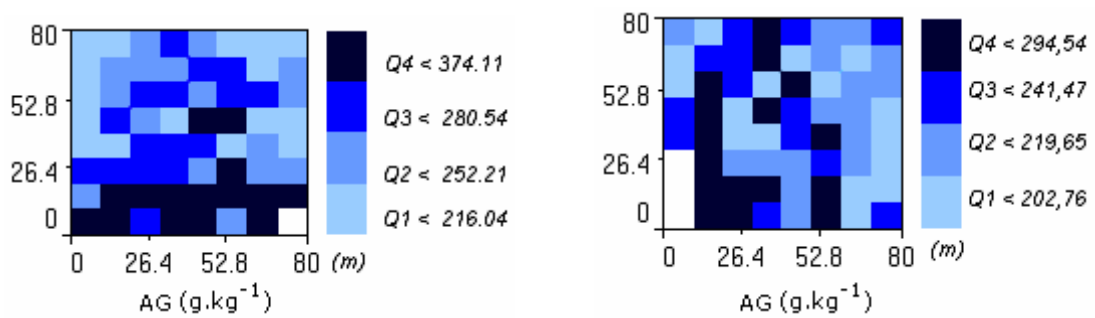


Figura 12- Gráfico *Postplot* da areia grossa (AG) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

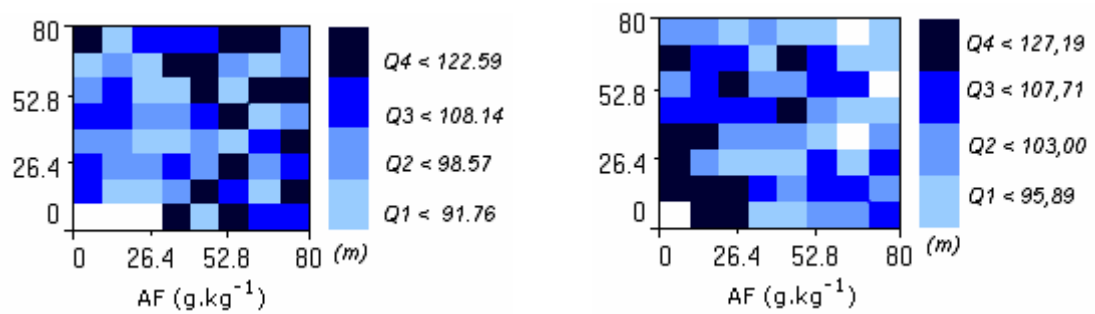


Figura 13- Gráfico *Postplot* da areia fina (AF) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

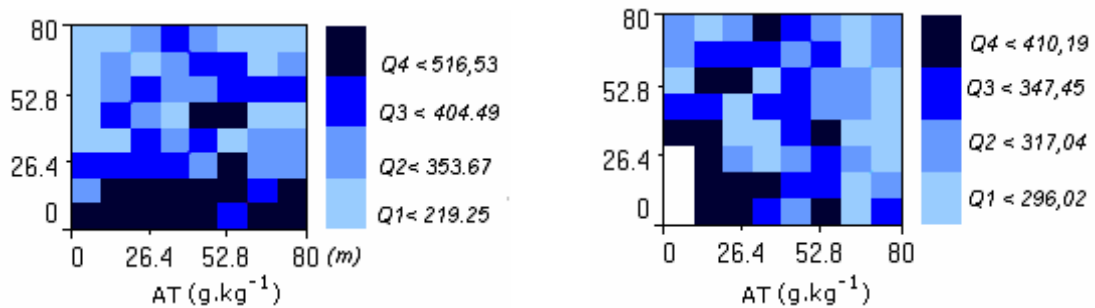


Figura 14- Gráfico *Postplot* da areia total (AT) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

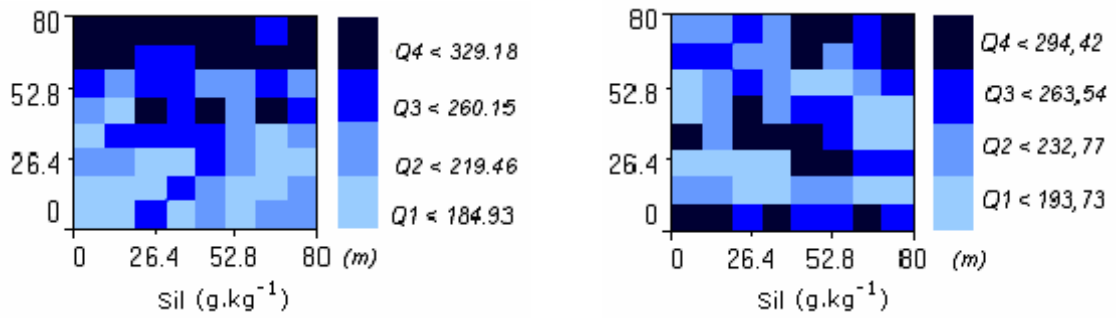


Figura 15- Gráfico *Postplot* da silte (Sil) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

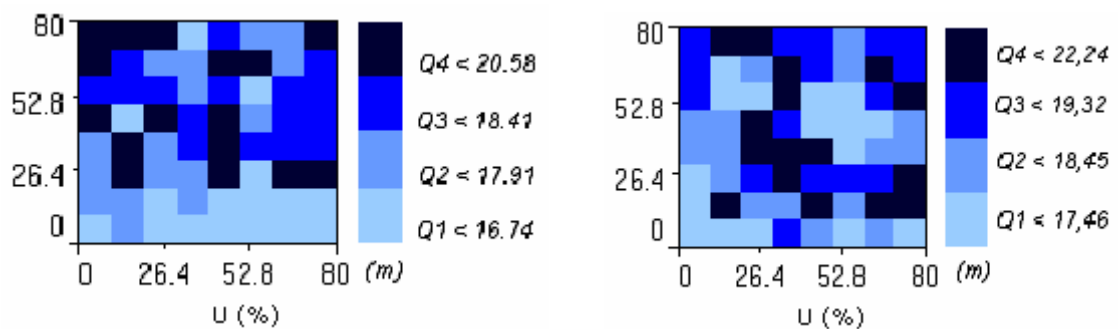


Figura 16- Gráfico *Postplot* da umidade do solo (U) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

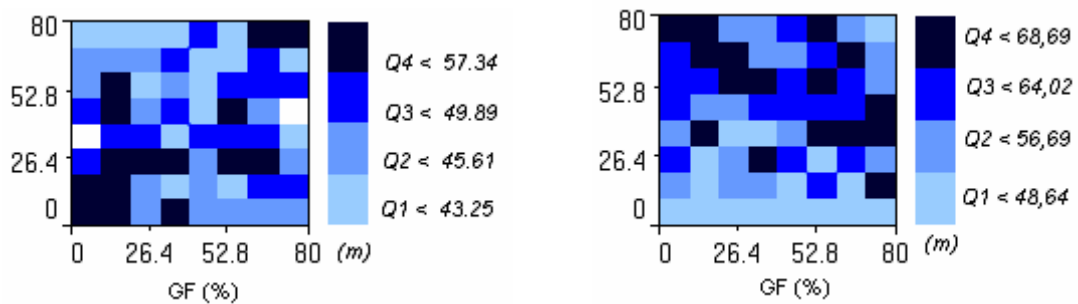


Figura 17- Gráfico *Postplot* do grau de floculação (GF) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

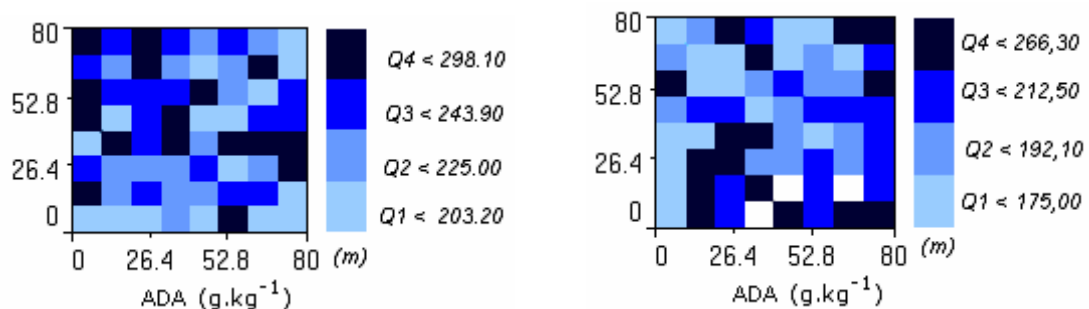


Figura 18- Gráfico *Postplot* da argila dispersa em água (ADA) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

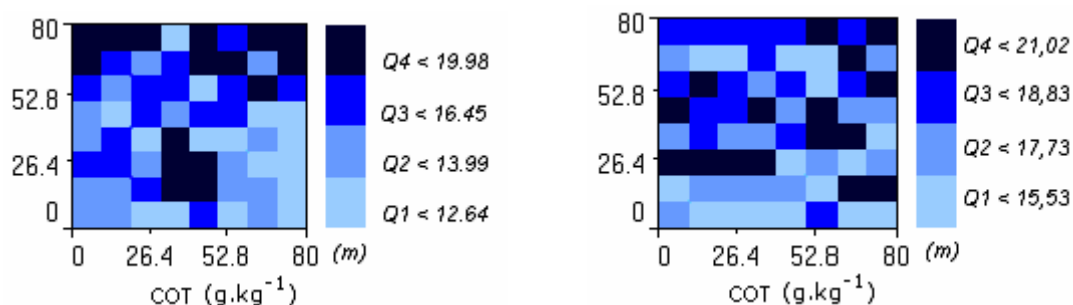


Figura 19- Gráfico *Postplot* do carbono orgânico total (COT) do solo sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

A estacionaridade dos dados amostrais (não existência de efeito proporcional) foi identificada também através dos gráficos de média *versus* desvio padrão por linha e coluna (Figuras 20 a 23). Segundo Isaaks e Srivastava (1989), mais importante que a normalidade dos dados é a verificação do chamado efeito proporcional, verificando se há indícios de tendência nos dados, ou seja, nenhuma proporcionalidade ou outra relação entre a média e o desvio padrão deve ser constatada (Scherpinski, 2003).

Observa-se que existe uma concentração dos dados médios da linha e coluna em torno da média geral para todos os atributos, com alguns pontos dispersos presentes nesta análise. Uma leve presença do efeito proporcional foi observada nos atributos U na pastagem e VTP, MiP e AF na área sob vegetação. A presença do efeito proporcional com provável tendência dos dados na área significou que os fatores de influência na distribuição espacial desses atributos não agiram de forma similar em toda área, ou seja, existiu a predominância de um processo não estacionário, conforme Andriotti (1998). Nesses casos, esta tendência implica em uma variação espacial anisotrópica, segundo Trangmar et al. (1985), que está relacionada aos atributos não variarem de forma igual em todas as direções, ou também, uma grande capacidade de dispersão dos dados na área. Entretanto, pela facilidade na interpretação dos dados adotou-se que todos os atributos estudados assumem o comportamento isotrópico. Nesse caso, considerou-se que não há indicação de violação da hipótese intrínseca, em que a média e a covariância, estimadas a partir de um conjunto restrito de valores, fornecem estimativas não tendenciosas para o conjunto total de tais valores, tanto na área sob pastagem como na área sob vegetação nativa.

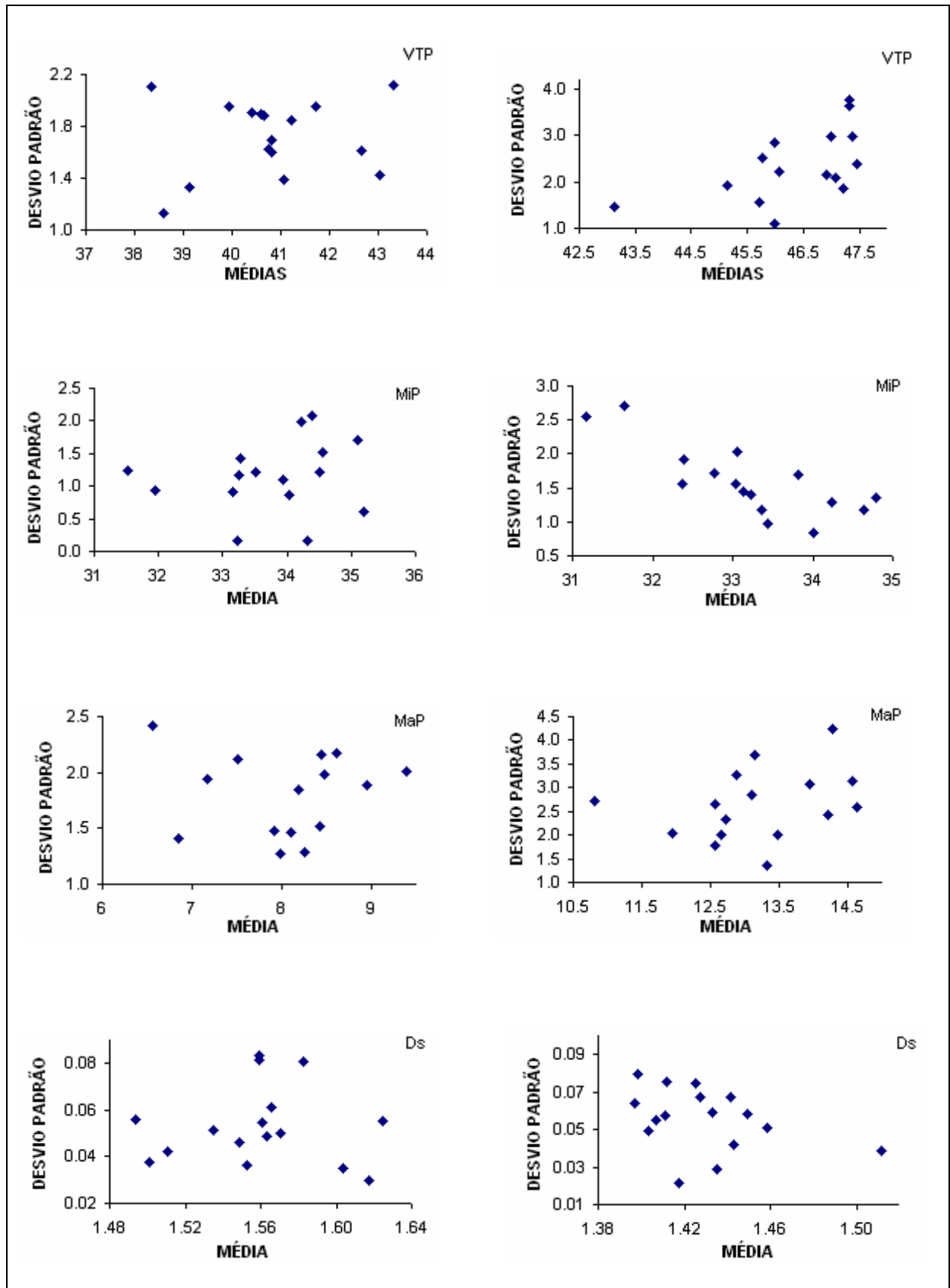


Figura 20- Gráficos de dispersão das médias e desvio padrão em colunas e linhas dos valores dos atributos físicos VTP (%), MiP (%), MaP (%) e Ds ($\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$), referentes às áreas sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

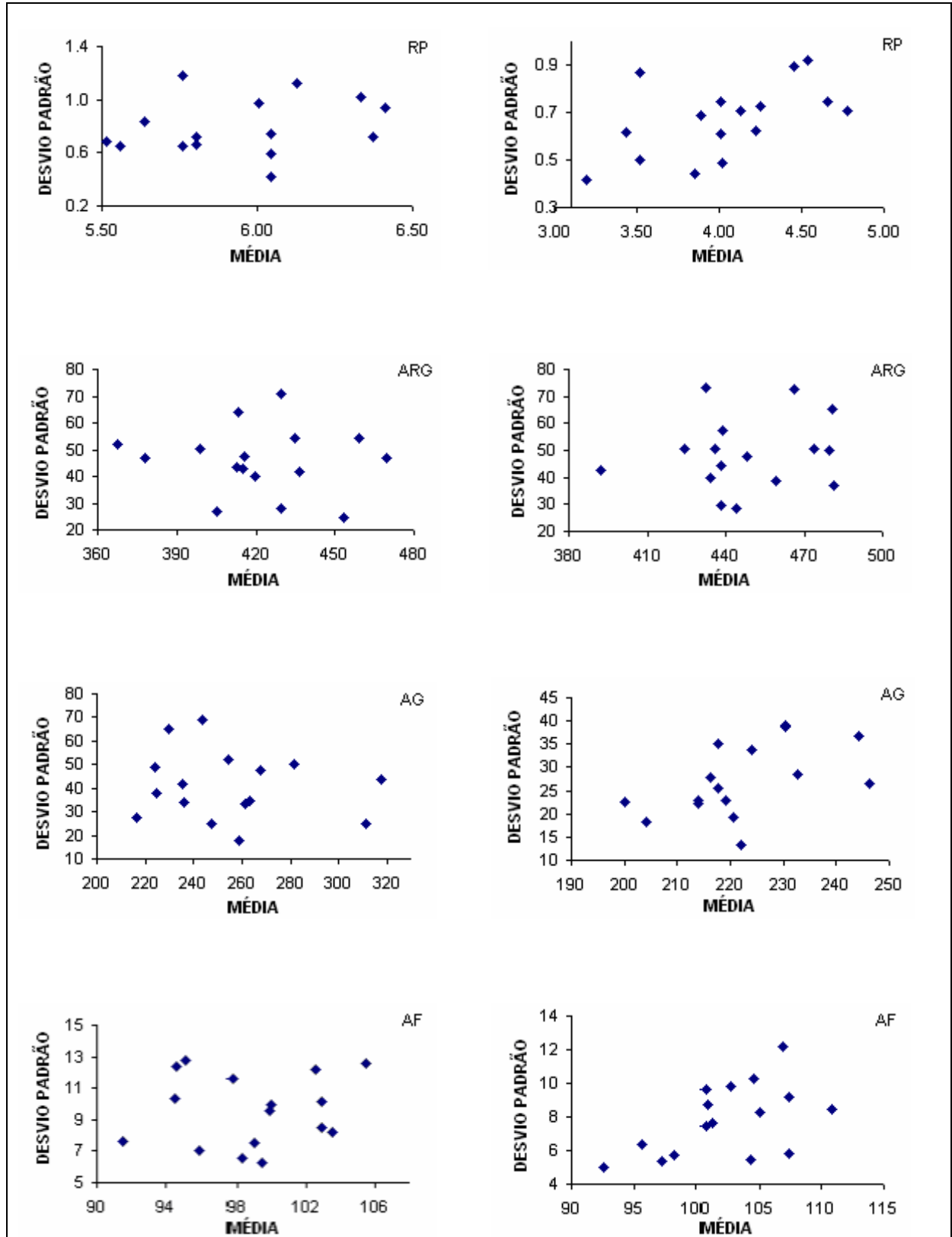


Figura 21- Gráficos de dispersão das médias e desvio padrão em colunas e linhas dos valores dos atributos físicos RP (MPa), Arg (g.kg^{-1}), AG (g.kg^{-1}) e AF (g.kg^{-1}), referentes às áreas sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

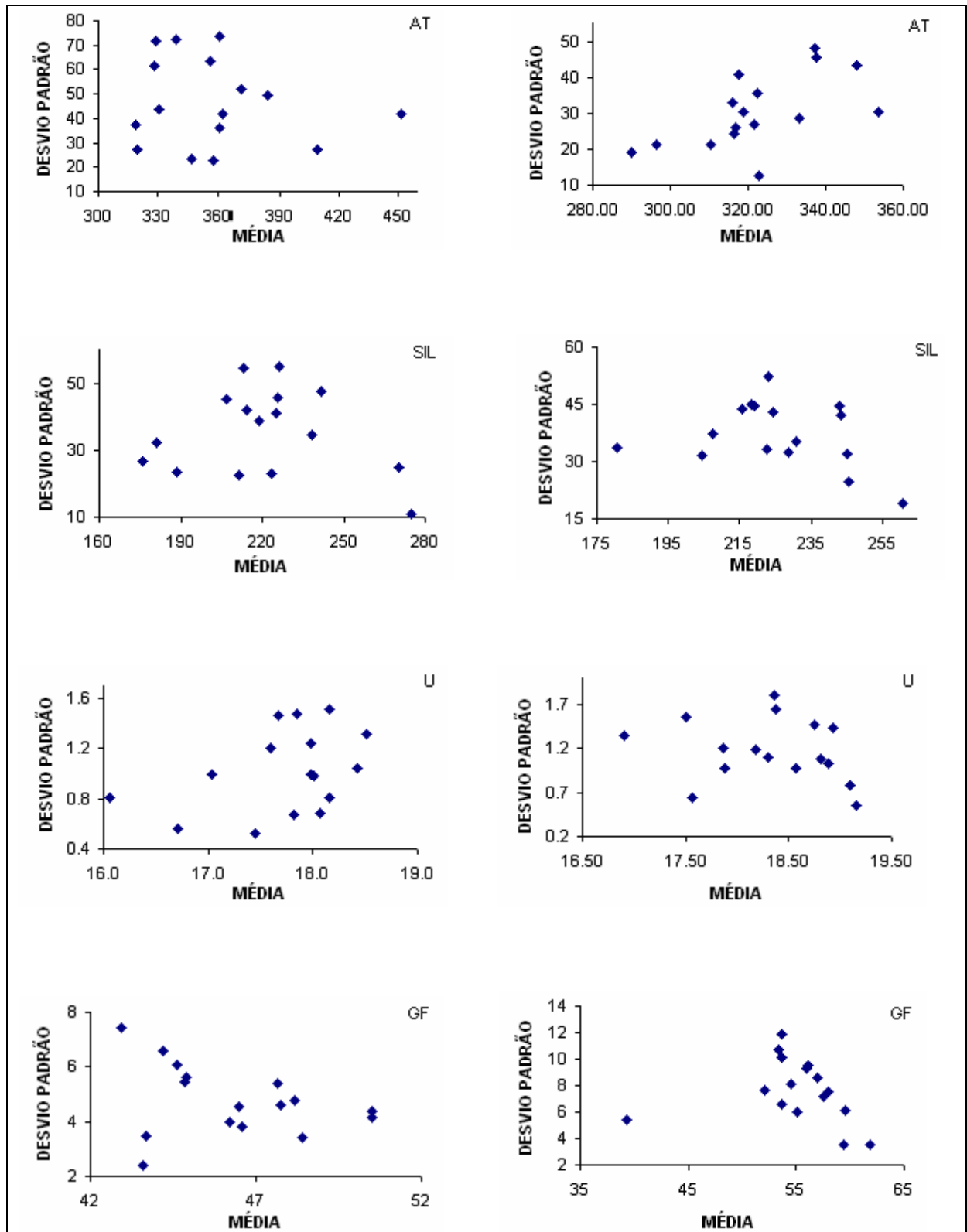


Figura 22- Gráficos de dispersão das médias e desvio padrão em colunas e linhas dos valores dos atributos físicos AT (g.kg⁻¹), Sil (g.kg⁻¹), U (%) e GF (%), referentes às áreas sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

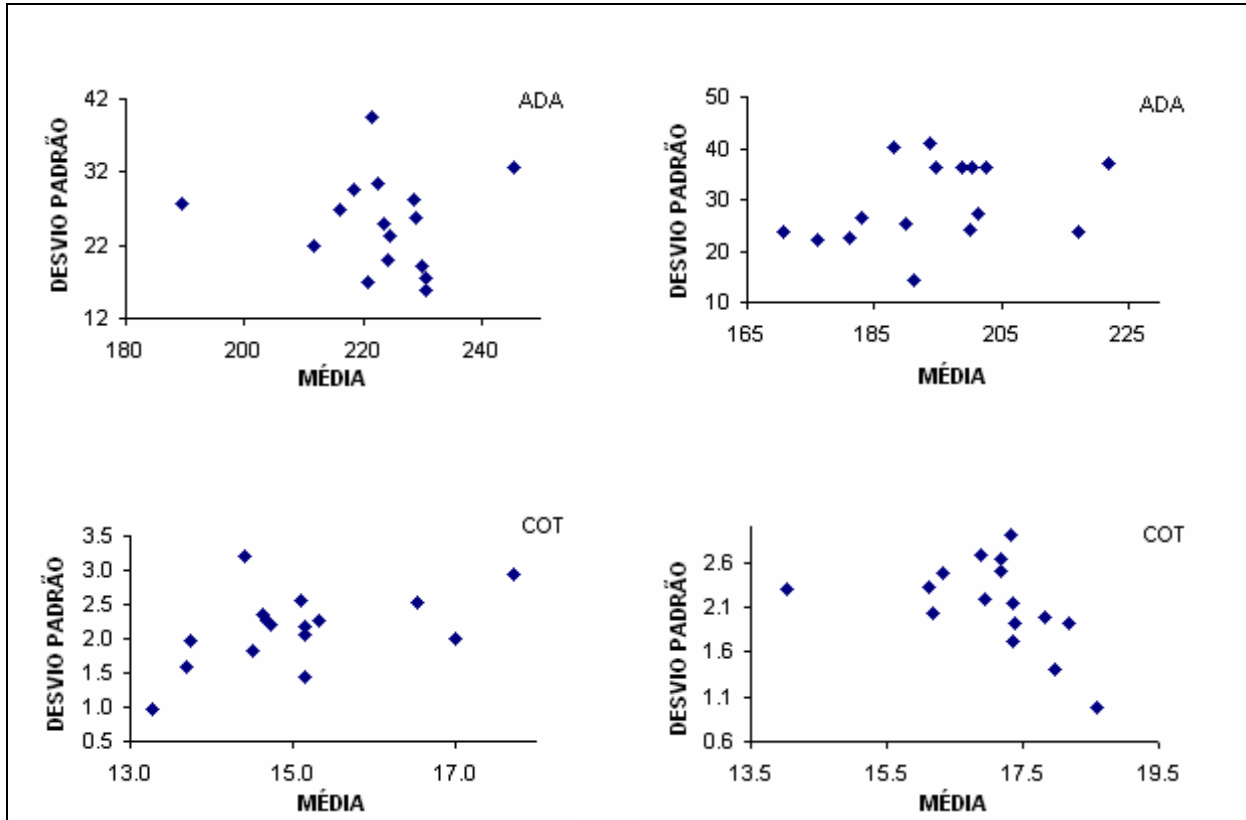


Figura 23- Gráficos de dispersão das médias e desvio padrão em colunas e linhas dos valores dos atributos físicos ADA (g.kg⁻¹) e COT (g.kg⁻¹) referentes às áreas sob pastagem (à esquerda) e vegetação nativa (à direita)

4.4. Análise Semivariográfica

Os dados da análise da variabilidade espacial por meio de semivariogramas escalonados para cada atributo do solo em estudo, nas áreas de pastagem e vegetação nativa, com os parâmetros e modelos ajustados aos semivariogramas são apresentados na Tabela 4.

O uso do semivariograma escalonado entre os valores obtidos para os diferentes parâmetros, permitiu verificar se as variáveis contam com o mesmo padrão de variabilidade espacial, ou seja, se valores de efeito pepita, alcance e patamar são semelhantes ou não, uma vez que assumem valores em escala padronizada.

Escolher um modelo apropriado aos dados experimentais é algo que demanda certo tempo, requer um bom julgamento baseado na experiência do pesquisador e uma compreensão das limitações matemáticas da função (Beraldo, 2004).

Tabela 4 - Dados de ajuste dos semivariogramas escalonados para os atributos nas áreas de pastagem (PA) e vegetação nativa (VN)

Variável	Modelo Ajustado	Alcance (m)	Patamar	Efeito Pepita	R ²	IDE(%)	Classe Espacial
Pastagem							
VTP	EXP	30,50	0,86	0,17	0,40	0,80	Alta
MiP	ESF	38,3	0,92	0,25	0,83	0,73	Moderada
MaP	EPP	-	-	0,98	-	0,0	-
Ds	EXP	29,8	0,85	0,16	0,41	0,80	Alta
RP	EPP	-	-	0,95	-	0,0	-
Arg	ESF	40,8	1,16	0,43	0,75	0,63	Moderada
Sil	LIN	-	1,75	0,06	0,94	0,94	Alta
AG	LIN	-	1,47	0,42	0,92	0,71	Moderada
AF	EPP	-	-	0,98	-	-	-
AT	LIN	-	1,56	0,28	0,92	0,82	Alta
U	LIN	-	1,41	0,40	0,93	0,71	Moderada
COT	ESF	32,1	0,97	0,31	0,78	0,67	Moderada
GF	EXP	34,8	1,05	0,28	0,84	0,73	Moderada
ADA	EXP	23,1	1,00	0,22	0,50	0,78	Alta
Vegetação nativa							
VTP	ESF	19,20	1,00	0,20	0,60	0,80	Alta
MiP	LIN	-	1,75	0,04	0,88	0,98	Alta
MaP	EPP	-	-	1,0	-	-	-
Ds	LIN	-	1,25	0,67	0,92	0,46	Moderada
RP	ESF	42,5	1,13	0,18	0,84	0,84	Alta
Arg	ESF	18,90	0,89	0,15	0,50	0,84	Alta
Sil	EPP	-	-	1,0	-	-	-
AG	ESF	18,2	0,95	0,18	0,74	0,81	Alta
AF	EXP	32,3	0,96	0,18	0,61	0,81	Alta
AT	ESF	20,0	0,88	0,17	0,78	0,81	Alta
U	ESF	23,0	1,00	0,12	0,50	0,88	Alta
COT	EPP	-	-	0,95	-	-	-
GF	LIN	-	1,54	0,33	0,97	0,78	Alta
ADA	EXP	17,0	0,93	0,13	0,40	0,86	Alta

ESF – modelo esférico; EXP – modelo exponencial; EPP – efeito pepita puro; LIN – modelo linear sem patamar; IDE – Índice de dependência espacial

Apesar do efeito proporcional apresentado nos atributos VTP e AF na área sob vegetação nativa, os dados experimentais foram ajustados pelos modelos esférico e exponencial, respectivamente.

Analisando os atributos do solo na Tabela 4, pode-se observar um alcance maior que 40 m somente para a argila no solo sob pastagem e RP no solo sob vegetação, indicando maior continuidade espacial desses atributos. Segundo Castrignano et al. (2000), a variação espacial das propriedades físicas e químicas do solo é imposta por processos que diferem espacialmente em escala e ao longo do tempo, sendo que uns dependem do manejo e uso do solo e outros dependem de fenômenos naturais relacionados à estrutura e textura do solo.

Verificou-se que os atributos MaP, RP e AF no solo da área sob pastagem e MaP, Sil e COT no solo da área sob vegetação nativa apresentaram semivariogramas sem estrutura espacial (efeito pepita puro), permitindo concluir que, nessa escala, as observações desses atributos não apresentaram correlação espacial, distribuindo-se de forma independente no espaço, ou seja, consideradas ao acaso. Neste caso, não podem ser expressas em função da distância de 10 metros de separação entre os pontos amostrais.

Analisando os semivariogramas escalonados das variáveis VTP e Ds no solo sob pastagem, observa-se que possuem o mesmo padrão de variabilidade espacial no modelo de ajuste, no efeito pepita, no alcance e o no patamar. Enquanto que para o solo sob vegetação nativa, as frações granulométricas de AF, AG e AT apresentaram um padrão de distribuição espacial bem próximo, o mesmo não verificado no solo sob pastagem. Esse fato mostra que o solo sob vegetação nativa proporciona certa continuidade das frações granulométricas, comparado ao solo sob pastagem, o que é corroborado por Tsegaye & Hill (1998), quando observaram que as propriedades químicas e físicas sofrem alterações em função do material de origem e do relevo, bem como do manejo e uso do solo.

Os atributos Sil, AG, AT e U no solo sob pastagem e MiP, Ds e GF no solo sob vegetação nativa foram melhor descritos pelo modelo linear sem patamar, mostrando dependência espacial dentro de toda área experimental. Guimarães (2000) ajustou o mesmo modelo para a microporosidade e areia total em plantio direto. Esse modelo indica a presença de fenômeno com capacidade infinita de dispersão, o que não tem variância finita e para o qual a covariância não pode ser definida. Ele indica, também, que o tamanho do campo amostrado não foi suficiente

para exibir toda a variância (Vieira, 2000). A remoção de tendência pelos métodos da mediana e superfície parabólica de grau dois não produziu efeito significativo nos modelos de semivariograma destas variáveis. Nesses casos, optou-se pela não utilização da modelagem dos resíduos.

Na pastagem, utilizou-se o modelo esférico para MiP, Arg e COT. Este modelo foi utilizado por Souza et al. (2004) para o teor de matéria orgânica no solo e por Azevedo (2004) para os atributos micro e macroporosidade. Os atributos VTP, Ds, GF e ADA foram ajustados pelo modelo exponencial. Azevedo (2004) também utilizou o modelo exponencial para VTP em solo sob pastagem.

No solo sob vegetação nativa, houve ajuste ao modelo esférico para VTP, RP, Arg, AG, AT e U e ao modelo exponencial para AF e ADA. Guimarães (2000) encontrou ajuste esférico para volume total de poros e argila e exponencial para areia fina em plantio direto.

O Índice de dependência espacial (IDE) que mede a variabilidade com dependência espacial, para os modelos de semivariogramas aceitos, apresentou para o solo sob pastagem cinco atributos com alta dependência com valores entre 0,78 a 0,94 e seis atributos com moderada dependência com valores entre 0,63 e 0,73. No solo sob vegetação nativa, dez atributos apresentaram alta dependência com valores entre 0,78 a 0,98 e um atributo com moderada dependência com valor de 0,46 (Tabela 4). Os critérios de classificação foram os adotados pelo Software GS⁺. Desta forma, os resultados mostraram que, em geral, os valores de dependência espacial dos atributos do solo possibilitam melhores estimativas pela krigagem.

Com relação aos valores de R^2 dos semivariogramas na pastagem, dois atributos apresentaram valores inferiores a 0,50, dois atributos com valores entre 0,50 e 0,75 e sete com valores acima de 0,75. No solo sob vegetação nativa, um atributo apresentou R^2 abaixo de 0,50, cinco com valores entre 0,50 a 0,75 e quatro acima de 0,75. Conforme Azevedo (2004), tais resultados mostram, em geral, ajustes dos semivariogramas que possibilitam a obtenção dos mapas da distribuição espacial dos atributos de forma confiável.

Os gráficos dos semivariogramas escalonados referentes aos atributos físicos e COT nos solos das áreas sob pastagem e vegetação nativa são apresentados nas Figuras de 24 a 27.

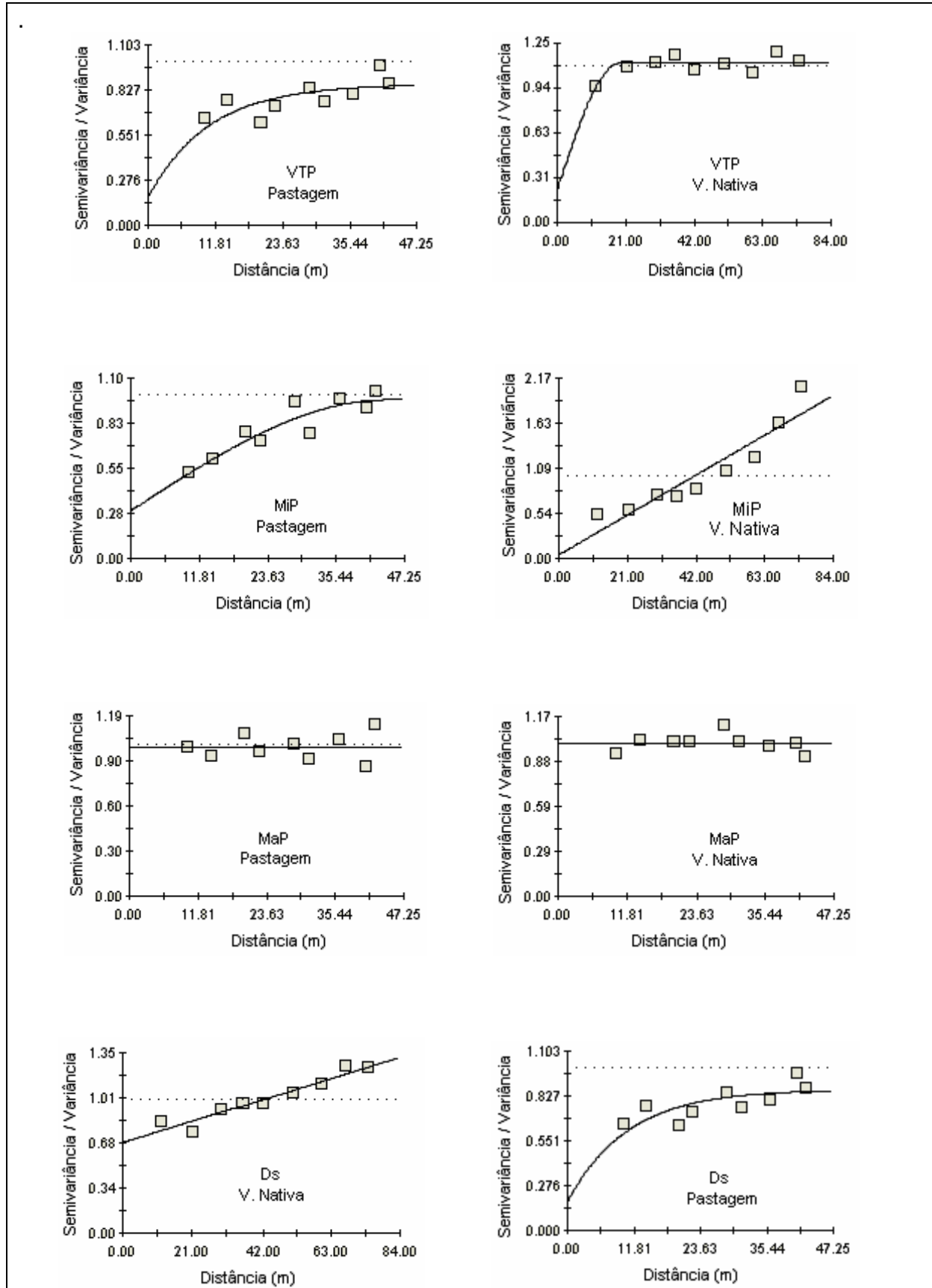


Figura 24- Semivariogramas escalonados dos atributos VTP (%), MiP (%), MaP (%) e Ds (kg dm^{-3}), referentes às áreas de pastagem e vegetação nativa

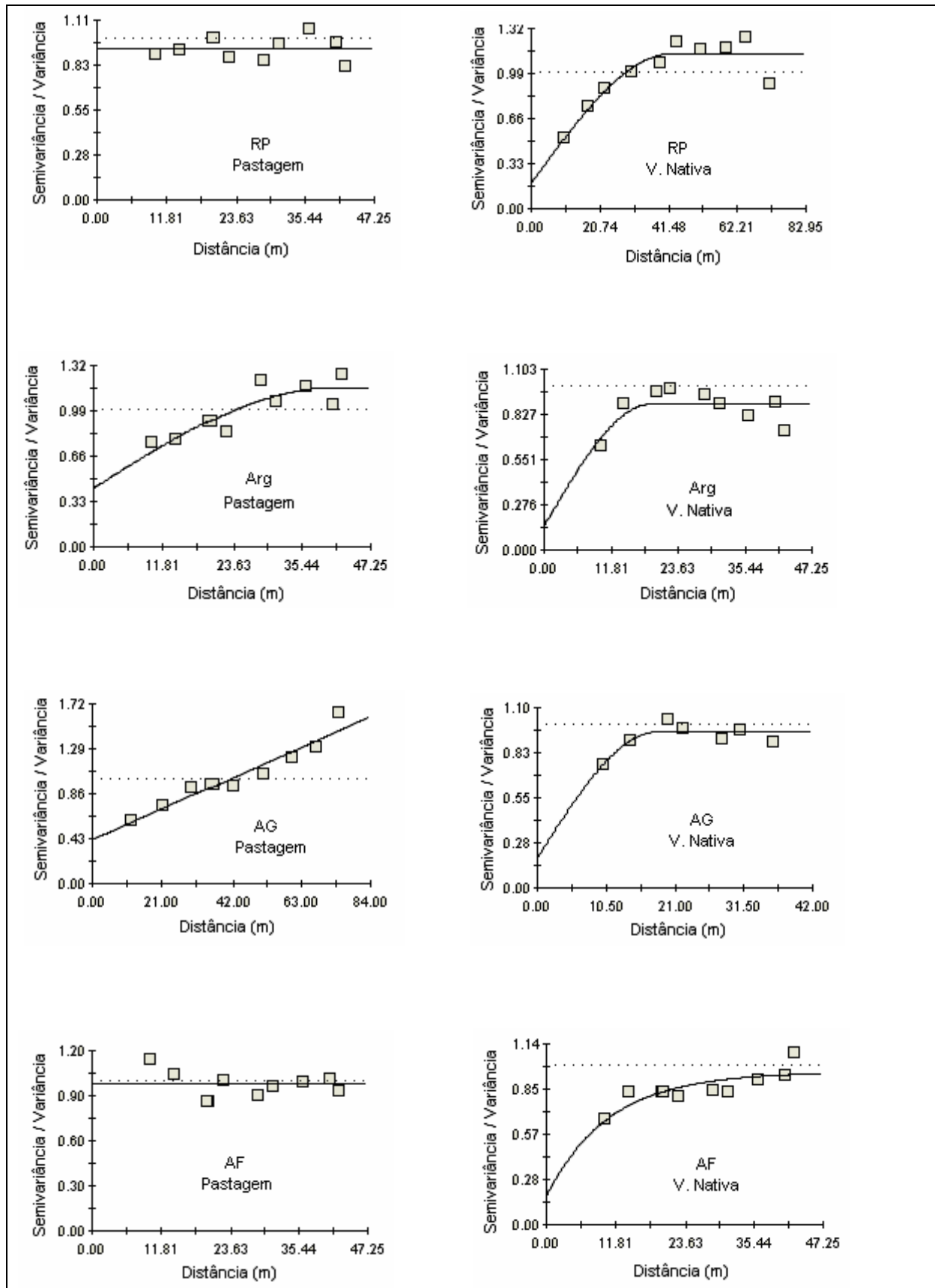


Figura 25- Semivariogramas escalonados dos atributos RP (MPa), Arg (g kg^{-1}), AG (g.kg^{-1}) e AF (g kg^{-1}), referentes às áreas de pastagem e vegetação nativa

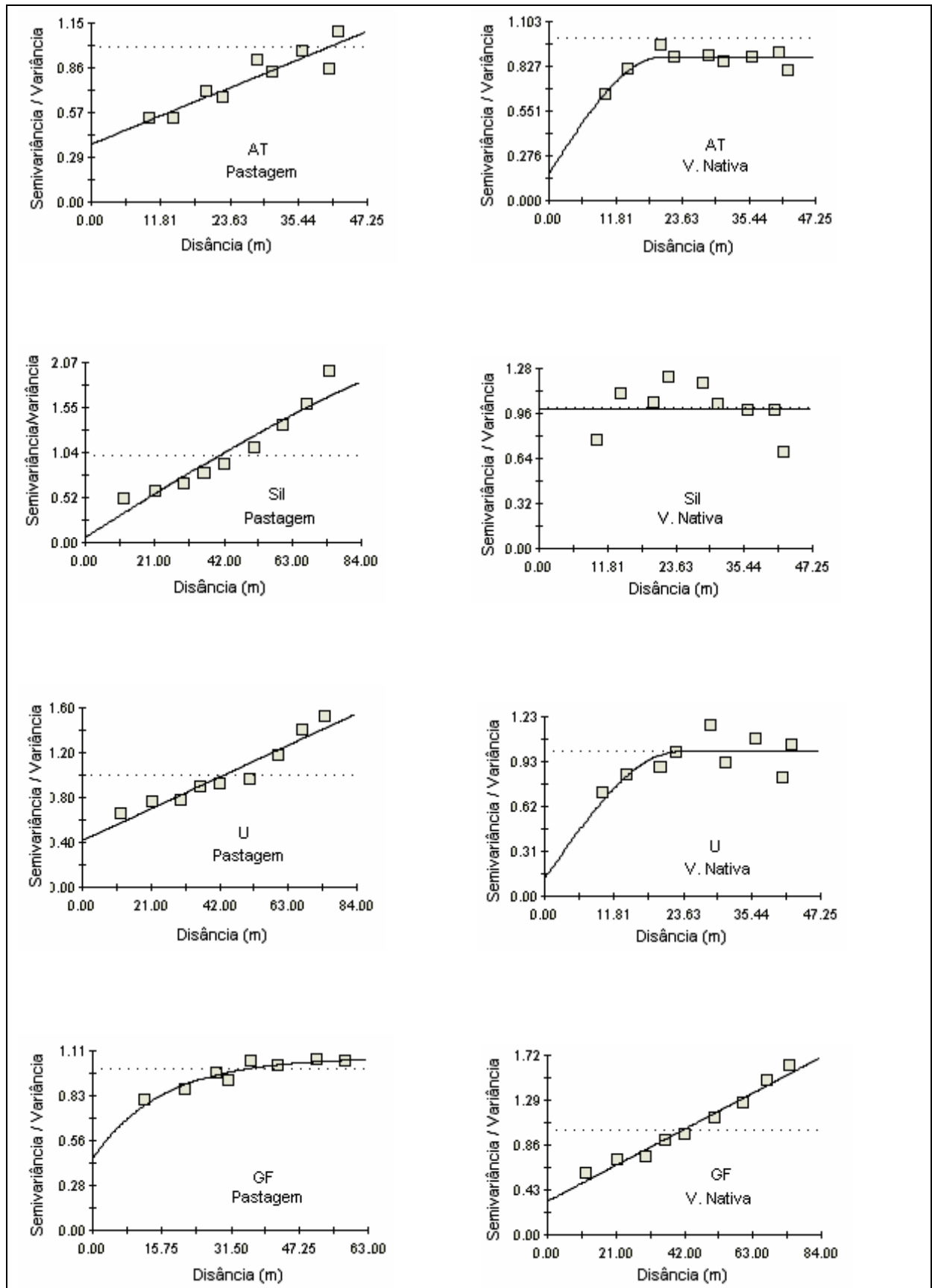


Figura 26- Semivariogramas escalonados dos atributos AT (g kg^{-1}), Sil (g kg^{-1}), U (%) e GF (%), referentes às áreas de pastagem e vegetação nativa

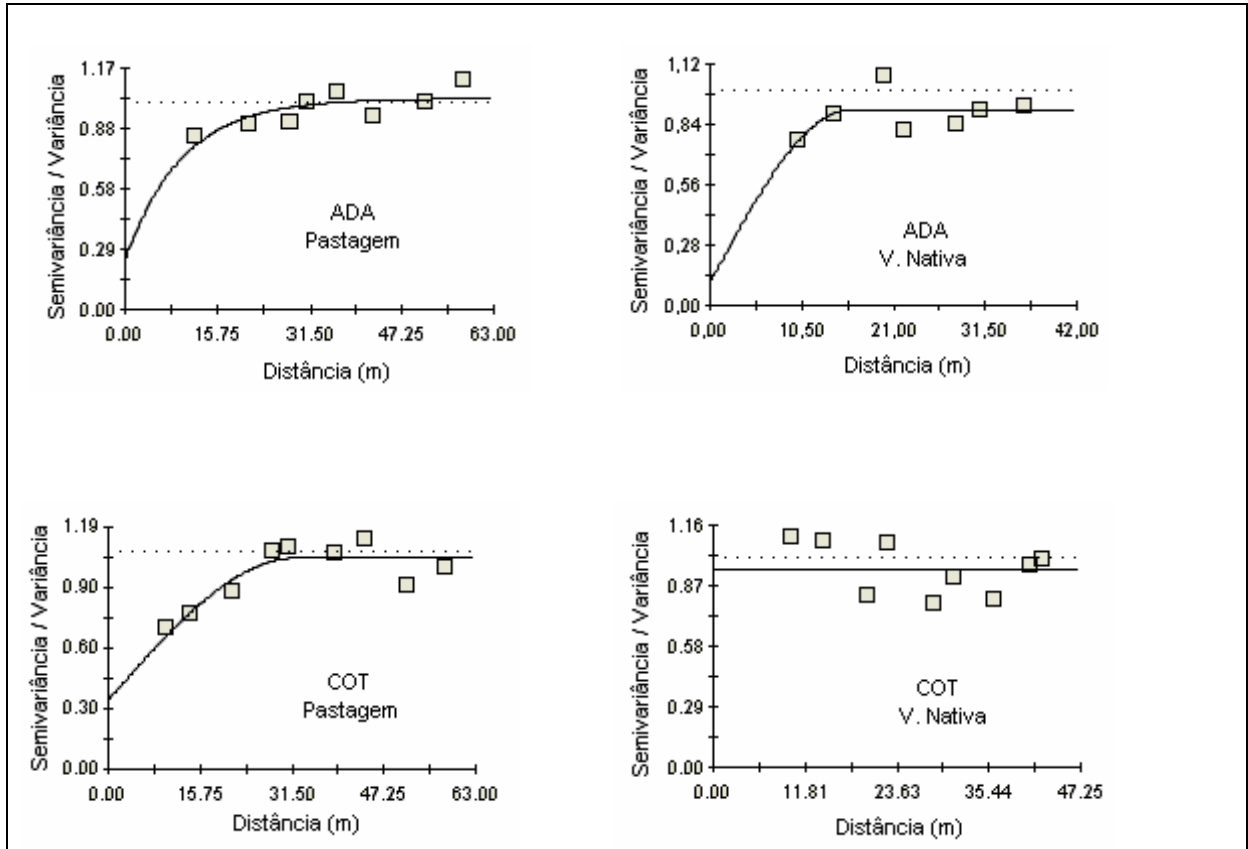


Figura 27- Semivariogramas escalonados dos atributos ADA (g kg^{-1}) e COT (g kg^{-1}), referentes às áreas de pastagem e vegetação nativa

4.5. Mapas dos atributos físicos do solo

A partir dos modelos aceitos, realizou-se a krigagem ordinária dos dados para obtenção dos mapas temáticos de cada atributo (Figuras de 28 a 30).

A Figura 28 mostra as isolinhas da distribuição dos valores de VTP nas duas áreas estudadas. Na área de pastagem, este atributo apresentou valores superiores na parte superior e inferior na parte inferior da área. Já a área sob vegetação nativa apresentou melhor distribuição espacial dos dados de VTP. Na pastagem, a distribuição dos valores da microporosidade (MiP) concentrou maiores valores nas laterais esquerda e direita da área. A região inferior da área apresentou menores valores para este atributo, contrariando o que afirma Nolla (1982), que em região de menor volume total de poros encontra-se maior microporosidade. Como esta é uma área de tráfego intenso de animais, a compactação do solo é grande,

como se pode verificar pelos resultados encontrados. Neste caso, a microporosidade apresenta-se baixa na região de baixa VTP. O mesmo comportamento foi verificado por Souza et al. (2004) para solos de áreas com elevado tráfego de máquinas na cultura de cana-de-açúcar.

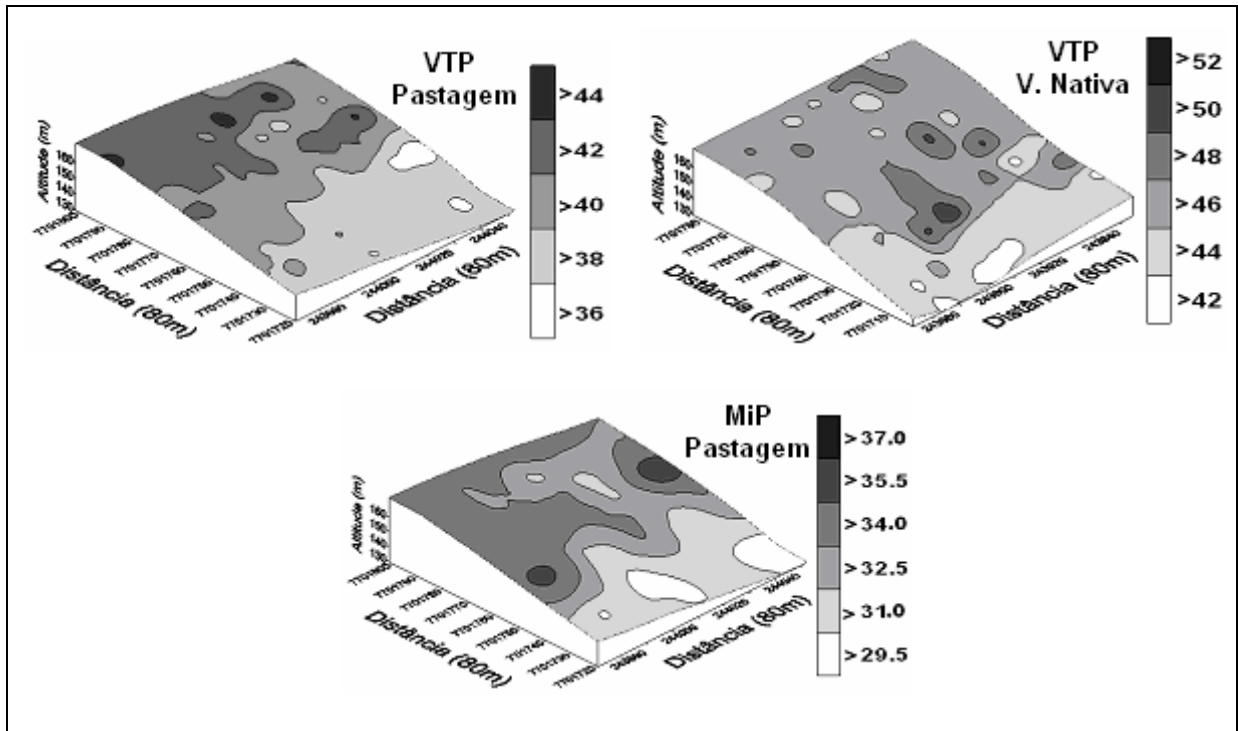


Figura 28- Mapas de isolinhas para os atributos: VTP (%) no solo sob pastagem e vegetação nativa; e MiP (%) no solo sob pastagem

Os mapas de D_s mostram a localização dos maiores valores na região inferior das duas áreas estudadas, região esta de menor volume total de poros (Figura 29). Na pastagem, tal fato indica uma preferência dos animais em se acumularem nesta região, conseqüentemente, maiores cargas são aplicadas ao solo pelo pisoteio. A distribuição espacial desta variável tem o comportamento inverso ao VTP, porém, com mesmo padrão espacial apresentado pelos semivariogramas escalonados (Figura 24).

A RP apresentou um comportamento esperado, com valores maiores na parte inferior da área, justamente na região de menor volume total de poros. Estes resultados estão de acordo com a distribuição dos valores de D_s , cuja concentração de maiores valores concentrou-se também na área mais baixa do terreno. A resistência do solo à penetração apresenta estreita relação com sua densidade (Klein et al.,1998), embora se deva reconhecer, como afirmam Torres & Saraiva

(1999), que a resistência do solo pode ser mais afetada pela umidade do solo no momento da amostragem do que pela sua densidade. É importante ressaltar que a resistência varia diretamente com a densidade do solo e inversamente com o conteúdo de água do solo (Busscher *et al.*, 1997). Com a redução do teor de água no solo, ocorre aumento na resistência à penetração decorrente da maior coesão entre partículas (Beltrame *et al.*, 1981).

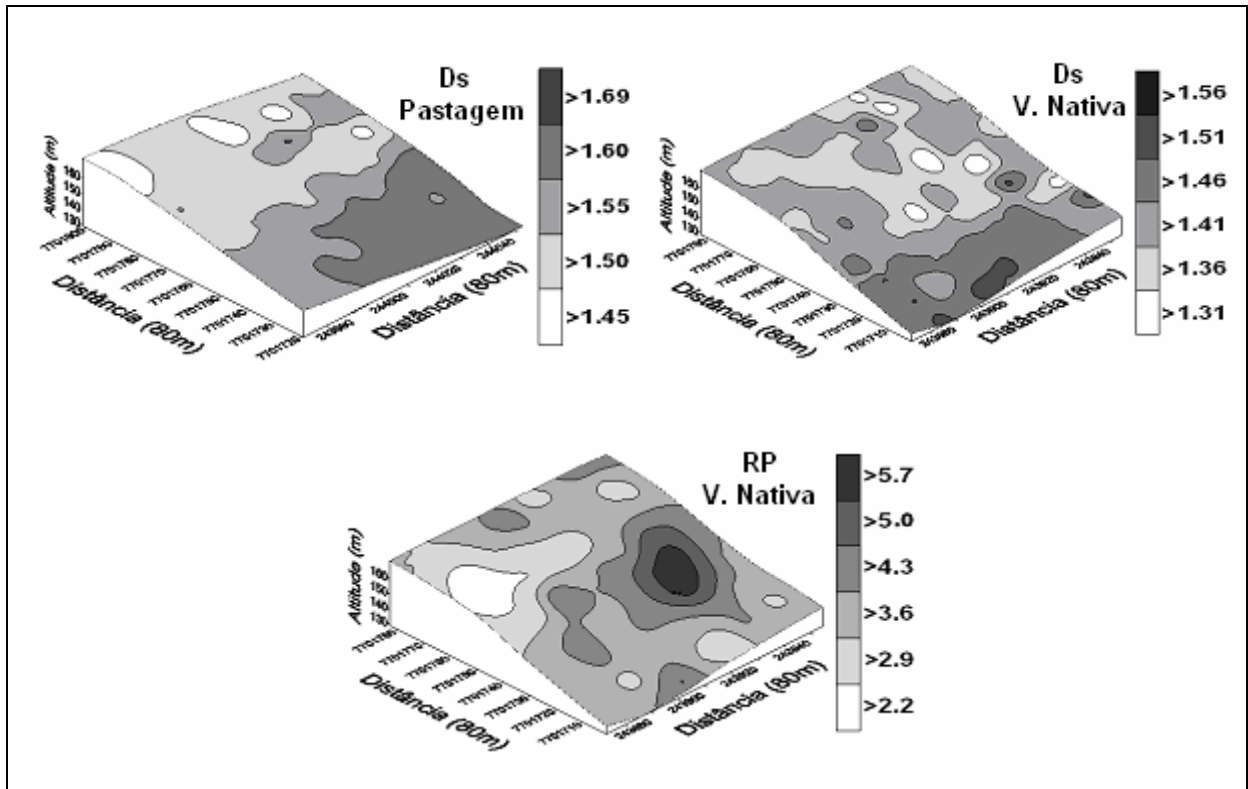


Figura 29- Mapas de isolinhas para os atributos: Ds (kg dm^{-3}) no solo sob pastagem e vegetação nativa; e RP (MPa) no solo sob vegetação nativa

Os mapas da distribuição da argila total nas duas áreas indicam uma concentração maior nas duas laterais da pastagem e na lateral direita da área de vegetação nativa. Os atributos relacionados à textura do solo apresentaram boa distribuição na área, embora as areias (grossa, fina e total) na vegetação nativa manifestaram-se mais intensamente na parte mais baixa (Figura 30). Isso ocorre, muito provavelmente, pelo processo de escoamento superficial em decorrência das chuvas, definindo uma região de deposição.

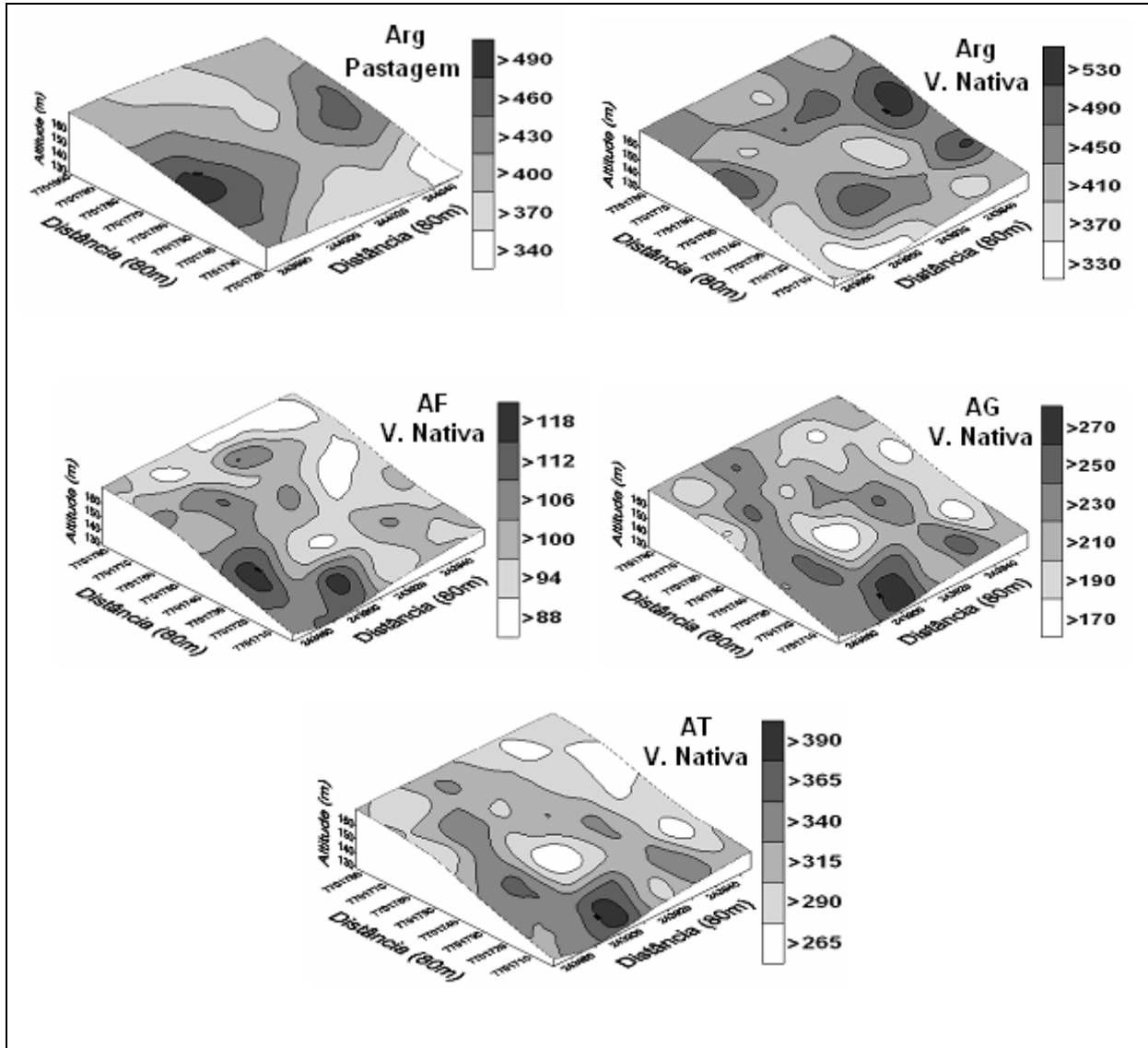


Figura 30- Mapa de isolinhas para os atributos: Arg (g kg^{-1}) nos solos sob pastagem e vegetação nativa; e AF (g kg^{-1}); AG (g kg^{-1}) e AT (g kg^{-1}) no solo sob vegetação nativa

O solo da área sob pastagem apresentou maiores valores de COT na região superior da área, justamente onde encontram também maiores valores de VTP (Figura 31), confirmando resultados obtidos por Feller & Beare (1997). Esse fato pode estar correlacionado com a maior presença de cobertura verde pela pastagem nos locais na época da amostragem. Uma outra observação importante é a concentração de maiores valores de ADA na parte direita da área de pastagem, coincidindo com os menores valores de COT. O processo de dispersão e floculação de argilas é regulado pela dinâmica da dupla camada difusa. Em geral, solos com maior teor de matéria orgânica humificada apresentam menor espessura da dupla camada difusa. Essa situação pode contribuir para a estabilidade da ligação

partícula-partícula, agindo na formação e estabilização de agregados (Rosa et al. 2003) e, conseqüentemente, aumentando o processo de floculação e diminuindo a dispersão das argilas. O grau de floculação, tomado como indicador das condições de estabilidade dos agregados do solo, expressa suas condições de estruturação e sua maior ou menor resistência a fenômenos como a erosão. Segundo Fassbender (1984), a floculação depende da suscetibilidade do complexo de troca, das características da dupla camada difusa e dos cátions adsorvidos.

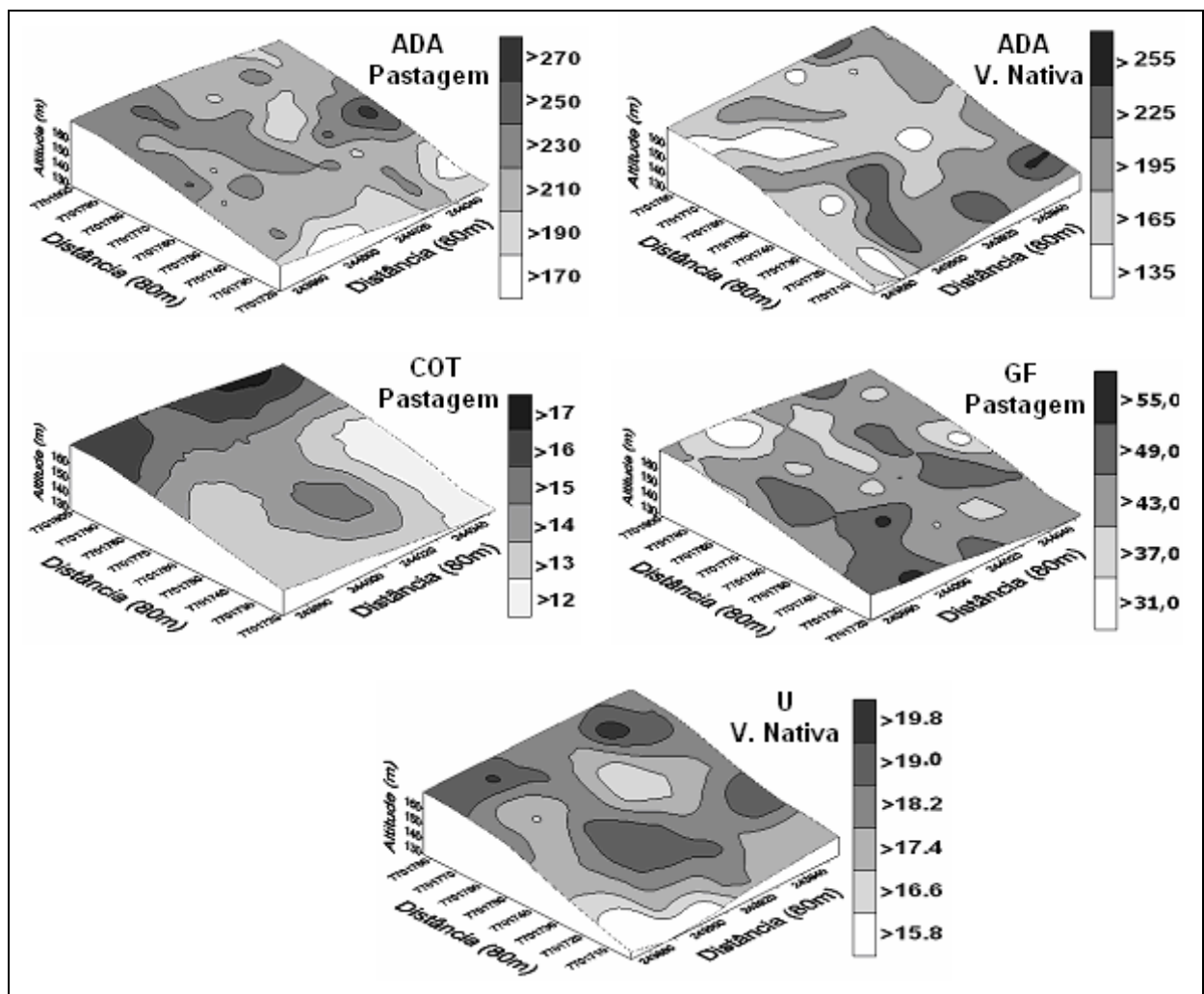


Figura 31- Mapas de isolinhas para os atributos: ADA (g kg^{-1}) nas áreas sob pastagem vegetação nativa; COT (g kg^{-1}) e FLOC (%) na área sob pastagem e TAS (%) na área sob vegetação nativa.

Silva et al. (2005), avaliando variações em atributos de solos sob diversos tipos de manejo, identificaram que o aumento da densidade do solo acompanhou a diminuição do teor de matéria orgânica. No solo sob pastagem, percebe-se que

houve uma semelhança na distribuição espacial para os atributos Ds e COT conforme pode ser verificado em seus respectivos mapas (Figuras de 29 e 31).

O solo sob floresta, geralmente é rico em serrapilheira, que por sua vez, melhora a estrutura e aumenta a capacidade de infiltração de água no solo, reduzindo o escoamento superficial, o arraste de solo e contribui mais efetivamente com a redução da perda de solo, conforme observado por Albuquerque et al. (2001). A quantidade de serrapilheira numa floresta depende do grau de decomposição e dos detritos vegetais e animais existentes. A acumulação de material orgânico na superfície dos solos florestais é função da quantidade de material que se acumula, menos a taxa de decomposição. Muitos são os fatores ambientais que afetam a taxa de decomposição, sendo esta determinada pela natureza química e física dos tecidos, pelas condições de aeração, temperatura e umidade da manta, assim como dos tipos e quantidades de microflora e fauna existente. Dessa forma, espera-se, com o decorrer do tempo, um incremento na melhoria das condições físicas do solo sob vegetação nativa, principalmente, em função da contribuição da matéria orgânica do solo, quantitativa e qualitativamente.

CONCLUSÕES

- A utilização de técnicas da geoestatística possibilita a análise espacial dos atributos físicos do solo sob pastagem e vegetação nativa, favorecendo seu detalhamento e a melhoria do diagnóstico.
- Os atributos do solo apresentam estrutura de dependência espacial com grau de dependência forte ou moderada, excetuando-se na pastagem a macroporosidade, a resistência à penetração e areia fina; e, na área sob vegetação nativa a macroporosidade, o silte e o carbono orgânico total.
- O volume total de poros e a densidade do solo apresentam o mesmo padrão espacial na área sob pastagem.
- As frações granulométricas na área de vegetação nativa apresentam dependência espacial entre as amostras, com exceção para o silte. Na a área de pastagem, a exceção é para areia grossa, areia total e silte, indicando capacidade infinita de dispersão na área de estudo, sugerindo influência direta da forma de uso do solo;
- As variações de cota no terreno estudado apresentam correlação significativa com a maioria dos atributos físicos, condicionando sua variabilidade espacial na profundidade estudada;
- A vegetação nativa contribui positivamente para a melhoria das condições físicas e da matéria orgânica do solo em relação à área sob pastagem. Contudo, para alguns atributos do solo, essas mudanças não foram muito expressivas, o que deverá acontecer com o decorrer do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACADEMIA DE CIÊNCIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - ACIESP. **Glossário de ecologia**. 2. ed. São Paulo: FAPESP. Secretaria de Ciência e Tecnologia, 1997. 352p.
- AIDE, T. M. et al. Forest recovery in abandoned tropical pastures in Puerto Rico. **Forest Ecology and Management**, v. 77, n. 1-3, p. 77-86, 1995.
- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER M. Efeitos da integração lavoura - pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 25, p.717-723, 2001.
- ALBUQUERQUE, J. A; ARGENTON, J.; BAYER, C. Relationship of soil attributes with aggregate stability of a hapludox under distinct tillage systems and summer cover crops. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 29, n. 3, p. 415-424. Mai/Jun. 2005.
- ALVARENGA, R. C. et al. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 319-326, 1996.
- ALVARENGA, M. I. N. **Avaliação das propriedades físicas, químicas e biológicas de um latossolo vermelho amarelo-escuro sob diferentes usos**. 1996. Dissertação (Mestrado). UFLA, Lavras, 1996.
- ANDERSON, J. M., FLANAGAN, P. W. Biological processes regulating organic matter dynamics in tropical soils. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: NifTal Project, 1989. p.97-123.
- ANDRADE, R. P. Tecnologia de produção de sementes do gênero *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 49-71.
- ANDRIOTT, J. L. S. **Introdução à geoestatística linear**. Porto Alegre: Companhia de Pesquisas Minerais, 1998. 99p.
- ANJOS, J. T. et al. Propriedades físicas em solos sob diferentes uso e manejo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 139-145, 1994.
- ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 337-345. mar/abr. 2004.
- ARCHER, J. R.; SMITH P. D. The relation between bulk density available water capacity, and air capacity of soils. **Journal of Soil Science**, London, v. 23, n. 4, p.475-480, 1972.
- ASCE. Review of geostatistics in geohydrology. I: basics concepts. **Journal of Hydraulic Engineering**, New York, v. 116, n. 5, p. 612-632, 1990.

AZEVEDO, E. C. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso**. 2004. 132f. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Campinas, 2004.

BAILEY, J. S. et al. Use of precision agriculture technology to investigate spatial variability in nitrogen yields in cut grassland. **Chemosphere**, v. 42, p. 131-140, 2001.

BALASTREIRE, L. A. **Agricultura de precisão**. Piracicaba: L. A. BALASTREIRE, 1998. 72p.

BELTRAME, L.F.C. et al. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 5, p. 145-149, 1981.

BERALDO, G. M. J. **Variabilidade espacial de atributos do solo e da produtividade**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual paulista “Julio de Mesquita Filho”- UNESP. Jaboticabal, 2004.

BERTONI, J. Conservação do solo em pastagens. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PASTAGENS, 9, 1965, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Secretaria de Agricultura, 1966. p. 583-586.

BHATTI, A. U.; MULLA, D. J.; FRAZIER, B. E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. **Rem. Sens. Envir**, St. Paul, v. 37, p.181-191, 1991.

BORGES, E. N. **Efeito de doses de gesso + massa seca decrotalária e de níveis de compactação em atributos físicos de um latossolo vermelho-escuro**. 1995. 136 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1995.

BORGES, E. N. et al. Mistura de gesso e matéria orgânica alterando atributos físicos de um latossolo com compactação simulada. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 21, p. 125 – 130, 1997.

BRAGA, L. P. V. **Geoestatística e aplicações**. Mini-curso do 9º Simpósio Brasileiro de Probabilidades e Estatística. São Paulo: IME, USP, 1990. 36p.

BURROWS, W. H. Sustaining productive pastures in the tropics. An ecological perspective. **Tropical Grasslands**, v. 25, p.153-158, 1995.

BUSSCHER, W. J. et al. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil Tillage Res.**, Amsterdam, v.43, p. 205-217, 1997.

CAMARGO, A. O. de, SANTOS, G. A. de; GERRA, J. G. M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed). **Fundamentosw da matéria orgânica do solo em ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 49p.

CAMARGO, E. C. G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigeagem) no sistema de processamento de**

informações georreferenciadas (Spring). 1997. 123f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1997.

CAMPOS, B. C. et al. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 19, p. 121-126, 1995.

CAMPOS, C. E. B. et al. Indicadores de campo para solos hidromórficos na região de Viçosa (MG). **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1057-1066. Nov./Dez. 2003.

CANTARUTTI, R. B. **Dinâmica de nitrogênio em pastagens de *Brachiaria humidicola* em monocultivo e consorciada com *Desmodium ovalifolium* Cv. Itabela no sul da Bahia**. 1996. 83f. Tese (Doutorado em Ciência do solo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

CARVALHO JÚNIOR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, na região dos cerrados. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 22, p. 505-514, 1998.

CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M. Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesq. Agropec. Bras**, Brasília, v.34, n. 2, p.257-265, 1999.

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

CARVALHO, M. P., TAKEDA, E. Y. e FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 695-703, jul./ago. 2003.

CASTRIGNANO, A. et al. Study of spatial relationships among soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. **Geoderma**, v. 97, n. 1/2, p. 39-60, 2000.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparos das amostras. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeitos de forma de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 254-258, 2001.

CHANASYK, D.S.; NAETH, M.A. Grazing impacts on bulk density and soil strength in the foothills fescue grasslands of Alberta, Canada. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 24, n. 2, p. 551-557, 1995.

CHEN, J.; HOPMANS, J. W.; FOGG, G. E. Sampling design for soil moisture measurements in large field trials. **Soil Science**, v. 159, n. 3, p. 155-161, 1995.

CLARK, D. B. Los fatores edáficos y la distribución de las plantas. In: GUARIGUATTA, M. R.; KATTAN, G. H. **Ecología y conservación de bosques neotropicales**. Cartago: Ediciones LUR, 2002. p. 192- 221.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5a Aproximação**. Viçosa, 1999. 359p.

CORREA, J. C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo da Amazônia central. **Pesq. agropec. bras**, Brasília, v. 30, n.1, p. 107-114, jan. 1995.

COSTA, G. S. et al. Reabilitação do fluxo de nutrientes pela deposição da serapilheira de leguminosas arbóreas em uma área com subsolo exposto em recuperação em analogia a uma capoeira. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. de. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: SOBRADE/UFV, 2000. p. 112-113.

DAVIS, J. G. et al. Variability of soil chemical properties in two sandy dunal soils of Niger. **Soil Science**, v. 159, n. 5, p. 321-330, 1995.

DE BOER, W.; KOWALCHUK, G. A. Nitrification in acid soils: micro-organisms and mechanisms. **Soil Biol. Biochem.**, 33, p. 853-866, 2001.

DEFOSSEZ, P.; RICHARD, G. Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. **Soil and Tillage Research**, v. 67, p. 41-64, 2002.

DIAS FILHO, M. B. Competição e sucessão vegetal em pastagens. In: PEREIRA, O. G.; OBEID.J. A.; FONSECA, D. M. de; NASCIMENTO JUNIOR, D. do. (Ed). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DE PASTAGEM, 2., 2004, Viçosa. **Anais...** Viçosa: 2004. p.251-287.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas / UFV / Departamento de Solos, 1998. p. 1-7.

DOURADO NETO, D. **Variabilidade espacial das alturas de chuva e irrigação e de potenciais da solução do solo**. 1989. 180p. Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. Brasília: EMBRAPA, CNPS, 1999. 412p.

ESPÍRITO SANTO. (Estado). SECRETARIA DE AGRICULTURA. **Rumos da agricultura capixaba: plano de ação 2000-2003**. Vitória, 1999. 72p.

FASSBENDER, H. W. **Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina**. San José, Costa Rica: IICA, 1984. 422 p.

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, 79, p. 69-116, 1997.

FERNANDES, B. et al. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição de poros em dois solos ("Typic Argiaquoll" e "typic Haplu-dalf"). **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 161-166, 1983.

FERREIRA, M. M. **Física do solo**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 63p.

FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **Glossário de ciência do solo**. Viçosa: UFV/DPS, 1992. 142p.

FREITAS, P. L. de. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LANDERS, J. N. **Fascículo de experiências de plantio direto no cerrado**. Goiânia: Associação de Plantio Direto no Cerrado, 1994. p.199 – 213.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1995.

GOERING, C. E. Recycling a concept. **Agricultural Engineering**, v.74, p.25, 1993.

GONTIJO, I. **Avaliação de atributos físicos em solos de cerrado sob cafeicultura em dois sistemas de manejo de plantas espontâneas, utilizando testes de hipóteses e geoestatística**. 2003. 86f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2003.

GRAPEGGIA JÚNIOR, G.; AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B; Diferentes sistemas conservacionistas de manejo e sua influência nos teores de carbono orgânico e na CTC dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000, Ilheus. **Anais...Ilhéus**, SBCS, 2000. 1036 p. p. 761-762.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 76p.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo em um Latossolo Roxo**. 1993. 135f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas – Unicamp. Campinas, 1993.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. 2000. 92f. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Campinas, 2000.

GUPTA, S. C.; ALLMARAS, R. R. Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. **Advances in Soil Sciences**, New York, v. 6, p. 65-100, 1987.

HARRIS, R. F., G. CHESTER; O. N. ALLEN. Dynamics of soil aggregation. **Adv. Agron.**,18, p.107- 160, 1965.

HOAGLIN, D. C.; MOSTELLER, F.; TYKEY, J. W. **Análise exploratória de dados: técnicas robustas, um guia.** Lisboa: Salamandra, 1983. 446p.

HOLL, D. K.; KAPPELLE, M. Tropical forest recovery and restoration. **Trends in Ecology and Evolution**, v.14, n. 10, p. 378-379, 1999.

HOLT, J. A.; BRISTOW, K. L.; McIVOR, J. G. The effects of grazing pressure on soil animals and hydraulic properties of two soils in semi-arid tropical Queensland. **Journal Soil Resources**, v. 34, p. 69-79. 1996.

HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactability and compressibility. In: SOANE, B. D.; VAN OUWERKERK, C. (Ed.). **Soil compaction in crop production.** Amsterdam: Elsevier, 1994. p.45-69.

HU, S. et al. Labile soil carbon pools in subtropical forest and agricultural ecosystems as influenced by management practices and vegetation types. **Agric. Ecosys. Environ.**, 65, p. 69-78, 1997.

HUMPHREYS, L. R. **Tropical forages: their role in sustainable agriculture.** London: Longman Scientific e Technical, 1994. 414p.

IMHOFF, S. et al. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 25, p.11-18, 2001.

IMHOFF, S. C; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesq. Agropec. Brás.**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000.

IMHOFF, S. C. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de latossolos e argissolos vermelhos.** 2002. 94f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2002.

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

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agric. Ecosys. Environ.**, v. 79, p.9-19, 2000.

JAKOB, A. A. E. **Estudo da correlação entre mapas de variabilidade de propriedades do solo e mapas de produtividade para fins de agricultura de precisão.** 1999. 145f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual e Campinas – Unicamp. Campinas, 1999.

JORGE, J. A. **Física e manejo de solos tropicais.** Campinas: Instituto Campineiro de ensino Agrícola, 1985. 328p.

JOURNEL, A. G. **Fundamentals of geostatistics in five lessons.** California: Stanford Center for Reservoir Forecasting Applied Earth Sciences Department, 1988.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. Mining geostatistics. London: Academic Press, 1978. 600p.

KIEHL, E. J. **Manual da edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A.P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, v.18, p.45-54, 1998.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão**: fundamentos e aplicações. Guaíba: Agropecuária, 2001. 118p.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: UNESP, 1998. 226p.

LANI, J. L. **Estratificação de ambientes na Bacia do Rio Itapemirim, no sul do Estado do Espírito Santo**. 1987. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1987.

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C. Estimating critical stress in unsaturated soils from changes in pore water pressure during confined compression. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 6, p. 1127-1132, 1980.

LEITÃO-FILHO, H. F. A flora arbórea da Serra do Japi. In: MORELLATO, L. P. C. **História natural da Serra do Japi**: ecologia e preservação de uma área florestal no sudeste do Brasil. Campinas: EDUNICAMP, 1992. p. 40-62.

LEITE, J. A. **Influência dos sistemas de manejo sobre os atributos físicos e físico-hídricos de um Latossolo Amarelo (Typic Haplortox)**. 1996. 37 f. Tese (Livre-Docência em Manejo e Conservação do Solo e da Água) - Universidade do Amazonas, Manaus, 1996.

LEITE, J. A.; MEDINA, B. F. Efeito de sistemas de manejo sobre as propriedades físicas de um Latossolo Amarelo do Amazonas. **Pesq. Agropec. Bras**, Brasília, v. 19, n. 11, p. 1417-1422, 1984.

LERINK, P. Prediction of the immediate effects of traffic on field soil qualities. **Soil and Tillage Research**, v. 16, p. 153-166, 1990.

LEVY, G. J.; EISENBERG, H.; SHAINBERG, I. Clay dispersion as related to soil properties and water permeability. **Soil Science**, Baltimore, v. 155, p. 15-22, 1993.

LIBARDI, P. L. et al. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 1-12, 1996.

LIBARDI, P. L. et al. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 10, n. 2, p. 85-90, 1986.

LONGO, R. M. **Modificações nas propriedades do solo decorrentes da introdução de pastagens no cerrado (Goiânia-GO) e na floresta amazônica (Porto Velho - RO)**. 1999. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

LUGO, A. E.; PARROTTA, J. A; BROWN, S. Loss in species caused by tropical deforestation and their recovery through management. **Ambio**, v. 22, n. 2-3, p. 106-9. 1993.

MACHADO, R. V. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em uma hidroseqüência de solos bem a muito mal drenados**. 1994. 88f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1994.

MAGALHÃES R. T de; KLIEMANN, H. J. de; OLIVEIRA , I. P. de. Evolução das propriedades físicas de solos submetidos ao manejo do sistema barreira, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, v. 31, p. 7-13, 2001.

MALEUX, J. O controle dos desmatamentos dos recursos florestais tropicais: uso de sensoriamento remoto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993. **Anais...**Curitiba, 1993. p. 254-259.

MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 13, n. 147, p. 52-55, 1987.

MATHERON, G. The theory of regionalized variables and its application. **Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique**, Fas. 5. C.G. Fontainebleau. 1971. 211p.

MELO, V. F.; SILVA, J. R. C.; Propriedades físicas de um Latossolo Amarelo álico, em áreas sob cultivo e vegetação natural de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995. Viçosa. **Anais...**Viçosa, UFV, 1995. v. 3, p. 1890 – 1892.

MERCANTE, E., URIBE-OPAZO, M. A. e SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 27, no. 6, p. 1149-1159. nov./dez. 2003.

MIRANDA, J. **Caracterização de solução do solo e das propriedades físicas e químicas de um latossolo vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais**. 1993. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

MIZRAHI A.; PRADO, J. M. R.; JIMENEZ-OSORNIO, J. Composition, structure, and management potential of secondary dry tropical vegetation in two abandoned henequen plantations of Yucatan, Mexico. **Forest. Ecol. Mana.**, v. 96, n. 3, p. 273-282, 1997.

MONTEIRO, F. A.; WERNER, J. C. Reciclagem de nutrientes nas pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1997. **Anais...**Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luis de Queiroz”, 1997. p. 55-84.

MORAES, A.; LUSTOSA, S. B. C. Efeito do animal sobre as características do solo e a produção da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS. MARINGÁ, 1997. **Anais...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 1997. p.129-149.

MULLA, D. J.; BHATTI, A. U.; KUNKEL, R. Methods for removing spatial variability from field research trials. **Adv. Soil Sci.**, New York, v. 13, p.201-213, 1990.

MULLER, M. M. L. et al. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesq. Agropec. Bras**, v. 36, n. 11, p. 1409-1418, 2001.

MURPHY, W. M. et al. Cattle and sheep grazing effects on soil organisms, fertility and compaction in a smooth-stalked meadow grass dominant white clover sward. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 50, p.191-194, 1995.

NIE, Z. N.; WARD, G. N.; MICHAEL, A. T. Impact of pugging by dairy cows on pastures and indicators of pugging damage to pasture soil on south – western Victoria. **Australian Journal Agricultural of Soil Research**, v. 52, p. 37-43, 2001.

NOLLA, D. **Erosão do solo**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Divulgação e Informação Rural, 1982. 412p.

ORTIZ, J. L. **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo**. 2003. 205f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

OVALLES, F.A.; COLLINS, M.E. Variability of Northwest Florida soils by principal component analysis. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 52, p. 1430-1435. 1988.

PANNATIER, Y. **Variowin**: software for spatial data analysis in 2D. New York: Springer-Verlag, 1996. 90p.

PASCARELLA, J. B. et al. Land-use history and forest regeneration in theCayey Mountains, Puerto Rico. **Ecosystems**. v. 3, n.3, p. 217-228, 2000 .

PASSOS, R. R. **Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um latossolo vermelho sob duas coberturas vegetais**. 2000. 89f. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, 2000.

PEDREIRA, C. G. S.; MELLO, A. C. L. Cynodon spp. In : PEIXOTO, A . M.; PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C. de; FARIA, V. P. de (Ed.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM: a planta forrageira no sistema de produção, 17, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2000. p. 109-133.

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

POCACY, V.G. **Relações entre pedoforma e variabilidade espacial de atributos de latossolos sob cultivo intensivo de cana-de-açúcar**. 2000. 177f. Dissertação

(Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2000.

PRADO, R. M.; CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesq. agropec. bras.**, vol.36, n. 1, p.197-203, jan. 2001.

PRADO, R. M.; NATALE, W. Alterações na granulometria, grau de floculação e propriedades químicas e de um Latossolo Vermelho distrófico, sob plantio direto e reflorestamento. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 45-52, 2003.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 1990. 549p.

PROFFITT, A. P. B. et al. The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a Red-Brown earth. **Australian Journal Agricultural of Soil Research**, v. 44, p. 317-331, 1993.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1987. 142p.

RAWLINS, S. Moving from precision to prescription farming: the next plateau. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION FARMING, 3., 1996, Minneapolis. **Proceedings**. Madison: ASA / CSSA / SSSA, 1996. p. 283-294.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445p.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 1-6, 1986.

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

ROBERTS, M.R. & GILLIAM, F.S. Patterns and mechanism of plant diversity in forested ecosystems: implication for forest management. **Ecological Applications**., v. 5, n. 4, p. 969-77. 1995.

ROBERTSON, G. P. GS⁺: Geostatistics for the environmental sciences – GS⁺ User's Guide. Plainwell, **Gamma Design Software**, 1998, 152p.

RODRIGUES, R. R.; NAVE, A. G. Heterogeneidade florística das matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. **Matas ciliares conservação e recuperação**. São Paulo: USP/FAPESP, 2000. p. 45-71.

ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutrófico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 27, n. 5, p. 911-923. set/out. 2003.

SÁ, R. C.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Características físicas e químicas de solos de tabuleiros em Sooretama (ES), **Floresta e Ambiente**. v. 10, n. 2, p. 95 - 99, ago./dez. 2003.

SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. 1996. 91f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba. 1996.

SANCHES, A.C. et al. Impacto do cultivo de citros em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 23:91-99, 1999.

SANCHEZ, P. A. **Suelos del trópico**: características y manejo. San José: IICA, 1981. 634 p.

SARVASI, F. O. C. **Dinâmica da água, erosão hídrica e produtividade das culturas em função do preparo do solo**. 1994. 147f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1994.

SCHERPINSKI, N. I. **Variabilidade de atributos físico-hídricos e do rendimento de grãos de soja em um Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto e convencional**. 2003. 107f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Unioeste, Cascavel, 2003.

SCHUELLER, J. K. A review and integrating analysis of Spatially-Variable Crop Control of crop production. **Fertilizer Research**, v. 33, p. 1-34, 1992.

SEARCY, S. W. Engineering systems for site-specific management: opportunities and limitations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SITE SPECIFIC MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 2., 1994, Minneapolis. **Proceedings**. Madison: ASA / CSSA / SSSA, 1995. p. 44.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p.877-883, 1997.

SILVA, E. A. A. et al. Programa computacional para produção e ajuste de modelos teóricos e semivariogramas experimentais em variáveis regionalizadas – geocac. IN: JORNADA CIENTÍFICA DA UNIOESTE, 2., 2003, Toledo. **Anais...** Toledo: Unioeste, PRPPG, 2003.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 21, p. 113-117, 1997.

SILVA, M. A. S. et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Rural, Santa Maria**, v. 35, n. 3, p. 544-552, mai/jun. 2005.

SILVA, M. S. L.; RIBEIRO, M. R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiro no estado de Alagoas. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.16 p. 397-402, 1992.

SILVA, V. R.; et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico Arênico. Viçosa. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 27, p. 1013-1020, 2003.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho Escuro e de um Podzólico Vermelho Amarelo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 239-249, 2000.

SMITH, C. W.; JOHNSTON, M. A.; LORENTS, S. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. II - Soil properties affecting compactibility and compressibility. **Soil and Tillage Research**, v. 43, n. 3/4, p.335-354, 1997.

SOANE, B. D. Process of soil compaction under vehicular traffic and means of alleviating it. In: LAL, R.; SANCHEZ, P. A.; CUMMINGS, R. W. (Ed.). **Land clearing and development in the tropics**. Rotterdam: Balkema Publ., 1986. p.265-297.

SOUZA, A. R.; SILVA, A. B.; RESENDE, M. Influência da pressão exercida por pisoteio de animais na compactação do solo do Vale Pajeú, em Pernambuco. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO, 12., 1998. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.327.

SOUZA, L. S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. 1992, 162f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Agronomia / UFRGS, Porto Alegre, 1992.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. Maringá: **Acta Scientiarum: Agronomy**. v. 25, n. 1, p.27-34, 2003.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BENTO, M. J. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Amb**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 51-58, 2004.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob semeadura direta em Selvíria, MS. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 699-707, 2001.

SPERA, S. T. **Inter-relações entre propriedades físico-hídricas do solo e a ocorrência de vegetação de mata e campo adjacentes no Alto Rio Grande (MG)**. 1995. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

STEPHENSON, G. R.; VEIGEL, A. Recovery of compacted soil on pastures used for winter cattle feeding. **Journal of Range Management**, v. 40, n. 1, p. 46-48, 1987.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 15, p. 229-235, 1991.

STRICKLAND, T. C. et al. Aggregation and aggregate stability in forest and range soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, p. 829-833, 1988.

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p. 111-119, 1991.

TORMENA, C. A. A compactação do solo em agroecossistemas agrícolas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14, 2002. **Anais...** Viçosa: sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2002 . 4p. Palestra (CD - ROM).

TORMENA, C. A. et al. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 22, p. 573-581, 1998.

TORRADO, P. V. **Relações solo x relevo em Mococa (SP): Influência das características topográficas e posição na vertente nos atributos do solo**. 1989. 205f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: EMBRAPA, 1999. 58p. (Circular Técnica, 23).

TRANGMAR, B. B. et al. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, n. 1, p. 45-94, 1985.

TSEGAYE, T.; HILL, R. L. Intensive tillage effects on spatial variability of soil physical properties. **Soil Science**, v. 163, p.143-154, 1998.

VALERIANO, M. M.; PRADO, H. Técnicas de geoprocessamento e de amostragem para o mapeamento de atributos anisotrópicos do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 25, p. 997-1005, 2001.

VALLE, C. B.; MILES, J. W. Melhoramento de gramíneas do gênero *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 1-24.

VEIHMEYER, F. J., HENDRICKSON, A. H. Soil density and root penetration. **Soil Science**, v. 65, p. 487-493, 1948.

VELOSO, H. P.; GOES FILHO, L. Fitogeografia brasileira, classificação fisionômica ecológica da vegetação neotropical. **Projeto RADAMBRASIL**, Sér. Vegetação, Salvador: 1982, 80 p. (Boletim Técnico, 1) Estrutura e diversidade florística de uma floresta secundária de Oratórios, Zona da Mata de Minas Gerais / Jorge Araújo de Sousa Lima... [et al.]. - Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2003.

VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: **GIS Brasil'98**, Curitiba, PR, 1998, 53 p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In. NOVAES, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; SCHAEFER, C. E G. R. **Tópicos em ciências do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p. 2-54.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 1, p. 1-17, 1997.

VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v.51, n.1, p.1- 75, 1983.

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

VIEIRA, S. R. et al. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M., (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p.1-45.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., (Ed.). **Application of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-324.

WEBSTER, R. Quantitative spacial analysis of soil in the field. In: STEWART, B. A. (Ed.). **Advance in Soil Science**, 1985. v. 3, p.1-70.

WHITE, J. G.; WELCH, R. M.; NORVELL, W. A. Soil zinc map of the USA using geostatistics and geographic information system. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.185-194, 1997.

WILLATT, S. T.; PULLAR, D. M. Changes in soil physical properties under grazed pastures. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.22, n.4, p.343-348, 1983.

YANG, J. I. et al. Microscale pH variability for assessing of phosphoric acid treatment in lead-contaminated soil. **Soil Science**, v. 66, n. 6, p. 374-381, 2001.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

YOUNG, T. P. Restoration ecology and conservation biology. **Biological conservation**, v. 92, n. 1, p. 73 – 83, 2000.