

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**CIÊNCIA DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO**

**Variabilidade Espacial de Atributos Químicos,  
Físicos e Biológicos em Voçoroca Revegetada no  
Município de Pinheiral - RJ**

**Khalil de Menezes Rodrigues**

**2010**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E  
BIOLÓGICOS EM VOÇOROCA REVEGETADA NO MUNICÍPIO DE  
PINHEIRAL - RJ**

**KHALIL DE MENEZES RODRIGUES**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Alexander Silva de Resende**

*e Co-orientação da Pesquisadora*  
**Maria Elizabeth Fernandes Correia**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências** em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2010

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

KHALIL DE MENEZES RODRIGUES

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do solo, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências** em Agronomia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 25 / 02 / 2010

---

Alexander Silva de Resende. D.Sc. Embrapa Agrobiologia  
(Orientador)

---

Marcos Gervasio Pereira. D.Sc. UFRRJ

---

Sidney Rosa Vieira. Ph.D. Instituto Agronômico de Campinas - IAC

**Dedico**

Aos meus avós, Eugênio Ferreira de Menezes e Maria Aparecida Mól  
Aos meus pais, Maria Eugênia Mól de Menezes e Cosme José da Paz Lobato Rodrigues

Aos meus irmãos, Carine Mól de Menezes e Cássio de Menezes Rodrigues

Aos meus sobrinhos, Marcus Vinícius Menezes Portela e Giulia Menezes Portela

Aos meus tios, Napoleão, Luis Carlos e Marcela e primos

A minha esposa Régia Maria Reis Gualter

E as nossas filhas até o momento, Pelanka, Costelinha e Gita

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que sempre esteve ao meu lado.

Aos meus orientadores Alexander Silva de Resende e Maria Elizabeth Fernandes Correia, pela paciência, presteza e grandiosa amizade. Não tenho palavras para dizer o quão importante vocês foram na minha formação. Sempre dispostos a ouvir e ajudar. Deus foi muito bom comigo colocando pessoas como vocês no meu caminho. Tenham certeza que vocês fazem parte da minha jornada e mesmo que distantes fisicamente, sempre estarão ao meu lado e jamais me esquecerei de vocês. Meus sinceros agradecimentos e muito obrigado.

A UFRRJ por ser a legítima universidade pública, gratuita e de qualidade. Serei eternamente grato e sentirei eternas saudades.

À Embrapa Agrobiologia por todo o suporte em todos os momentos da Iniciação Científica e do Mestrado.

Ao Colégio Agrícola Nilo Peçanha (CANP-UFF) pelo suporte para a realização deste trabalho e pelos valiosos ensinamentos no curso técnico em Agropecuária nos anos de 1998 a 2000 e, principalmente, ensinamentos para a vida. Foi neste Colégio que a minha vida começou. Saudades, saudades, saudades...

O meu caderno de anotações com os agradecimentos ficou em Paty do Alferes e estou em Campinas. Desculpem, mas não queria esquecer ninguém. Agradeço muito por você fazer parte da minha viagem, e por mais que nossos assentos não estejam lado a lado, com certeza, o vagão é o mesmo. Muito obrigado

Ao CNPq pela bolsa concedida.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

Khalil de Menezes Rodrigues, filho de Cosme José da Paz Lobato Rodrigues e Maria Eugênia Mól de Menezes, nasceu no dia 1 de fevereiro de 1982 na cidade de Miguel Pereira-RJ. Estudou na Escola Estadual Professora Laudelina Bernardes e na Escola Estadual Vereador Sidney de Mello Freitas, concluindo o ensino fundamental na Escola Estadual Edmundo Peralta Bernardes no ano de 1997 na cidade de Paty do Alferes - RJ. Em 1998 ingressou no Colégio Agrícola Nilo Peçanha-UFF no município de Pinheiral, obtendo o título de técnico em agropecuária no ano de 2000. Em outubro de 2002 ingressou no curso de Agronomia na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e em agosto de 2003 na Embrapa Agrobiologia como bolsista do PIBIC/CNPq no laboratório de Fauna do Solo participando de diversos projetos de pesquisa. Obteve o título de Engenheiro Agrônomo em outubro de 2007. Em março de 2008 iniciou o curso de Mestrado “*Strictu Sensu*” em Agronomia-Ciência do Solo como bolsista do CNPq nesta mesma universidade e desenvolveu o projeto de pesquisa em parceria com a Embrapa Agrobiologia nos laboratórios de Leguminosas Florestais e Fauna do Solo. Submeteu-se à defesa da dissertação em 25 de fevereiro de 2010 para obtenção do título de Mestre em Ciências.

## RESUMO

RODRIGUES, Khalil de Menezes. **Variabilidade espacial de atributos químicos, físicos e biológicos em voçoroca revegetada no município de Pinheiral – RJ. 2010.** 70p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

O objetivo do trabalho foi estudar a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo e a fauna epígea em uma voçoroca revegetada no município de Pinheiral. Na revegetação da voçoroca foram plantadas leguminosas arbóreas inoculadas com bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> específicas e fungos micorrízicos arbusculares (FMA) no ano de 2004. Para a coleta de dados e para permitir a análise geoestatística foi instalada uma grade com espaçamento regular de 5 x 5 m, num total de 92 pontos. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-10 cm e as seguintes variáveis foram analisadas: Al, pH, Ca, Mg, Ca + Mg, P, K, Carbono orgânico, granulometria, umidade gravimétrica e a fauna do solo epígea (usando pitfall). Na análise de dados utilizou-se o programa GEOEST que é um pacote de programas geoestatísticos onde foram construídos semivariogramas para verificar a dependência espacial e a escolha do modelo estatístico por validação cruzada. A análise geoestatística no mapeamento da variabilidade espacial dos atributos químicos, físicos e biológicos em voçorocas mostrou ser uma ferramenta muito útil neste ambiente degradado e na identificação das áreas, podendo manejar o solo com o uso mais eficiente de adubos e corretivos para o plantio de novas mudas. Amostragem de monitoramento ambiental em áreas de voçoroca deve considerar, no mínimo, a posição do relevo em parte interna e externa e a posição do voçorocamento em terço superior, terço médio e terço inferior. A dependência espacial foi observada em todos os atributos químicos e físicos e apenas 11 grupos da fauna do solo dos 31 coletados apresentaram dependência espacial. Amostragem ao acaso em voçorocas pode resultar em interpretação errônea dos dados. A diferenciação dos teores de carbono orgânico encontrados na parte interna e externa da voçoroca deixa clara a dificuldade de se retornar a matéria orgânica do solo após sua perda. Na análise do grau de dependência espacial, a altitude, umidade gravimétrica, areia, silte, Ca+Mg, C<sub>org</sub>, Coleoptera e Poduromorpha apresentaram grau forte. Por outro lado, o teor de argila, pH, Al, Ca, Mg, P, Acari, Entomobryomorpha, Collembola, total da fauna, Hymenoptera, Formicidae, o somatório de outros grupos, índice de Shannon e Isoptera apresentaram grau moderado, enquanto a Riqueza e Diptera mostraram grau fraco.

**Palavras-chave:** Recuperação de áreas degradadas. Semivariograma. Krigagem. Fauna do solo.

## ABSTRACT

RODRIGUES, Khalil de Menezes. **Spatial variability of soil chemical, physical and biological properties in a gully erosion revegetated in the municipality of Pinheiral - RJ.** 2010. 71p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

The objective of this project was to study the spatial variability of soil physical and chemical attributes and soil fauna of a revegetated gully erosion area in Pinheiral municipality, Rio de Janeiro State. The gully area was vegetated using legume trees inoculated with specific N<sub>2</sub>-fixing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in 2004. To take the data and geostatistical analysis a regular grid of 5 x 5 m, with a total of 92 points, was defined. Soil samples were collected at the 0-10 cm depth and the following variables were analyzed: Al, pH, Ca, Mg, Ca+Mg, P, K, organic C, granulometry, soil moisture, and soil fauna (using pitfall traps). The software GEOEST was used for data analysis and definition of semivariograms to verify the spatial dependency and to choose the statistical model, using cross validation. Geostatistical analyses applied in the mapping of the spatial variability of soil chemical, physical and biological attributes of the gully area was a useful tool in the degraded gully to identify the areas, and the soil management for application of lime, fertilizers and planting the tree seedlings. The soil sampling for environmental monitoring of gully erosion areas should consider, at least, the slope position internally and externally in the gully area, dividing it in upper, medium and lower positions. Spatial dependence was observed in all soil chemical and physical attributes, and only 11 of the soil fauna groups out of 31 evaluated presented spatial dependence. The random sampling without considering the range value may result in wrong interpretation of data. The differences in soil organic C between the gully inner and outer sections clearly proves how difficult is to return the soil organic matter to the original levels, one it is lost in the soil. The analysis of data showed that altitude, soil moisture, sand and silt content, Ca+Mg, organic C, amounts of Coleoptera and Poduromorpha, had a strong spatial dependence. On the other hand, clay content, pH, Al, Ca, Mg, P, Acari, Entomobryomorpha, Collembola, fauna total, Hymenoptera, Formicidae, Shannon index, and Isoptera, presented a moderate degree of spatial dependence, and the richness index and Diptera had a weak degree of spatial dependence.

**Key words:** Recovery of degraded areas. Semivariogram. Kriging. Soil fauna.



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Modelo de evolução das voçorocas. I: Voçoroca conectada à rede hidrográfica; II: Voçoroca desconectada da rede hidrográfica; III: Integração entre os dois tipos anteriores. Na figura I a encosta é subdividida em elementos geométricos propostos por RUHE (1974), sendo TS – toeslope (encosta inferior); FS – footslope (meia encosta); BS – backslope (escarpa); SH – shoulder (ombro); SU – summit (topo). Modificado de OLIVEIRA (1999).....	4
<b>Figura 2:</b> Morfologia de sulcos e voçorocas. Retirado de KARMANN (2003). .....	5
<b>Figura 3:</b> Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. Retirado de FRANCO et al. (2003). ..	6
<b>Figura 4:</b> Parâmetros do semivariograma: $C_0$ : efeito pepita; $C_1$ : variância estrutural; $C_0 + C_1$ : patamar; a: alcance. ....	12
<b>Figura 5:</b> Modelos de ajuste de semivariogramas. $C_0$ : efeito pepita; $C_1$ : variância estrutural; a: alcance. ....	12
<b>Figura 6:</b> Localização do município de Pinheiral no estado do Rio de Janeiro. Modificado de de <a href="http://www.ibge.gov.br">www.ibge.gov.br</a> .....	13
<b>Figura 7:</b> Levantamento planialtimétrico da voçoroca estudada em Pinheiral – RJ. ....	14
<b>Figura 8:</b> Vista da voçoroca antes e após a intervenção. Pinheiral- RJ. A) Ano 2005; B) Ano 2009. ....	15
<b>Figura 9:</b> Grade regular dos pontos amostrados. TS: terço superior da voçoroca; TM: terço médio da voçoroca; TI: terço inferior da voçoroca. A área delimitada diferencia o entorno do interior da voçoroca. ....	16
<b>Figura 10:</b> Armadilha do tipo pitfall trap em um dos pontos amostrados. Pinheiral – RJ. ....	17
<b>Figura 11:</b> Semivariogramas experimentais da altitude e atributos físicos do solo. ....	23
<b>Figura 12:</b> Mapas de variabilidade espacial: A) Altitude (m); (B) Areia ( $g\ kg^{-1}$ ).....	25
<b>Figura 13:</b> Mapas de variabilidade espacial: A) Argila ( $g\ kg^{-1}$ ); B) Silte ( $g\ kg^{-1}$ ); C) Umidade gravimétrica ( $g\ kg^{-1}$ ). ....	26
<b>Figura 14:</b> Semivariogramas dos atributos químicos do solo. Al: alumínio ( $cmol_c\ dm^{-3}$ ); pH: potencial hidrogeniônico (1:2,5); Ca: cálcio ( $cmol_c\ dm^{-3}$ ); Mg: magnésio ( $cmol_c\ dm^{-3}$ ); K: potássio ( $mg\ kg^{-1}$ ); $P_{log}$ : logaritmo do fósforo ( $mg\ L^{-1}$ ); $C_{org}$ : carbono orgânico ( $g\ kg^{-1}$ ). ....	31
<b>Figura 15:</b> Mapas de variabilidade espacial: A) Alumínio ( $cmol_c\ dm^{-3}$ ); B) pH (1:2,5). ....	32
<b>Figura 16:</b> Mapas de variabilidade espacial A) Cálcio ( $cmol_c\ dm^{-3}$ ); B) Magnésio ( $cmol_c\ dm^{-3}$ ).....	33
<b>Figura 17:</b> Mapas de variabilidade espacial: Cálcio+Magnésio ( $cmol_c\ dm^{-3}$ ); B) Potássio ( $mg\ kg^{-1}$ ).....	34
<b>Figura 18:</b> Mapas de variabilidade espacial: A) Carbono orgânico (%); B) Fósforo ( $mg\ L^{-1}$ ). ....	35
<b>Figura 19:</b> Semivariogramas dos atributos biológicos do solo. Semivariância de Acari, Entomobryomorpha, Collembola, Total, Diptera, Hymenoptera e Formicidae em $ind\ arm^{-1}\ dia^{-1}$ e riqueza. ....	40
<b>Figura 20:</b> Semivariogramas dos atributos biológicos do solo. Semivariograma de Coleoptera, Poduromorpha, Outros e Isoptera em $ind\ arm^{-1}\ dia^{-1}$ e índice de Shannon. ....	41

<b>Figura 21:</b> Mapas de variabilidade espacial: A) Acari; B) Entomobryomorpha; C) Collembola; D) Total. Valores em ind arm <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> .....	43
<b>Figura 22:</b> Mapas de variabilidade espacial: A) Diptera (ind arm <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ); B) Riqueza; C) Hymenoptera (ind arm <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ); D) Formicidae (ind arm <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ). .....	45
<b>Figura 23:</b> Mapas de variabilidade espacial: A) Coleptera (ind arm <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ); B) Poduromorpha (ind arm <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ); C) Outros (ind arm <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ); D) Índice de Shannon.....	47
<b>Figura 24:</b> Mapa de variabilidade espacial de Isoptera (ind arm <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ).....	48
<b>Figura 25:</b> Biplot do diagrama de ordenação dos parâmetros biológicos do solo em função dos parâmetros químicos, físicos e altitude. pH: potencial hidrogeniônico (1:2,5); Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; P: fósforo ; K: potássio; C <sub>org</sub> : carbono orgânico; Auchenor: Auchenorrhyncha; Coleopte: Coleoptera; Entomobr: Entomobryomorpha; Formicid: Formicidae; Hymenopt: Hymenoptera; Orthopte: Orthoptera; Poduromo: Poduromorpha; Symphypl: Symphypleona; Collemb: Collembola; I. Shann; I. Shannon.....	49

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Quantidade de solo perdido por erosão em função da cobertura vegetal, declividade e classe de solo. Modificado de MARTINS et al. (2003).....	3
<b>Tabela 2:</b> Características da voçoroca estudada em Pinheiral – RJ.....	14
<b>Tabela 3:</b> Estatística descritiva dos atributos físicos do solo e altitude. Pinheiral – RJ.....	21
<b>Tabela 4:</b> Parâmetros da análise semivariográfica dos atributos físicos do solo e altitude. Pinheiral – RJ.....	22
<b>Tabela 5:</b> Estatística descritiva dos atributos químicos do solo. Pinheiral – RJ. ....	28
<b>Tabela 6:</b> Parâmetros da análise semivariográfica dos atributos químicos do solo. Pinheiral – RJ. ....	30
<b>Tabela 7:</b> Estatística descritiva dos atributos biológicos. Pinheiral – RJ. ....	37
<b>Tabela 8:</b> Parâmetros da análise semivariográfica dos atributos biológicos do solo. Pinheiral – RJ. ....	39
<b>Tabela 9:</b> Análise de correlação linear entre os atributos químicos, físicos e altitude.....	51
<b>Tabela 10:</b> Análise de correlação linear da fauna do solo com atributos químicos, físicos e altitude. ....	52
<b>Tabela 11:</b> Análise de correlação linear entre os grupos da fauna do solo, total de indivíduos, riqueza, somatório de outros indivíduos e índice de Shannon.....	53

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>2</b>
2.1	Erosão do Solo.....	2
2.2	A Erosão Como Elemento Poluidor das Águas.....	5
2.3	Uso de Leguminosas Arbóreas na Recuperação de Áreas Degradadas.....	5
2.4	Uso de Indicadores Químicos, Físicos e Biológicos. ....	6
2.4.1	Indicadores químicos: os nutrientes do solo.....	7
2.4.2	Altitude e indicadores físicos: a textura e a umidade do solo. ....	8
2.4.3	Indicadores biológicos: os organismos da fauna do solo. ....	9
2.5	Geoestatística e a Variabilidade Espacial.....	10
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
3.1	Localização e Caracterização na Área de Estudo .....	13
3.2	Amostragem na Área de Estudo .....	15
3.3	Variáveis Analisadas .....	16
3.3.1	Análise da textura do solo .....	16
3.3.2	Umidade gravimétrica .....	17
3.3.3	Análise química do solo .....	17
3.3.4	Coleta e identificação da fauna do solo .....	17
3.3.5	Análise Geoestatística dos dados.....	18
3.3.6	Análise multivariada dos dados.....	19
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>20</b>
4.1	Variabilidade Espacial dos Atributos Físicos do solo .....	20
4.1.1	Estatística descritiva dos atributos físicos e altitude .....	20
4.1.2	Análise da dependência espacial dos atributos físicos e altitude.....	21
4.1.3	Análise dos mapas de variabilidade espacial dos atributos físicos e altitude.....	23
4.2	Variabilidade Espacial dos Atributos Químicos do Solo .....	27
4.2.1	Estatística descritiva dos atributos químicos do solo .....	27
4.2.2	Análise da dependência espacial dos atributos químicos do solo .....	28
4.2.3	Análise dos mapas de variabilidade espacial dos atributos químicos ....	31
4.3	Variabilidade Espacial dos Atributos Biológicos.....	36
4.3.1	Estatística descritiva dos atributos biológicos do solo .....	36
4.3.2	Análise da dependência espacial dos atributos biológicos do solo .....	38
4.3.3	Análise dos mapas de variabilidade espacial dos atributos biológicos do solo.....	41
4.3.4	Análise multivariada e correlação linear. ....	48
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O século XXI é marcado pela preocupação mundial em preservar os recursos naturais, seja pela redução na emissão dos gases de efeito estufa, busca de equipamentos mais eficientes no uso de energia, ampliação de redes de tratamento de esgotos e alternativas de reciclagem de diversos produtos. Na área agrícola não tem sido diferente, pois há um grande esforço de pesquisa voltado à preservação do solo através de práticas de cultivo com menor impacto no ambiente, buscando a diminuição de processos erosivos, a revegetação de áreas degradadas, além de um monitoramento mais eficiente para redução do desmatamento.

Toda essa preocupação é justificada, pois a sobrevivência da sociedade depende dos recursos naturais e torna-se extremamente necessário conhecer formas de menor degradação, reduzindo a poluição e atenuando os impactos ambientais.

Muitas foram as regiões brasileiras impactadas pelo mau uso do solo, se agravando nos séculos XIX e XX. O município de Pinheiral, assim como toda a região do Médio Vale do Paraíba do Sul teve a degradação de suas terras intensificada nesse período. Essa degradação iniciou-se com a exploração de madeira seguida pela cafeicultura e com a sua decadência, deu lugar a pecuária extensiva, presente até os dias atuais (MENEZES, 1999), quando começou os plantios mono específicos de eucalipto. Por essa gama de situações houve forte impacto na fauna e flora locais, causando muitas erosões laminares, em sulcos e voçorocas.

Atualmente, nessa região, concentram-se grande quantidade de voçorocas que provocam perda de solo e nutrientes, assoreamento de rios, redução da recarga do lençol freático além da redução da produtividade agrícola desses solos, causando um impacto na produção de alimentos (MACHADO, 2007).

A Embrapa Agrobiologia através de seu grupo de pesquisas em recuperação de áreas degradadas em parceria com o Colégio Agrícola Nilo Peçanha – UFF (atual Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – *campus* Nilo Peçanha) vem trabalhando com voçorocas nestas áreas e tem alcançado bons resultados na redução de sedimentos carreados para as partes baixas da paisagem desde o ano 2000.

Nestes estudos com voçorocas, podem-se medir e avaliar diversos atributos do solo, da água e da paisagem. Numa área de voçorocamento as amostras coletadas ao acaso não permitem uma adequada avaliação da variabilidade espacial e quando se compara o interior de uma voçoroca com o entorno percebe-se grande diferença. Essas diferenças vão desde o crescimento das espécies vegetais, à quantidade de serrapilheira acumulada, ao teor de água do solo. O ambiente da voçoroca é também muito dinâmico, estando sempre em reconstrução e, nesse sentido, um estudo da variabilidade espacial torna-se necessário, pois permite a mensuração dos atributos e de como variam no espaço.

O objetivo do trabalho foi estudar a variabilidade espacial dos organismos da fauna do solo, parâmetros químicos e físicos do solo em uma voçoroca revegetada no ano de 2005.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Erosão do Solo

A erosão é definida como um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são desprendidos, arrastados e transportados de um ponto a outro pelos agentes erosivos (LAL, 2001). O termo erosão vem do Latim *erodere* que significa corroer.

A erosão hídrica, como as demais formas de erosão, é um processo natural e seus principais fatores são: a intensidade pluviométrica, a topografia, a percentagem e o tipo de cobertura vegetal. A erosão é, contudo, intensificada e acelerada pelas atividades humanas, principalmente através do uso de técnicas e práticas de cultivo inadequadas.

A erosão poderá ocorrer de diversas formas e por diversos fatores. A cobertura vegetal proporcionada pelas árvores em bosque ou sub-bosque tende a reduzir a erosão do solo, pois reduzem a erosividade da precipitação e o volume e a velocidade de escoamento da água. Segundo FAO (1967), o fator erosividade da chuva expressa a capacidade da chuva de causar erosão em uma área sem proteção. A presença de raízes das árvores de bosque ou sub-bosque também diminui a erodibilidade pela melhor estruturação do solo devido ao acúmulo de matéria orgânica. A erodibilidade do solo é a susceptibilidade ou resistência do solo a erosão (BERTOL et al., 2007).

A serrapilheira contribui, juntamente com os diversos compartimentos florestais, para a interceptação das águas da chuva, por meio do amortecimento e conseqüente dispersão da energia cinética das gotas, minimizando assim os efeitos erosivos (BORÉM & RAMOS, 2002). A serrapilheira além de proteger o solo do impacto das gotas da chuva, gera um microclima altamente favorável em que se reduzem as variações de temperatura. Além disso, a permanente cobertura oferece ao sistema uma maior estabilidade, que é um dos fatores chave para o aumento da diversidade biológica (COLINVAUX, 1993). Na Tabela 1 está exemplificada a quantidade de solo perdido num experimento instalado no município de Aracruz-ES.

A erosão causada pela água pode ser de três formas distintas: laminar, em sulcos e voçorocas. A erosão laminar ocorre quando a água da chuva escoar uniformemente pela superfície do solo, onde ocorre a desagregação e o deslocamento do material superficialmente (GALETI, 1973), transportando as partículas sem formar canais definidos. Apesar de ser uma forma mais amena de erosão, a erosão laminar é responsável por grandes prejuízos na atividade agrícola e transporta grande quantidade de sedimentos que vão assorear os rios.

A erosão em sulcos resulta de pequenas irregularidades na declividade do terreno, fazendo com que a enxurrada concentre-se em alguns pontos (LEI et al., 1998). A água se concentra em filetes, que atingem maior volume de fluxo e por isso podem transportar maior quantidade de partículas, formando sulcos no solo.

As voçorocas são vales de erosão onde a remoção de material é tão rápida que não permite o desenvolvimento da vegetação (FIORI & SOARES, 1976). O termo vem do tupi-guarani (yby – terra; sorok - rasgada). De acordo com MACHADO (2007), as voçorocas causam grandes danos, pois carregam nutrientes até as partes baixas e corpos d'água causando o empobrecimento das terras de forma acelerada, promovem o assoreamento dos rios e posterior inundação de casas próximas às margens, além de diminuir a área utilizável para agricultura e pecuária. Para BACELLAR (2000), apesar das voçorocas ocorrerem naturalmente no tempo geológico, grande parte delas resultam de atividades antrópicas mal planejadas.

**Tabela 1:** Quantidade de solo perdido por erosão em função da cobertura vegetal, declividade e classe de solo. Modificado de MARTINS et al. (2003).

Solos	Cobertura	Declividade (%)	Perda de água (mm)	Perda de solo (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
PA1	Eucalipto	1,8	21,68	1,24
	Mata Nativa	8,2	10,46	0,07
	Solo Descoberto	3,6	61,95	2
FX	Eucalipto	1,3	22,22	1,16
	Mata Nativa	12,4	9,09	0,06
	Solo Descoberto	2,4	19,18	0,92
PA8	Eucalipto	28,8	26,42	1,85
	Mata Nativa	35,5	20,26	0,13
	Solo Descoberto	33,2	70,84	18,77

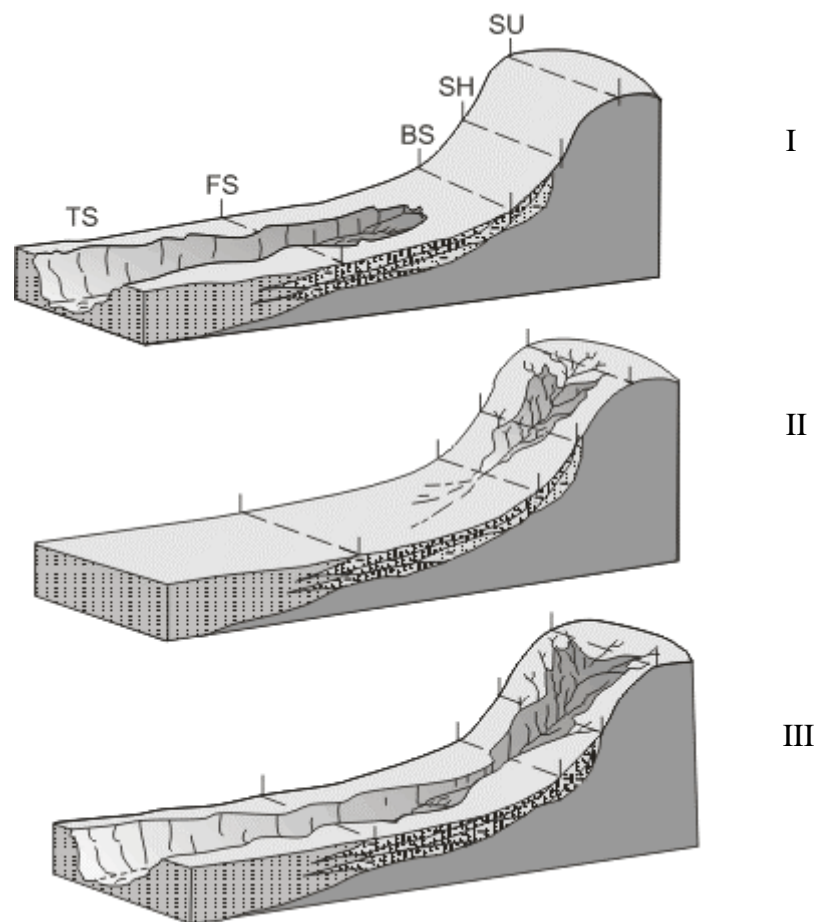
PA1: Argissolo Amarelo (textura média); FX: Plintossolo Háplico; PA8: Argissolo Amarelo (moderadamente rochoso).

A formação de uma voçoroca pode ocorrer por dois processos distintos, o primeiro é através do surgimento de pequenas ravinas e sulcos, evoluindo para tamanhos maiores formando uma voçoroca devido a alterações na retirada da camada vegetal, deixando o solo desprotegido do impacto das gotas de chuva. Neste caso, as voçorocas são formadas pela água proveniente do escoamento superficial. Outro processo é por solifluxão que é a redução do atrito entre as partículas do solo proporcionadas pela saturação do solo, que contribui para a instabilização do material (KARMANN, 2003) e neste caso, pela contribuição do lençol freático. Na Figura 1 está exemplificada a evolução de uma voçoroca.

O relevo do terreno influencia fortemente as perdas de solo e água por erosão hídrica, pois quanto maior a declividade da área, maior será a velocidade do escoamento superficial e menor será a infiltração de água no solo. Este processo acelera o transporte de partículas de solo pela enxurrada que por ação de cisalhamento se concentra em sulcos direcionados no sentido da pendente do terreno, controlando assim a água que é percolada no perfil do solo e dependendo da quantidade de água que acumula nesse perfil, poderá ocorrer a solifluxão, gerando instabilidade do material, formando uma voçoroca. Na Figura 2 está exemplificada a morfologia dos sulcos e voçorocas.

SALOMÃO & IWASA (1995) afirmam que é fundamental conhecer o comportamento das águas de chuva e do lençol freático em coberturas pedológicas ao longo de vertentes para diminuição da erosão. Um perfil de solo que tenha boa infiltração de água, ótimo reservatório de acúmulo de água ou boa drenagem será mais difícil de sofrer o voçorocamento. As características de vegetação, água subterrânea, material de origem do solo, classes de solos e relevo são os principais responsáveis pelo número e tamanho das voçorocas.

CALDERANO FILHO et al. (2009) identificaram o relevo acidentado, práticas agrícolas inadequadas, aliados ao regime de chuva, como fatores que favorecem a formação de voçorocas. FERREIRA (2005) estudando a formação de voçorocas no município de Nazareno-MG perceberam que as voçorocas nos Cambissolos, ocuparam 51,3% da área total, seguido pelos Latossolos Vermelhos-Amarelos, com 29,6% e os Latossolos Vermelhos, que ocuparam 19,1%. MARÇAL & GUERRA (2003) atribuem o solo com predomínio de areia como de grande potencial à erosão. Segundo RIBEIRO & SALOMÃO (2003) as áreas favoráveis à instalação de fenômenos de *piping* são caracterizadas por gradientes hidráulicos subterrâneos elevados, e o nível d'água do lençol freático subflorante, como os de potenciais causadores de voçorocas.

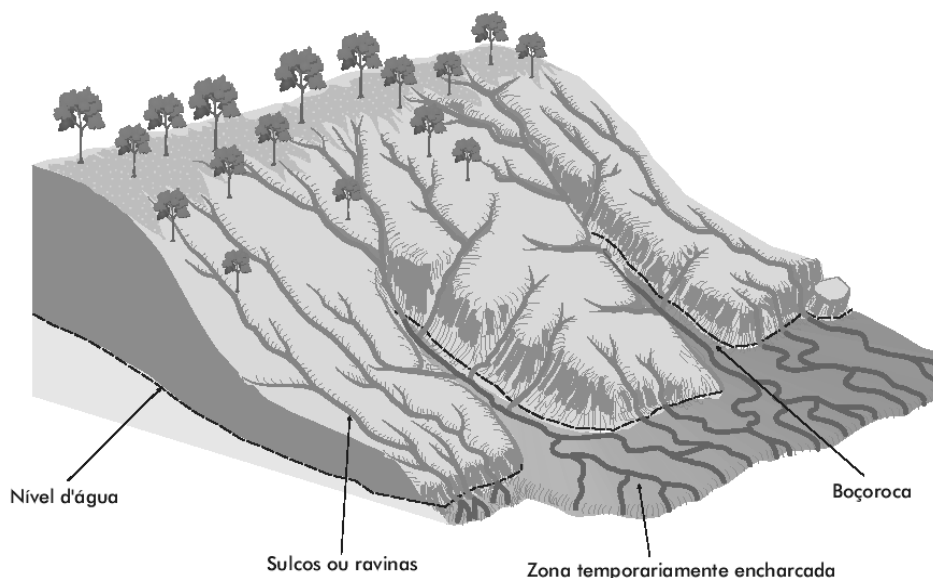


**Figura 1:** Modelo de evolução das voçorocas. I: Voçoroca conectada à rede hidrográfica; II: Voçoroca desconectada da rede hidrográfica; III: Integração entre os dois tipos anteriores. Na figura I a encosta é subdividida em elementos geométricos propostos por RUHE (1974), sendo TS – toeslope (encosta inferior); FS – footslope (meia encosta); BS – backslope (escarpa); SH – shoulder (ombro); SU – summit (topo). Modificado de OLIVEIRA (1999).

Existem diversas conseqüências negativas das erosões, como perda de matéria orgânica e fertilidade dos solos, degradação da estrutura do solo, compactação da superfície do solo, redução da infiltração da água, redução da alimentação dos lençóis freáticos, perda de solo a superfície, remoção de nutrientes, produção de ravinas e sulcos, desenraizamento de plantas, redução da produtividade do solo e poluição das águas. Para ROSSATO et al. (2009) a degradação das terras é freqüentemente induzida por atividade humana.

No contexto da região do Rio Paraíba do Sul, a erosão acelerada vem acontecendo desde que o homem passou a habitá-la. No início ocorreu à exploração de madeira e a conseqüente perda da cobertura vegetal, onde foram implantadas grandes plantações de café que com a sua decadência ocorreu o abandono das áreas sendo substituído então, pelo gado que está presente até os dias atuais (MENEZES, 1999).





**Figura 2:** Morfologia de sulcos e voçorocas. Retirado de KARMANN (2003).

## 2.2 A Erosão Como Elemento Poluidor das Águas

A erosão do solo tem como consequência o assoreamento de rios e lagos próximo às áreas erodidas e deposição de sedimentos na foz de grandes rios, além da contaminação da água com agrotóxicos. O assoreamento dos rios e lagos ocorrem pelo transporte de partículas minerais como argila, silte e areia e material orgânico em suspensão. Numa estação de tratamento de água (ETA), estas partículas devem ser eliminadas pelo processo de tratamento da água, onerando os custos de tratamento.

A erosão hídrica do solo pode se manifestar de modo distinto por se constituir no mais importante meio de transporte dos nutrientes para os mananciais de água (BERTOL et al., 2007) por aumentar a turbidez e a eutrofização das águas. Estas alterações ocorrem devido os sedimentos finos apresentarem alta atividade química e, em geral, são altamente enriquecidos de nutrientes. Na outra vertente, os sedimentos carregados empobrece o solo, sendo de acordo com COGO et al. (2003) uma das formas mais prejudiciais de degradação do solo, uma vez que reduz a capacidade produtiva das culturas.

Segundo STRUJAK & VIDAL (2007) os poluentes, uma vez presentes no solo, podem atingir a água de duas maneiras: se há erosão, os poluentes podem ser transportados junto com as partículas de solo e contaminar as águas superficiais, ou podem ser lixiviados, podendo chegar ao lençol freático e contaminar as águas subterrâneas.

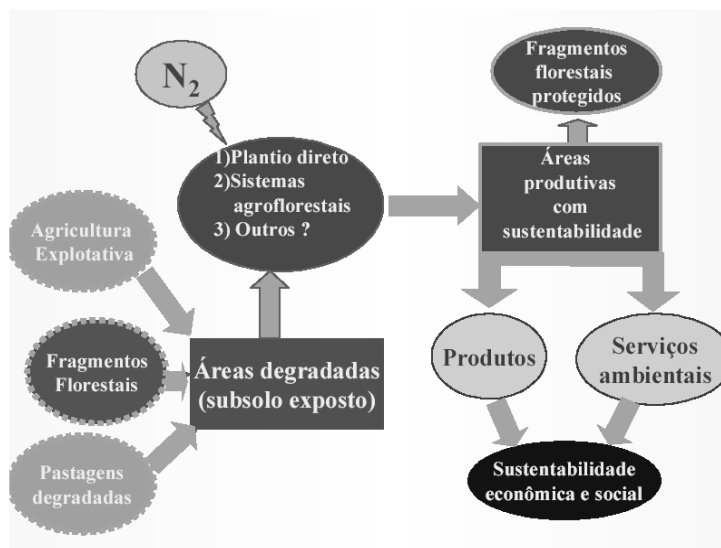
## 2.3 Uso de Leguminosas Arbóreas na Recuperação de Áreas Degradadas

A recuperação de áreas degradadas por voçorocas sempre foi um grande desafio para pesquisadores e a utilização de leguminosas arbóreas veio para compor esta prática e torná-la mais eficiente. Diversas pesquisas já foram realizadas no Brasil na recuperação de áreas degradadas com leguminosas arbóreas como visto em trabalhos de FRANCO et al. (2004), COSTA et al. (2004) e CHADA et al. (2004) alcançando bons resultados.

A grande vantagem da utilização das leguminosas na recuperação de áreas degradadas é possibilitar o estabelecimento rápido de uma cobertura vegetal, tolerando baixa fertilidade dos solos, crescendo em condições adversas. Esta vantagem é proveniente da fixação biológica de nitrogênio (FBN) resultante da simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio,

inoculadas nas sementes. Para FRANCO et al. (1995), o uso de leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas na revegetação de áreas degradadas possibilita a melhoria do solo pela adição de matéria orgânica com mínimo de investimento financeiro. Observa-se na Figura 3 a importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas.

De acordo com FARIA et al. (1998), algumas espécies de leguminosas que se associam a organismos diazotróficos, como bactérias do gênero *Rhizobium*, representam não apenas rusticidade e elevada produção de biomassa que cria uma proteção contra o impacto das gotas de chuva, mas possibilitam uma aceleração na ciclagem de nutrientes devido a relação C/N ser baixa. Para BALIEIRO et al. (2004), a dinâmica da serrapilheira e de seus nutrientes, representada pela entrada via deposição e, saída, via decomposição e mineralização é essencial à manutenção de florestas ou plantios florestais. As principais influências da cobertura florestal na qualidade dos solos, mediante a reciclagem de nutrientes, são o aumento do teor de matéria orgânica e da disponibilidade de nutrientes, a melhoria das propriedades físicas e a otimização da atividade biológica (GAMA-RODRIGUES et al., 1999).



**Figura 3:** Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. Retirado de FRANCO et al. (2003).

SILVEIRA et al. (2007) relatam que a presença do componente arbóreo e da biodiversidade desses sistemas produtivos, contribuem significativamente no aporte de serrapilheira e nutrientes no solo, sendo que o fluxo de nutrientes se dá através de vários compartimentos acumuladores, distintos para cada ecossistema, entre eles, a serrapilheira. Nesse sentido, o uso da cobertura vegetal com espécies arbóreas, sobretudo leguminosas associadas às bactérias fixadoras de  $N_2$  e fungos micorrízicos, constitui uma técnica viável para recuperação e sustentabilidade dos solos das regiões tropicais, pela influência positiva em vários atributos de qualidade do solo (FRANCO, 1996).

#### 2.4 Uso de Indicadores Químicos, Físicos e Biológicos.

Uma das abordagens para avaliação do grau de degradação dos solos é através do uso de indicadores de qualidade do solo. DORAN & PARKIN (1994) definem que qualidade do solo é a capacidade de um solo exercer suas funções dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade das plantas e animais, manter ou

umentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens. De acordo com GREGORICH et al. (1994), a qualidade de um solo é a capacidade ou condição de um solo responder a um determinado uso.

Desta forma, para entender o processo de degradação de um solo e medir o grau de degradação é necessário utilizar os indicadores da qualidade do solo, sejam eles químicos, físicos ou biológicos. DORAN & PARKIN (1994) afirmam que um indicador eficiente deve ser sensível às variações do manejo, bem correlacionado com as funções desempenhadas pelo solo, capaz de elucidar os processos do ecossistema. DORAN & ZEISS (2000) complementam afirmando que os indicadores devem ser compreensíveis e úteis para o agricultor e, de mensuração fácil e de baixo custo. Contudo as ferramentas utilizadas como indicadores de qualidade do solo apresentam custos elevados e estão restritos aos órgãos de pesquisa e normalmente são de difícil interpretação por parte dos agricultores.

Para MENDES et al. (2006), o uso de indicadores é de extrema importância apesar de serem complexos devido a relação entre os fatores existentes. De outra forma, esses indicadores específicos devem ter sensibilidade para medir e avaliar atributos e processos do solo que interfiram na qualidade ambiental (CARVALHO, 2005).

Segundo ISLAM & WEIL (2000) existem três tipos de indicadores:

**Indicadores efêmeros:** Alterações que ocorrem são de curto prazo de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo (umidade do solo, densidade, pH, disponibilidade de nutrientes, etc.);

**Indicadores permanentes:** São próprios do solo (profundidade, camadas restritivas, textura, mineralogia, etc.)

**Indicadores intermediários:** Possuem uma crítica influência na capacidade do solo desempenhar suas funções no ecossistema. São os de maior importância na avaliação da qualidade do solo, com destaque à agregação, atividade microbiana, carbono orgânico ativo e carbono orgânico total.

A principal classificação dos indicadores de qualidade do solo baseia-se em: fatores físicos, químicos e biológicos.

**Fatores físicos:** macroporosidade, porosidade total, microporosidade, densidade do solo, resistência a penetração, condutividade hidráulica do solo, estabilidade de agregados, etc.;

**Fatores químicos:** pH em água, P assimilável, cobre, zinco, alumínio tóxico, capacidade de troca de cátions, soma de bases, matéria orgânica, nitrato, etc.;

**Fatores biológicos:** Fauna do solo, fungos, bactérias, nematóides, etc.;

Os indicadores podem ser avaliados de diversas formas e por diferentes metodologias.

#### 2.4.1 Indicadores químicos: os nutrientes do solo

O solo é resultante dos fatores de formação como clima, relevo, material de origem, organismos e tempo. Estes fatores de formação associados aos processos de formação como adição, perda, translocação e transformação gera muitas diferenças de ordem química no solo. Para ZANETTE et al. (2007) as variações das características de um solo podem ser explicadas pelos processos de formação, pelos tipos de uso e manejo e essa diferença poderá acarretar nos atributos químicos do solo um padrão de distribuição com arranjo espacial.

A matéria orgânica em áreas degradadas é um dos principais atributos do solo para avaliar o grau de degradação. A matéria orgânica está intimamente relacionada com a perda por erosão e é considerada como um dos principais indicadores da sustentabilidade e qualidade ambiental. CORREA (2006) estudando a matéria orgânica como um indicador em sistemas agroflorestais em Paraty- RJ verificou que um estudo de variabilidade espacial seria

necessário, pois percebeu que a variação entre os pontos que amostrou possuía arranjo espacial. MIRANDA et al. (2009) avaliaram a matéria orgânica do solo no Parque Nacional da Tijuca e verificaram que foi influenciada pelo relevo, fator determinante para a diferença espacial entre as áreas. Para SALVIANO (1996), a matéria orgânica é a fração perdida em maior quantidade em um processo erosivo, o que provoca a degradação da estrutura do solo.

Em estudo com voçorocas a posição topográfica influencia os atributos químicos do solo assim como a sua variabilidade espacial, como visto por CORRÊA NETO et al. (2006), que observaram que os teores de Ca, Mg, K e carbono orgânico variaram de acordo com a posição topográfica e encontraram os maiores valores no terço superior da encosta. Esse estudo de atributos químicos do solo em plantio de eucalipto foi realizado em uma topossequência no município de Seropédica. CARVALHO et al. (2002) verificaram que a variabilidade espacial da fertilidade do solo estava atribuída às práticas culturais, pois a mesma apresentou diferença no sentido de realização das práticas. Esse estudo foi realizado em Santo Antônio de Goiás avaliando a variabilidade das características químicas do solo em diferentes preparos do solo.

SILVA et al. (2006) verificaram a variabilidade espacial de atributos químicos do solo em uma fazenda no perímetro irrigado de Petrolina-PE e concluíram que numa amostragem futura as amostras poderiam ser coletadas em maior espaçamento em função do alcance da dependência espacial e delimitou as áreas que deveriam ser realizadas a calagem através dos mapas de variabilidade espacial.

A busca para um método mais eficiente de coleta nas análises químicas em uma voçoroca está sendo proposto e MENDES et al. (2007) dizem que é importante o conhecimento da variabilidade química do solo para definir o melhor procedimento de amostragem no solo.

#### **2.4.2 Altitude e indicadores físicos: a textura e a umidade do solo.**

O uso de atributos físicos do solo para o estudo de sua qualidade apresenta vantagens relacionadas ao baixo custo, metodologias simples e rápidas e relação direta com os demais atributos químicos e biológicos do solo (MENDES et al., 2006).

A caracterização inicial de uma área degradada e as medidas subsequentes podem ser feitas de 2 a 5 anos, porque a alteração da textura se verifica somente quando a erosão acelerada é predominante pois remove seletivamente a argila, deixando as frações mais grosseiras. A textura do solo é um dos atributos mais estáveis no solo, é dependente do material de origem e dos agentes de formação do solo, entretanto a erosão pode promover pequenas variações na camada superficial do solo (VIEIRA et al., 2007). A recuperação das qualidades físicas e químicas do solo é um processo complexo e crucial para a redução dos processos erosivos.

Diversas características avaliadas dos solos podem ter arranjo espacial aleatório ou gregário. A variabilidade é consequência de complexas interações entre fatores e processos de formação do solo (LEÃO et al., 2007). ZANETTE et al. (2007) relatam que as características físicas do solo podem se modificar dependendo das condições de manejo, evoluindo positiva ou negativamente no crescimento de plantas.

De acordo com MARQUES JÚNIOR & LEPSCH (2000) a utilização da altitude, declividade da área e a forma do relevo do solo são excelentes indicadores da existência de variabilidade espacial para variáveis físicas dos solos. Esses autores encontraram relação forte das propriedades dos solos com superfícies geomórficas. Para MIRANDA et al. (2009) a topografia é um fator importante no processo de decomposição, pois controla a variabilidade

espacial da umidade do solo quanto aos locais pela ação gravitacional. MACHADO (1994), que estudou uma topossequência de solos de bem a mal drenados percebeu que a posição topográfica foi um fator primordial para diferenciação dos solos, assim como a influência na drenagem que foi um dos fatores para a variabilidade espacial existente.

Diversos trabalhos associam a topossequência como um dos fatores da variabilidade espacial existente. SOUZA (2001) percebeu que o manejo do solo e a posição da topossequência influenciaram a variabilidade espacial dos teores de areia, silte e argila. Esse mesmo autor estudou a relação do solo com a forma da paisagem e erosão no município de Jaboticabal e verificou que a forma da paisagem pode gerar rotas preferenciais de escoamento superficial afetando as características dos solos.

SIQUEIRA et al. (2008) estudando o armazenamento e a perda diária de água em um experimento em Campinas concluíram que ocorre padrão de similaridade na variabilidade espacial do armazenamento de água e a perda média diária de água pelo solo, ou seja, os locais mais úmidos permanecem mais úmidos.

### **2.4.3 Indicadores biológicos: os organismos da fauna do solo.**

A biota do solo compreende o conjunto de organismos que apresentam uma grande variedade de tamanhos e metabolismos e é responsável por inúmeras funções do solo. A biota pode ser considerada como um indicador da qualidade do solo, através da avaliação dos efeitos decorrentes das mudanças de manejo através de bioindicadores, permitindo que correções no manejo sejam feitas de modo a evitar a deterioração das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. A decomposição ou regulação das populações microbianas, a textura, estrutura e retenção de água no solo são determinados pelos organismos contidos no solo (CORREIA & OLIVEIRA, 2000).

O uso repetido de bioindicadores em programas de monitoramento pode ser útil para detectar mudanças ambientais em uma fase precoce ou avaliar a eficiência das medidas tomadas para melhorar a qualidade ambiental (VAN STRAALLEN, 1998) e são influenciados pelo clima, solo, qualidade e quantidade do recurso vegetal, atividade humana e tipo de manejo do solo (LAVELLE, 1996). Além disso, há evidências crescentes de que a ecologia espacial do solo pode gerar novos conhecimentos para a compreensão dos fatores que mantêm e regulam a biodiversidade do solo, bem como a forma de como a distribuição espacial dos organismos do solo influenciam o crescimento de vegetais (ETTEMA & WARDLE, 2002).

Segundo CORREIA & OLIVEIRA (2000) os organismos da fauna do solo contribuem de forma significativa na ciclagem de nutrientes e respondem diferenciadamente aos diversos tipos de manejo, sendo capazes de responder rapidamente às alterações ambientais. São responsáveis por transformações físicas do ambiente, decomposição e ciclagem de nutrientes e por processos biológicos ocorridos no solo. A fauna do solo epígea, que é aquela que vive na superfície do solo, é responsável pela decomposição da matéria orgânica aportada pela vegetação, respondendo de forma diferenciada à quantidade e qualidade de material vegetal (MATTHEW & ZOU, 2002), principalmente a relação C/N, compostos polifenólicos e lignina. Para WARDLE (1995) a adição de coberturas no solo pode aumentar consideravelmente a infiltração, reduzir a evapotranspiração e a perda de matéria orgânica, além de estimular as comunidades microbianas.

Alterações na densidade e na diversidade da fauna de solo são observadas em ecossistemas que sofreram algum tipo de intervenção na sua cobertura vegetal. Por sua íntima associação com os processos que ocorrem no compartimento serrapilheira-solo e sua grande sensibilidade a interferências no ambiente, a composição da comunidade da fauna de solo

reflete o padrão de funcionamento do ecossistema. Desta forma, mudanças na abundância relativa e diversidade das espécies de invertebrados do solo constituem-se num bom indicador de mudanças no sistema (CURRY & GOOD, 1992).

A variabilidade espacial dos organismos do solo é pouco estudada quando comparados com os atributos químicos e físicos do solo e existem poucos trabalhos a respeito do assunto. Para PAULI et al. (2009), a quantificação dos padrões de distribuição espacial e temporal da fauna do solo é uma área relativamente nova da pesquisa, e tem sido proposto como a chave para entender a grande diversidade típica das comunidades de fauna do solo. Para entender a distribuição espacial dos organismos edáficos, deve-se levar em consideração as escalas espaciais e temporais e o uso do habitat. O significado funcional de adaptações diferentes é essencial para a compreensão da dinâmica populacional da comunidade de invertebrados (VERBERK et al., 2005).

Embora a variabilidade espacial na distribuição dos organismos do solo é geralmente considerada como ruído aleatório, este muitas vezes tem uma variabilidade espacial previsível estrutura (ETTEMA & WARDLE, 2002) e, amostragens sem considerar esta variabilidade são equivocadas e errôneas. De acordo com SAVIN et al. (2008), a distribuição espacial dos animais do solo não é apenas uma característica importante de seu habitat, mas também um parâmetro que afeta a avaliação de sua abundância e biomassa e, conseqüentemente a sua importância no ecossistema. Estudos de variabilidade espacial da fauna do solo buscam correlações dos atributos químicos e físicos do solo com os biológicos, procurando entender as interações existentes. Para GONGALSKY et al. (2008) parâmetros do solo foram mais importantes para explicar as fronteiras entre as comunidades de artrópodes edáficos e comunidades vegetais numa floresta.

Outros trabalhos procuram entender a distribuição espacial dos organismos edáficos em diferentes fases vegetativas das culturas como o trabalho de WANG et al. (2008), que verificaram que foi diferente o padrão de distribuição espacial de populações da aranha em campos de arroz durante diferentes estádios de desenvolvimento da planta. No desenvolvimento inicial da cultura o padrão de distribuição das aranhas foi agregativo, aleatória e agregadora e no desenvolvimento tardio, o padrão de distribuição espacial foi uniforme, agregativo e uniforme.

PAULI (2008) observou variação significativa no tipo de solo e topografia na área estudada e, estava relacionada com os padrões de distribuição de pelo menos um táxon de grande importância da macrofauna do solo. A atividade de minhocas foi maior em áreas de solo fértil, nas posições mais baixas da paisagem. Em uma escala mais fina, houve uma correlação positiva entre a distribuição espacial de árvores e húmus de minhoca.

MARGERIE et al. (2001) caracterizando a distribuição espacial de espécies de minhoca numa encosta calcária na Alta Normandia, França, identificaram a estrutura espacial, caracterizando-se por um conjunto de espécies não associadas ao tipo de vegetação existente. NUUTINEN et al. (1998) estudando a população de minhocas em campo de trevo perceberam que era difícil modelar a continuidade espacial de forma satisfatória, porque grande parte da variação era em pequena escala e não era capturada pelo espaçamento amostral.

## **2.5 Geoestatística e a Variabilidade Espacial**

A geoestatística é uma ferramenta que permite detectar ou não a existência de variabilidade e distribuição espacial das medidas estudadas e constitui importante ferramenta na análise detalhada em estudos físicos, químicos e biológicos do solo (VIEIRA, 2000; VIEIRA et al., 2002.) Para LOUREIRO (2008) a geoestatística é uma ferramenta aplicada ao estudo da variabilidade espacial de propriedades do solo e/ou dados biológicos, utilizando

métodos que possibilitam a construção de mapas de contornos, conhecidos também como isolinhas com alta precisão, oferecendo com isso menor erro aleatório. É uma abordagem probabilística de modelagem, que engloba um conjunto de métodos estatísticos para a análise e mapeamento de dados distribuídos no espaço e/ou no tempo.

A formação dos solos não é homogênea, nem ao longo do tempo nem no espaço. Sendo assim, muitas características dos solos não variam ao acaso e apresentam dependência espacial e/ou temporal (BERNER et al., 2007). Essa dependência espacial deverá ser analisada de forma diferente da estatística clássica proposta por Fischer (1956). Uma alternativa para a análise de dependência espacial é a geoestatística (VIEIRA, 2000).

A estatística clássica, proposta por FISCHER (1956) é baseada na aleatoriedade do erro nas amostras coletadas e a casualização e repetição. A avaliação dos dados dá-se pela análise de variância (ANOVA) utilizando testes paramétricos e o teste F de Fischer que poderá diferenciar ou não os tratamentos avaliados (VIEIRA, 2000). Para utilizar a estatística proposta por Fischer existem alguns pressupostos que são: as amostras devem ser independentes; as amostras devem ser aleatória simples; a população deve possuir distribuição normal e as variâncias devem ser homogêneas. Já a geoestatística baseia-se numa função aleatória contínua estacionária (SIQUEIRA et al., 2008)

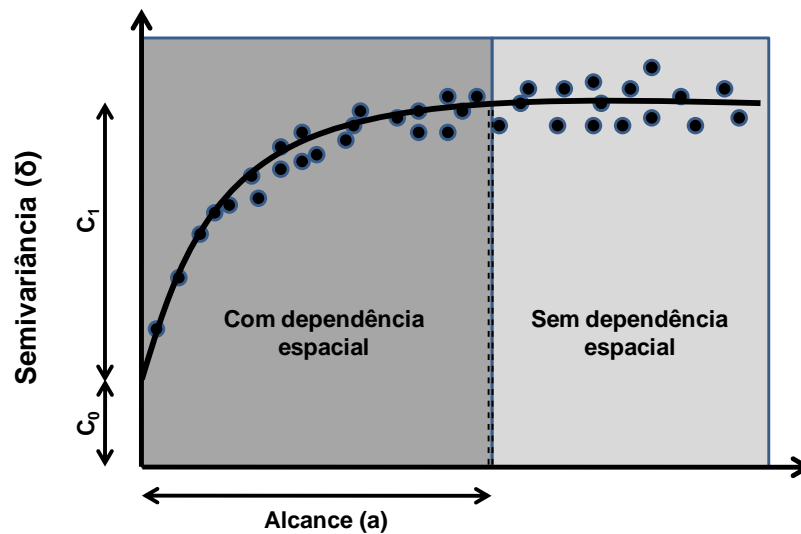
Muitos autores relatam que nem sempre a variabilidade de atributos do solo é ao acaso, alguns atributos possuem dependência espacial e devem ser analisados de modo diferenciado como proposto por VIEIRA (2000). A geoestatística assume que a diferença entre os valores de uma propriedade do solo pode ser expressa em função da distância de separação entre elas (VIEIRA et al., 1981).

Um dos primeiros trabalhos na área de geoestatística surgiu na década de 50 quando o sul-africano KRIGE (1951) começou a estudar a variabilidade espacial de concentração de ouro em minas e percebeu que deveria levar em consideração a distância entre os pontos de amostragem e para isso, MATHERON (1963) criou um método de interpolação de dados conhecido como krigagem, muito utilizada nos trabalhos de dependência espacial. De acordo com VIEIRA et al. (2002), MATHERON (1963) elaborou um estudo criando as variáveis regionalizadas onde propôs a construção de um semivariograma para definir se a variável estudada possuía dependência espacial. Para definir se a variável estudada possui dependência espacial utiliza-se o cálculo e parâmetros do semivariograma (Figura 4) que são usados para modelar o caminho no qual dois valores de uma mesma variável estão correlacionados no espaço. De acordo com VIEIRA (2000) o semivariograma é composto pelo efeito pepita, alcance e patamar:

**Efeito Pepita ( $C_0$ ):** Corresponde à cota do ponto onde o variograma corta o eixo das ordenadas, evidenciando uma descontinuidade na origem do gráfico.

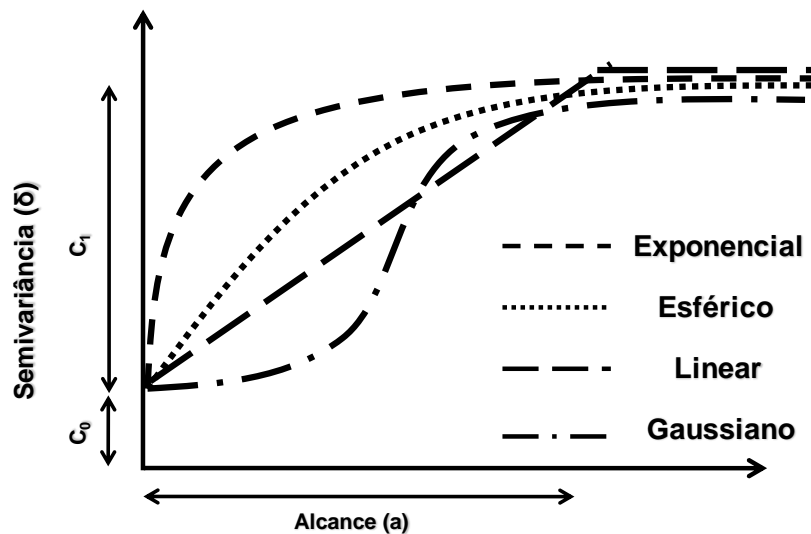
**Alcance ( $a$ ):** Distância entre pares de variáveis a partir da qual os mesmos tornam-se independentes;

**Patamar ( $C_0+C_1$ ):** Nível de variabilidade que indica que não existe mais correlação entre as amostras.



**Figura 4:** Parâmetros do semivariograma:  $C_0$ : efeito pepita;  $C_1$ : variância estrutural;  $C_0 + C_1$ : patamar;  $a$ : alcance.

Na validação do semivariograma são usados modelos estatísticos como gaussiano, esférico, exponencial ou linear, dependendo da forma de variabilidade dos dados (Figura 5). SIQUEIRA et al. (2008) afirmam que é importante o conhecimento do comportamento espacial ou temporal da variável em estudo para se escolher o modelo matemático adequado.



**Figura 5:** Modelos de ajuste de semivariogramas.  $C_0$ : efeito pepita;  $C_1$ : variância estrutural;  $a$ : alcance.

O estudo geoestatístico de indicadores do solo é de importância para definir as áreas espacialmente diferentes. Segundo o relato de SOUZA et al. (2004) a análise de dados obtidos em condições de campo tem apresentado dificuldade nas diversas áreas da ciência, devido a amostragem ser realizada com casualização e repetição, onde deveria ser avaliada a variabilidade espacial.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e Caracterização na Área de Estudo

O estudo foi realizado no município de Pinheiral que está localizado entre as latitudes 22°30'S e 22°38'S e as longitudes 43°57'W e 44°05'W, na região do Médio Vale do Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro (Figura 6). Possui uma área de 77 km<sup>2</sup> e tem como limítrofe territorial os municípios de Volta Redonda (a oeste), Barra do Pirai (ao norte) e Pirai (a sul e oeste).

A região apresenta relevo denominado por “mar de morros” com a altitude variando entre 360 e 720 metros. O clima é classificado como tropical de altitude, de inverno seco e verão chuvoso, tipo Cwa, segundo a classificação de KÖPPEN-GEIGER (1936). A temperatura média máxima é de 30,9°C em janeiro e a média mínima de 16,8°C em julho. A média anual encontra-se entorno de 22°C. A precipitação varia entre 1300 a 1500 mm ano<sup>-1</sup>, com excedente hídrico de 100 a 150 mm mensais de dezembro a março, sendo verificada deficiência hídrica de julho a setembro (TOLEDO et al., 2002).



**Figura 6:** Localização do município de Pinheiral no estado do Rio de Janeiro. Modificado de [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

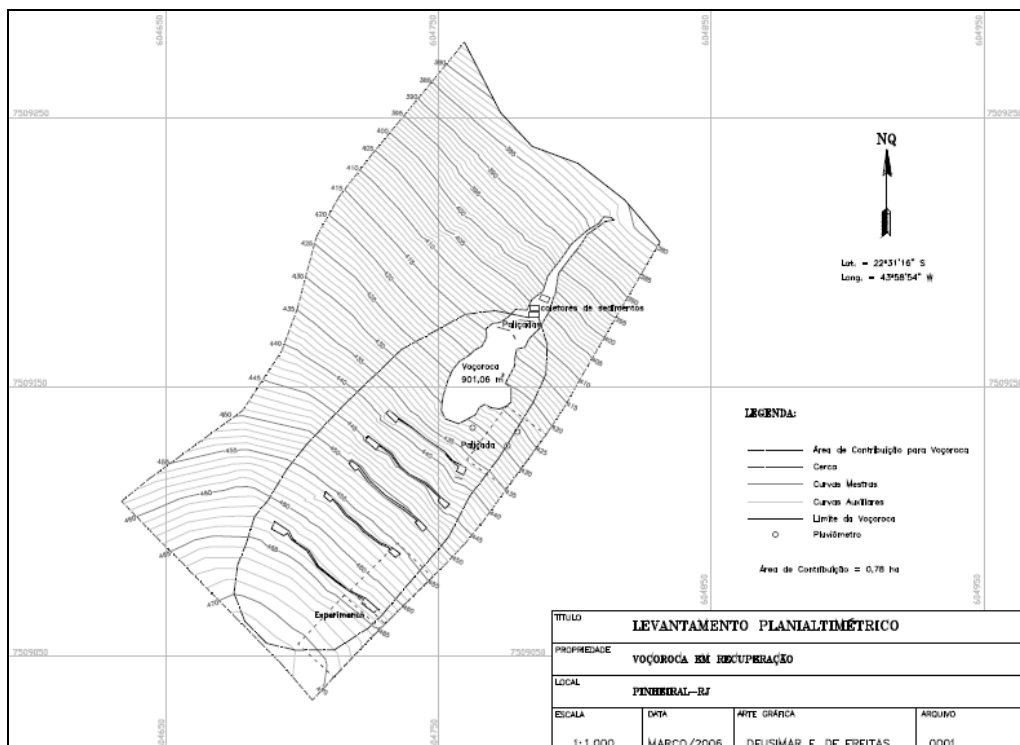
O estudo foi conduzido em uma voçoroca que foi revegetada em novembro de 2004 e localiza-se próximo ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFRJ), Campus Nilo Peçanha, no município de Pinheiral. A voçoroca localiza-se na antiga Fazenda Santa Bárbara, no bairro Vila Verde, e a revegetação teve como foco principal a melhoria da qualidade de vida dos moradores próximos à área, pois a cada chuva a água e partículas em suspensão invadem as suas residências. Na voçoroca foram utilizadas práticas físicas de contenção de encostas com bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) e pneus utilizados como paliçadas para funcionarem como uma barreira física de contenção de lama e diminuir a velocidade de escoamento da água de precipitação. Outra prática física utilizada foi o ordenamento da água através de terraços construídos na parte superior da voçoroca com

bacias de captação de água. Na Tabela 2 encontram-se as características da voçoroca estudada e na Figura 7 o levantamento planialtimétrico da voçoroca com os terraços.

**Tabela 2:** Características da voçoroca estudada em Pinheiral – RJ.

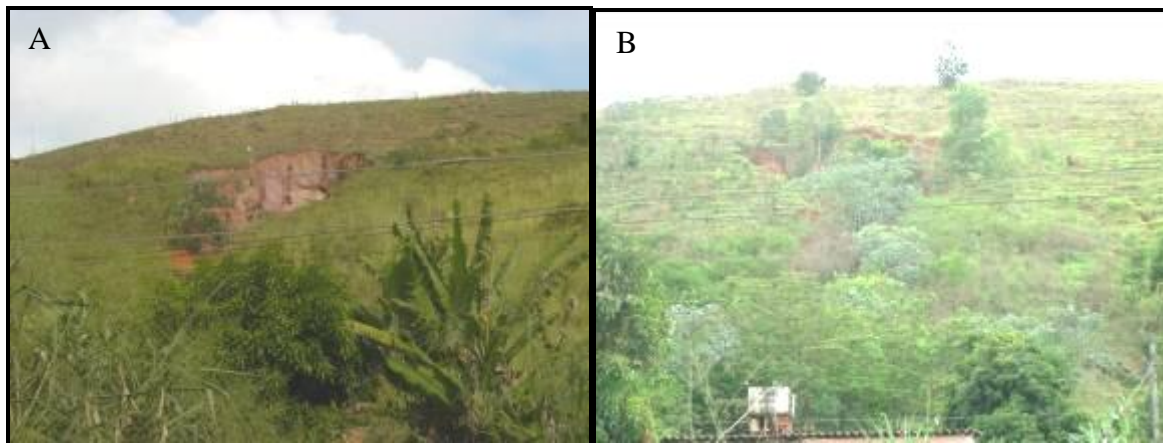
Atributos	Unidade	Voçoroca
Área de captação	ha	0,78
Área da voçoroca	m <sup>2</sup>	901
Maior largura	m	19,7
Menor largura	m	0,7
Comprimento da voçoroca	m	74,9
Maior profundidade	m	17
Menor profundidade	m	5
Profundidade média	m	11
Volume	m <sup>3</sup>	6500
Comprimento rampa acima da voçoroca	m	80
Espessura média do solum (hor A+B)	m	1,8
Declividade média da área de captação	%	59
Classificação da voçoroca na encosta	-	desconectada
Forma da encosta	-	linear/convexa

Adaptado de MACHADO (2007).



**Figura 7:** Levantamento planialtimétrico da voçoroca estudada em Pinheiral – RJ.

As leguminosas arbóreas inoculadas com bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> específicas e com fungos micorrízicos arbusculares (FMA), foram plantadas em espaçamento 2 x 2 m: *Acacia auriculiformes*, *Acacia angustissima*, *Acacia mangium*, *Albizia lebbek*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Mimosa bimucronata*, *Pseudosamanea guachapele*, *Gliricidia sepium*, *Samanea saman*, *Acacia farnesiana*. (Figura 8).

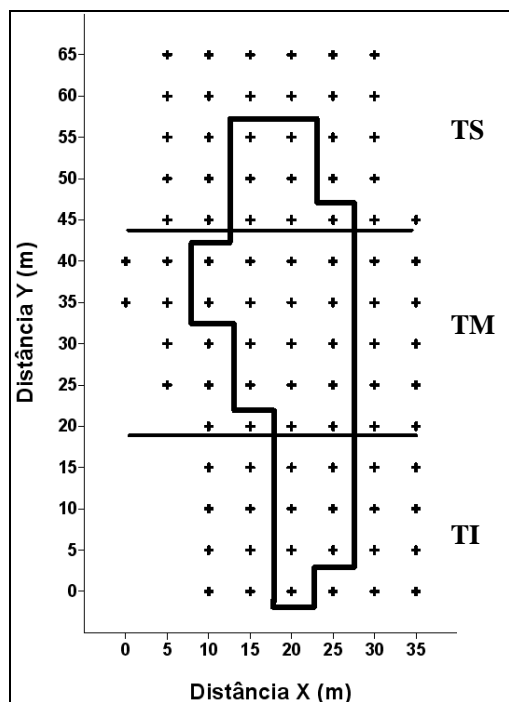


**Figura 8:** Vista da voçoroca antes e após a intervenção. Pinheiral- RJ. A) Ano 2005; B) Ano 2009.

### 3.2 Amostragem na Área de Estudo

No estudo da variabilidade espacial foi instalada uma grade com espaçamento regular de 5 x 5 m na voçoroca, num total de 92 pontos. Os pontos foram assim distribuídos: 30 no interior e 78 no entorno da voçoroca. Os pontos foram georreferenciados utilizando o GPS Trimble Pathfinder – ProXT com precisão horizontal de  $\pm 0,8$  metros e vertical de  $\pm 1,3$  metros. A malha de amostragem utilizada teve o objetivo de garantir a hipótese intrínseca da geoestatística. CHUNG et al. (1995) citado por CARVALHO et al. (2002) dizem que a amostragem é um dos procedimentos de maior importância, pois de nada adianta as análises realizadas com excelentes padrões e de custo elevado se a amostragem não for bem realizada.

Na Figura 9 encontra-se a distribuição dos pontos amostrados. Para melhor localização, a voçoroca foi dividida em terço superior (TS), terço médio (TM) e terço inferior (TI) e a área delimitada separa o entorno do interior na voçoroca. Quanto mais heterogênea for a área amostrada, maior deverá ser o número de amostras coletadas para melhor avaliação das variáveis (SILVEIRA et al., 2000).



**Figura 9:** Grade regular dos pontos amostrados. TS: terço superior da voçoroca; TM: terço médio da voçoroca; TI: terço inferior da voçoroca. A área delimitada diferencia o entorno do interior da voçoroca.

### 3.3 Variáveis Analisadas

#### 3.3.1 Análise da textura do solo

A análise das frações texturais: areia, silte e argila que compõem o solo foram realizadas seguindo o método da pipeta, sugerido por DAY (1965). Foi coletada uma amostra simples por ponto na profundidade de 0-10 cm totalizando 92 amostras. Foi utilizado 10 g de TFSA onde se adicionou 10 mL de NaOH a  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  e 150 mL de água destilada com o objetivo de individualizar as partículas de solo com agitador mecânico por um período de 16 horas a 90 rpm. Após este período foi retirada a areia por tamização em peneira de 0,053 mm e a argila mais silte colocados em proveta de 1 litro e completados com água destilada. Foi calculado o tempo de sedimentação baseado na lei de Stocks.

O tempo de sedimentação corresponde ao tempo em que todas as partículas de silte, por possuírem um diâmetro maior que a argila, irão sedimentar na proveta. Atingido o tempo de sedimentação foi retirada uma alíquota de 10 mL de argila do material em suspensão a profundidade de 5 cm. A areia e a argila foram secas em estufa a  $105^\circ \text{ C}$  por 24 horas e o teor de silte foi obtido por diferença através dos teores de argila e areia.

Para corrigir a umidade da amostra foi utilizado o fator de correção (FC). Pesou-se uma alíquota de 20 gramas de TFSA, que foi colocada em estufa a  $105^\circ \text{ C}$  e obteve-se terra fina seca em estufa (TFSE). No cálculo do FC dividiu-se a TFSA pela TFSE.

Na análise de dados o teor de argila, areia e silte foram obtidos pelas seguintes fórmulas: % argila =  $1000 (\text{massa}_{\text{argila}} - 0,004) * \text{FC}$ ; % areia =  $\text{massa}_{\text{areia}} * 10$ ; % silte =  $100 - (\text{massa}_{\text{areia}} + \text{massa}_{\text{argila}})$ .

### 3.3.2 Umidade gravimétrica

A análise da umidade gravimétrica do solo seguiu a metodologia da EMBRAPA (1997). As amostras foram coletadas em abril de 2009 e foi retirada uma amostra simples por ponto na profundidade de 0-10 cm num total de 92 pontos. Foram pesados 20 g de terra em cadinho e colocados em estufa por 24 horas a 105° C. No cálculo foi utilizada a fórmula:  $U (g g^{-1}) = (\text{peso}_{\text{úmido}} - \text{peso}_{\text{seco}}) / \text{peso}_{\text{seco}}$ .

### 3.3.3 Análise química do solo

Para a análise de nutrientes do solo foi retirada uma amostra simples por ponto amostrado na profundidade de 0-10 cm totalizando 92 pontos em abril de 2009. A amostra foi seca ao ar, destorroada, homogeneizada e peneirada a 2 mm, obtendo-se terra fina seca ao ar (TFSA). Foram realizadas as seguintes análises químicas: pH em água (1:2,5) e teores de  $Al^{+++}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^{++}$ , P disponível e % de carbono orgânico seguindo a metodologia da EMBRAPA (1997).

### 3.3.4 Coleta e identificação da fauna do solo

A coleta de fauna do solo epígea ocorreu em abril de 2009 onde foi instalada uma armadilha do tipo pitfall (MOLDENKE, 1994) por ponto, totalizando 92 amostras. A armadilha do tipo pitfall consiste de um pote plástico com aproximadamente 9 cm de altura e 8 cm de diâmetro que fica em nível com o solo. Colocou-se uma cobertura de alumínio a 10 cm de altura do solo (Figura 10). Para conservar os invertebrados edáficos foi utilizada uma solução de formaldeído a 4% uma vez que a armadilha permaneceu no campo por 7 dias. No laboratório de fauna do solo da Embrapa Agrobiologia este material foi identificado em nível de ordem, família ou grupo de acordo com CSIRO (1991), DINDAL (1990) e GALLO et al. (1988). Este tipo de armadilha captura a fauna epígea que vive ativamente na superfície do solo associada aos diferentes tipos de materiais vegetais, colonizando a serrapilheira.



**Figura 10:** Armadilha do tipo pitfall trap em um dos pontos amostrados. Pinheiral – RJ.

Na análise de dados foi calculado o índice de diversidade de Shannon para cada amostra de acordo com ODUM (1983) pela seguinte fórmula:  $H = -\sum p_i \cdot \log p_i$ , onde o  $p_i$  corresponde a frequência relativa de cada grupo ou ordem coletada e também foi calculado o

índice de equabilidade de Pielou e = H/log S, onde H é o índice de Shannon e S a riqueza total encontrada. Foi calculada a riqueza total que corresponde ao número de ordens ou grupos encontrados por armadilha. Também foram calculados o número de indivíduos.armadilha<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> de acordo com CORREIA e OLIVEIRA (2000) e o respectivo erro padrão.

### 3.3.5 Análise Geoestatística dos dados

Os dados foram analisados pelo programa GEOEST que é um pacote geoestatístico de análise de dados (VIEIRA et al., 1983, VIEIRA et al. 2002). A estatística descritiva foi analisada pelo programa STAT, onde foi calculado os valores mínimos, máximos e médios, desvio padrão, coeficiente de variação, simetria, curtose e a matriz de correlação entre as variáveis. Foi realizada a análise de Pearson na significância entre os atributos estudados da matriz de correlação e, para isso, foi utilizado o programa SAEG versão 9.1 (2006).

Na análise de dependência espacial foi utilizado o programa AVARIO para o cálculo do semivariograma omnidirecional (Equação 1), onde se detecta ou não a presença de dependência espacial (VIEIRA, 2000). A semivariância é estimada a partir de h e N(h) representa o número de pares de valores medidos Z(x<sub>i</sub>), Z(x<sub>i</sub> + h) separadas por um vetor (h).

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

Os dados que possuíram tendência foram retirados utilizando o programa TREND. Neste programa escolheu-se o melhor grau de superfície identificado por linear, parabólico ou cúbico dependente da significância do modelo e do coeficiente de correlação.

De acordo com o comportamento do semivariograma foram selecionados diferentes modelos de ajustes do semivariograma, sendo eles: linear (Equação 2), gaussiano (Equação 3), exponencial (Equação 4) ou esférico (Equação 5) e foi utilizada a ferramenta de análise Solver no Microsoft Excel 2007 com o objetivo de maximizar o coeficiente de correlação em função do efeito pepita, da variância estrutural e do alcance.

#### a) Modelo linear:

$$\gamma(h) = C_0 + \frac{C_1}{a} h \quad 0 < h < a \quad (2)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad h > a$$

#### b) Modelo esférico:

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

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad h > a$$

#### c) Modelo exponencial:

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

#### d) Modelo gaussiano:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3 (\frac{h}{a})^2)] \quad 0 < h < d \quad (5)$$

Foi realizada a validação cruzada para escolha do melhor modelo de ajuste do semivariograma utilizando o programa JACK e o melhor número de vizinhos para a realização da krigagem. Este programa calculou os dados observados pelos estimados e, através da correlação linear foram escolhidos o melhor modelo e número de vizinhos com base no coeficiente linear (0), coeficiente angular (1), coeficiente de correlação (1), média dos erros reduzidos (0), variância dos erros reduzidos (1), média dos erros absolutos (0) e variância dos erros absolutos (mínimo) sendo os valores entre parênteses os ideais.

Na interpolação dos dados para os locais não amostrados e com variância mínima foi utilizado o programa KRIGE que realiza a krigagem (Equação 6) dos pontos em função do modelo selecionado em validação cruzada e o número de vizinhos. VIEIRA (2000) afirma que a krigagem utiliza a dependência espacial entre as amostras vizinhas pelo semivariograma para estimar valores em pontos não amostrados. Para MELLO et al. (2006) a krigagem destaca-se na capacidade de considerar a autocorrelação entre os pontos afim de aumentar a eficiência da estimativa.

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (7)$$

Na criação dos mapas de isolinhas foi utilizado o programa SURFER<sup>®</sup> versão 8.0 (2002) criado pela Golden Software, Inc.

Na análise do grau de dependência espacial foi utilizada a relação  $(C_0/C_0+C_1)*100$  que indica a contribuição do efeito pepita na variância total. O grau de dependência espacial (GDE) foi classificado de acordo com CAMBARDELLA et al. (1994) como forte ( $GDE < 25$ ), moderada ( $25 > GDE < 75$ ) e baixa dependência ( $GDE > 75$ ).

#### 3.3.6 Análise multivariada dos dados

Para avaliar a covariação das variáveis estudadas foi realizada a análise de ordenação canônica de técnica restrita utilizando a análise de redundância (RDA) de resposta linear pelo programa CANOCO<sup>®</sup> versão 4.0 (TER BRAAK & SMILAUER, 1998). De acordo com TRINCA (2005), as técnicas restritas englobam a informação sobre os fatores ambientais no estudo da composição de espécies com o objetivo de determinar a variação na composição das comunidades que pode ser explicada pelos fatores ambientais.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Variabilidade Espacial dos Atributos Físicos do solo

#### 4.1.1 Estatística descritiva dos atributos físicos e altitude

Os dados de atributos físicos do solo e altitude foram analisados pela estatística descritiva e são apresentados na Tabela 3. Desses, a altitude foi o atributo com menor coeficiente de variação (CV=2,27 %) seguido pela umidade (CV=17,97 %) e frações de argila (CV=21,49 %), silte (CV=36,14 %) e areia (CV=46,09 %) (Tabela 3). Os valores de CV estão muito próximos aos encontrados por SOUZA et al. (1999) que também observaram o CV maior na areia (43,27), seguido pelo silte (34,23) e argila (18,93), assim como PASSOS et al. (2008) que estudaram a variabilidade espacial da textura do solo em uma bacia hidrográfica no DF com 94,9 % de predomínio de Latossolo. Houve um maior coeficiente de variação na areia devido diferenças no intemperismo, pois, o material de origem do entorno da voçoroca é mais intemperizado do que o material presente no interior devido o material no interior estar em constante mudança e ser formado, na sua maioria, por horizonte C. Os dados de CV da umidade gravimétrica estão consoantes com os de SIQUEIRA et al. (2008) que estudando a umidade do solo por métodos diversos num experimento em Campinas encontrou o CV da umidade gravimétrica variando de 18,16 a 22,97 %.

A análise do coeficiente de variação é muito útil, pois indica a dispersão dos dados para comparação entre distribuições de frequências diferentes, quanto menor o CV, mais homogêneo é o conjunto de dados (FIGUEIREDO FILHO, 2009). AMARAL et al. (1997) dizem que é vantajoso a utilização do CV para avaliar a precisão dos experimentos e permite a comparação entre experimentos pois é expresso em porcentagem. De acordo com a classificação do CV proposto por WARRICK & NIELSEN (1980) a altitude apresentou baixo CV enquanto os atributos físicos apresentaram CV médio.

Os valores de altitude da voçoroca variaram de 402,80 a 434,80 metros utilizando o GPS Trimble Pro XT indicando uma diferença de nível de 32,00 metros entre a zona de acúmulo no terço inferior da voçoroca para a zona de perda localizada no terço superior. Os dados de umidade gravimétrica apresentaram média de 0,20 g g<sup>-1</sup> e variaram de 0,10 a 0,27 g g<sup>-1</sup> e os valores do teor de argila apresentaram alta amplitude variando de zero a 60,52 %. Houve pequena influência do teor de argila no teor de água devido na época de amostragem o solo encontrar-se mais úmido, comum para a época que foi realizada a amostragem. Esta diferença deve-se a diferença do entorno para o interior da voçoroca, visto que o entorno apresenta em alguns pontos horizonte A e no interior a voçoroca apresenta, na sua maior parte, horizonte C. SALVIANO et al. (1998) dizem que a amplitude dos dados deve ser avaliada com algumas restrições, pois são os dois valores extremos de um conjunto de dados. A alta amplitude também ocorreu entre o teor de areia na voçoroca, de 31,30 % para 80,90 % que também são provenientes das diferenças entre o entorno e interior da voçoroca. Percebe-se que ocorrem muitas variações dos atributos físicos na voçoroca e uma amostragem ao acaso levaria ao erro, por isso, a geoestatística através da avaliação da variabilidade espacial dos atributos é um estudo necessário neste caso.

Na análise de assimetria e curtose dos dados dos atributos físicos e altitude, todos apresentaram valores próximos a normalidade dos dados. Valores próximos a zero na assimetria e três na curtose indicam distribuição normal (SPIGEL, 1985; CARVALHO et al., 2002). Para LANDIM (2003) a assimetria é uma medida do grau de desvio ou afastamento da



simetria de uma distribuição e leva em consideração a moda e o desvio padrão e a curtose é o achatamento da curva de distribuição, indicando valores mais altos para curvas afuniladas e mais baixos para curvas achatadas.

**Tabela 3:** Estatística descritiva dos atributos físicos do solo e altitude. Pinheiral – RJ.

Atributos Físicos	Unidade	Min.	Máx.	Média	Assi.	Curt.	CV (%)	Erro Padrão
Altitude	metros	402,80	434,80	416,80	0,39	-0,99	2,27	9,48
Umidade	g kg <sup>-1</sup>	9,7	26,8	0,200	-0,28	-0,21	17,97	0,04
Areia	g kg <sup>-1</sup>	31,30	80,90	53,94	0,51	-0,31	46,09	13,85
Argila	g kg <sup>-1</sup>	0,00	60,52	30,06	-0,41	-0,30	21,49	11,59
Silte	g kg <sup>-1</sup>	5,02	29,93	16,00	0,33	-0,39	36,14	5,78

\*Min.: valor mínimo; Max.: valor máximo; Assi.: assimetria; Curt.: curtose; CV: coeficiente de variação.

#### 4.1.2 Análise da dependência espacial dos atributos físicos e altitude

Todos os atributos físicos e a altitude apresentaram dependência espacial. O modelo esférico ocorreu em 50 % dos atributos físicos estudados assim como o modelo exponencial (Tabela 4). SOUZA et al. (2004) relatam que entre os vários modelos de semivariogramas existentes, o esférico e o exponencial são os que mais se ajustam aos atributos do solo.

Na altitude, umidade e silte os valores de alcance encontrados foram respectivamente, 8,75, 8,86 e 7,84 metros. Esses atributos mostraram-se correlacionados entre si com valores muito próximos, diferentemente da argila e areia que obtiveram valores de alcance 25,62 na argila e 22,90 na areia. SOUZA et al. (1999) também observaram os menores valores de alcance para o silte.

Com esta diferença de alcance pode-se utilizar espaçamentos diferentes na coleta de terra para análise de textura e umidade. Como a malha de amostragem utilizada foi de 5 em 5 metros, observou a dependência espacial desses atributos, não apresentando efeito pepita puro que indicaria nenhuma correlação espacial entre as amostras.

Houve grande variação do coeficiente de correlação ( $r^2$ ) entre a umidade do solo e os demais atributos. A umidade apresentou baixa correlação ( $r^2=0,35$ ) dos pontos amostrados com o modelo exponencial. Estes resultados corroboram os encontrados por MARTINS et al. (2009) que encontraram baixos coeficientes de correlação na análise da umidade gravimétrica do solo em um Latossolo Vermelho Distroférico típico no Mato Grosso do Sul na cultura do feijão em plantio direto. SIQUEIRA et al. (2008) observaram coeficiente de correlação variando de 0,27 a 0,33 na umidade gravimétrica. Estes autores estudaram a variação dos atributos físicos do solo utilizando métodos diversos em um Latossolo Vermelho eutroférrico na cultura da mamona. O teor de areia demonstrou altíssima correlação ( $r^2=0,98$ ) entre os pontos amostrados com o modelo esférico. LIMA et al. (2006) estudando a variabilidade da textura do solo no cultivo de mamão no Rio Grande do Norte também observaram valor alto de  $r^2$ , de 0,99 para a areia.

Na análise do grau de dependência espacial (GDE) apenas a argila apresentou grau moderado de dependência espacial de acordo com a classificação proposta por CAMBARDELLA et al. (1994). A altitude, umidade, areia e silte apresentaram grau forte. ROQUE et al. (2005) estudando atributos químicos em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com seringueira em uma topossequência, observaram grau forte de dependência espacial para a umidade gravimétrica. VIEIRA et al. (2007) também encontraram grau forte

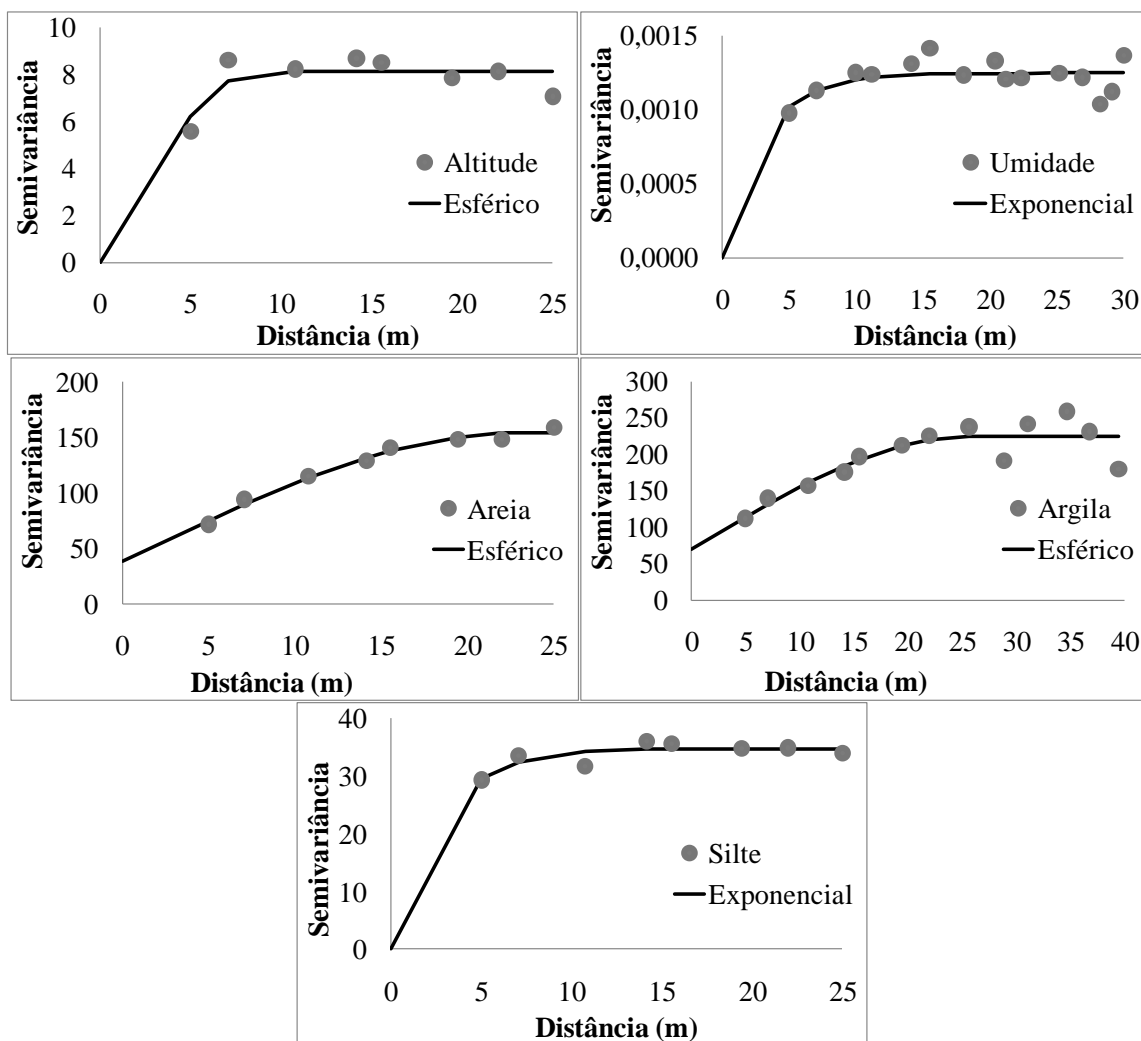
para areia e moderado para a argila estudando atributos físicos em uma bacia hidrográfica. O grau forte indica que a contribuição do componente aleatório ( $C_0$ ) na variância total é pequena. Segundo CAMBARDELLA et al. (1994), variáveis que apresentam grau forte de dependência espacial são influenciadas por propriedades intrínsecas do solo.

**Tabela 4:** Parâmetros da análise semivariográfica dos atributos físicos do solo e altitude. Pinheiral – RJ.

Atributos Físicos	Modelo*	$C_0$	$C_1$	a	$r^2$	IDE (%)	GDE
Altitude	Esférico	0	8,15	8,75	0,63	0,00	Forte
Umidade	Exponencial	0	0,00125	8,86	0,35	0,00	Forte
Areia	Esférico	38,18	115,91	22,90	0,98	24,78	Forte
Argila	Esférico	69,93	154,03	25,62	0,78	31,22	Moderada
Silte	Exponencial	0,0026	34,78	7,84	0,67	0,00	Forte

\* Modelo selecionado por validação cruzada (Jack-knifing).  $C_0$ : efeito pepita;  $C_1$ : variância estruturada; a: alcance (metros); IDE: índice de dependência espacial  $(C_0/C_0+C_1)*100$ . GDE: Grau de dependência espacial.

Na análise dos semivariogramas da altitude e dos atributos físicos do solo percebe-se que todos os semivariogramas apresentaram patamar nos diferentes ajustes de modelos aceitando a hipótese intrínseca da geoestatística (Figura 11). Percebe-se que os semivariogramas de umidade gravimétrica e silte obtiveram semivariogramas com padrão semelhante devido às variabilidades existentes na voçoroca e, conseqüentemente terão padrão de distribuição nos mapas de variabilidade semelhantes.



**Figura 11:** Semivariogramas experimentais da altitude e atributos físicos do solo.

#### 4.1.3 Análise dos mapas de variabilidade espacial dos atributos físicos e altitude.

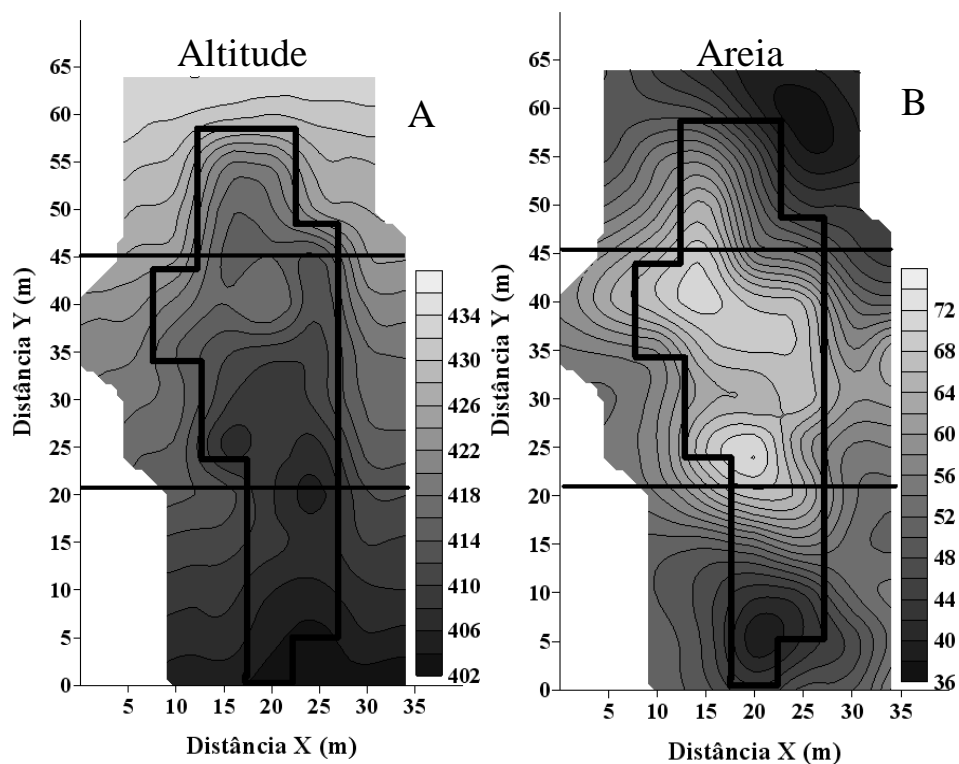
Na análise do mapa de variabilidade espacial para altitude (Figura 12), percebe-se o gradiente de altitude do terço superior (TS) com maior elevação (436) para o terço inferior (TI) com menor elevação (402). No interior da voçoroca a altitude varia de 424 metros no TS a 402 metros no TI. O interior da voçoroca apresenta uma mancha com elevação de 418 metros. Esses dados do mapa de altitude são de extrema importância para a análise das variáveis físicas, químicas e biológicas, pois o relevo tem influência sobre diversos atributos do solo, como apresentados por SILVA et al. (2009) que estudando a perda de nutrientes em uma topossequência verificaram que a mesma apresentava um enriquecimento de nutrientes no sentido do topo para a base, associado à erosão que removeu das áreas de montante e depositou à jusante. O estudo das sequências topográficas tem sido considerado uma importante e eficaz forma de avaliação do desenvolvimento das características e propriedades dos solos, influenciadas pelos diferentes fatores de formação destes (ALVES & RIBEIRO, 1995) gerando diferenças químicas, físicas e biológicas.

Na análise dos mapas areia, argila e silte que compõem a textura do solo, percebe-se no mapa de areia que os maiores teores (72 %) foram encontrados no interior da voçoroca no

TM, devido o mineral primário, na sua maior parte, estar em processo de intemperismo e ser formado por horizonte C (Figura 13). Esses altos valores de areia também são provenientes da influência das paliçadas construídas como barreira física que tendem a reter partículas de maior diâmetro. No interior da voçoroca, no TS, encontram-se baixos teores (36 %) de areia devido à erosão estar ativa nesta parte da voçoroca e no TI devido ser uma zona de acúmulo e as partículas de argila por possuírem um diâmetro menor que as partículas de areia se depositam na parte baixa da voçoroca.

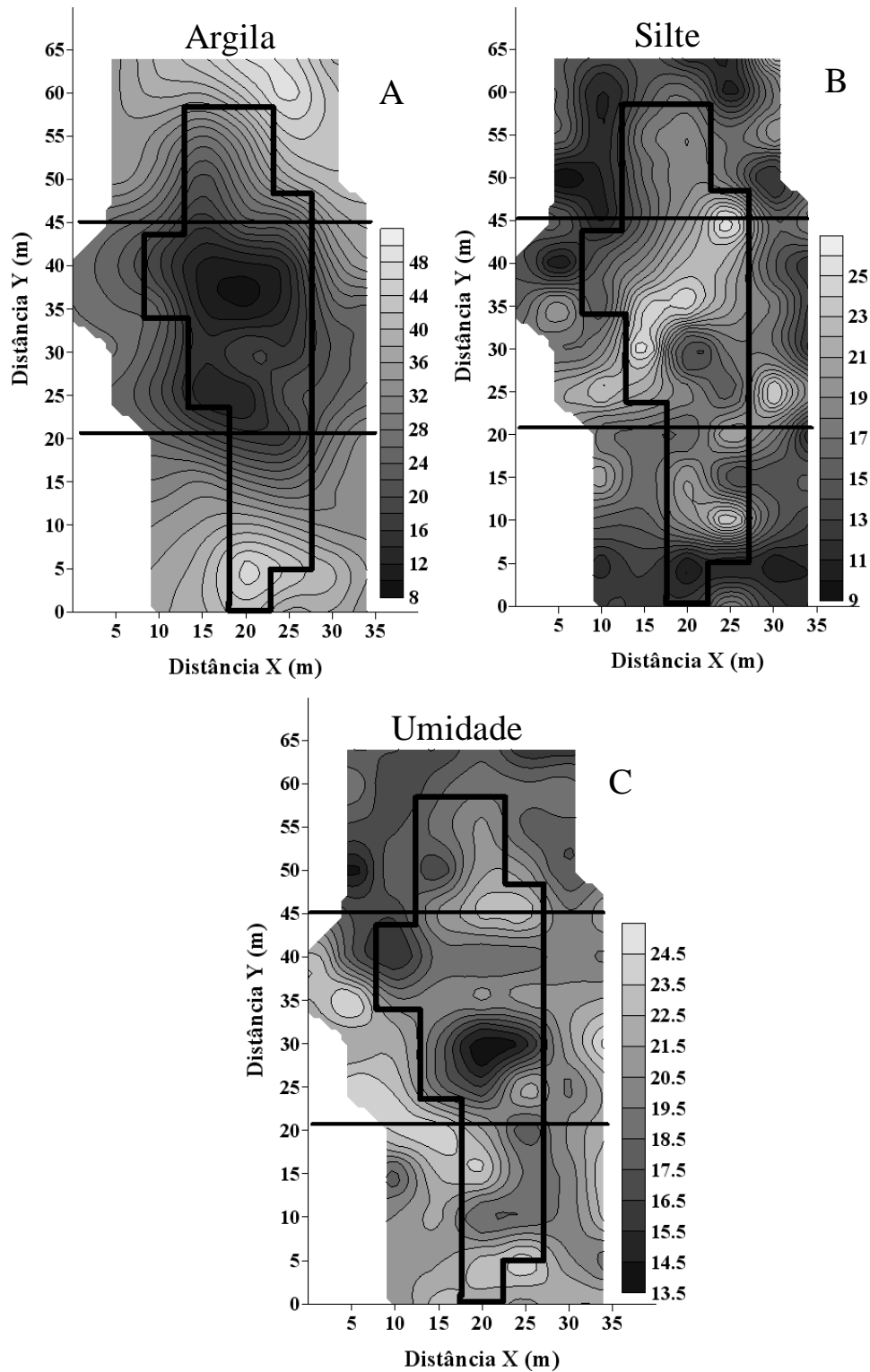
A areia e silte por serem partículas de maior diâmetro e necessitarem de mais energia cinética para o seu transporte são depositadas no interior da voçoroca e as partículas de argila por serem de menor diâmetro são transportadas mais facilmente para os córregos e rios. Esses dados corroboram com os encontrados por MELLO et al. (2005) que estudando variáveis físicas em uma topossequência quantificaram os menores teores de areia em solos menos intemperizados e material de origem mais próximos à superfície. VIEIRA et al. (2007) também estudaram a sedimentação de uma bacia hidrográfica e perceberam que o aumento no teor de areia foi resultante do recebimento de sedimentos de diferentes granulometrias, ocorrendo a remoção de partículas finas. Neste caso a velocidade de enxurrada não chega a ser suficiente para dar continuidade à remoção de sedimentos mais grosseiros ficando esse material depositado. VIEIRA et al. (2007) dizem que quanto menos intemperizado o material do solo maior é a tendência de variação e está correlacionada com a mudança no material de origem.

No mapa de variabilidade espacial de argila ocorre o inverso da areia, os menores teores de argila (8 %) são encontrados no interior da voçoroca no TM e os maiores teores (48 %) são encontrados nos TS e TI, tanto no interior como no entorno da voçoroca. O maior teor de argila nos horizontes superficiais evidencia um material mais evoluído do ponto de vista pedogenético, com maior presença de minerais secundários e a diminuição do teor de argila corresponde ao aumento do teor de areia, principalmente areia grossa (REIS et al., 2007). De acordo com SILVA et al. (2001) a remoção de argila por erosão seletiva é suficiente para concentrar o material mais grosseiro na superfície do solo, uma vez que a própria concavidade da superfície reduz a intensidade do arraste das partículas. No mapa da argila percebe-se grande variação na classificação da textura do solo conforme LEPSCH et al. (1991) que dizem que valores superiores ao limite de  $350 \text{ g kg}^{-1}$  refletem solos com textura argilosa.



**Figura 12:** Mapas de variabilidade espacial: A) Altitude (m); (B) Areia ( $\text{g kg}^{-1}$ ).

No mapa da variabilidade espacial de silte, os teores são muito variáveis em função do TM, TS e TI e do entorno e interior da voçoroca, mas apresenta um padrão de distribuição semelhante a areia. REIS et al. (2007) dizem que quando ocorrem elementos mais grosseiros, ocorre um aumento no teor de silte fino e uma redução no teor de argila. Percebem-se manchas com maiores teores (26 %) no interior da voçoroca no TM e TI e no entorno da voçoroca no TM. Os menores teores (19 %) são encontrados no entorno no TS, TM e TI no entorno e interior da voçoroca.



**Figura 13:** Mapas de variabilidade espacial: A) Argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ); B) Silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ); C) Umidade gravimétrica ( $\text{g kg}^{-1}$ ).

No mapa da variabilidade espacial da umidade gravimétrica do solo no entorno da voçoroca, o TS apresentou os menores teores de água no solo ( $13,5 \text{ g kg}^{-1}$ ) enquanto o TI e TM apresentaram os maiores valores de umidade ( $24,5 \text{ g kg}^{-1}$ ). Quando comparados o

entorno da voçoroca com o interior, percebe-se que o entorno no TI e TM apresenta teor de água no solo maior e o interior apresenta manchas de alta e baixa umidade. O teor de umidade em uma voçoroca é de extrema importância para o desenvolvimento vegetal e a partir do mapa de variabilidade espacial da umidade pode-se ter um indicativo de onde plantar mudas de diferentes espécies no entorno e interior assim como a utilização de coberturas mortas nos locais de menor umidade.

De uma maneira em geral os maiores teores de umidade gravimétrica do solo estão associadas aos maiores teores de argila da voçoroca e carbono orgânico que está presente no entorno da voçoroca. CELINSKI et al. (2009) encontraram elevada correlação com o teor de argila e conteúdo de água, dentre outros atributos do solo. O pequeno incremento de argila é suficiente para que a água fique mais retida a tensões maiores graças à maior adesão desta às partículas coloidais (MARTINS et al., 2009). A matéria orgânica também tem um papel muito importante na retenção de água, pois tem elevada capacidade de retenção e quanto maior o teor de matéria orgânica do solo, maior a saturação do solo numa mesma tensão (BRAIDA et al., 2002).

Os dados de umidade gravimétrica e os valores de alcance estão consoantes com SIQUEIRA et al. (2008) que dizem que quanto maiores os valores de água, menor é a descontinuidade entre as amostras descritas pelo efeito pepita e maior o tamanho das manchas de variabilidade indicados pelos valores de alcance, por isso, a umidade gravimétrica apresentou manchas pequenas de variabilidade. Para COHEN et al. (2008) as atividades antrópicas afetam a auto-organização das zonas úmidas, por sua vez, afetam a estrutura espacial das propriedades do solo, como pH, concentrações de nutrientes e matéria orgânica do solo.

Os mapas de variabilidade espacial dos atributos físicos mostram-se diferentes e as maiores diferenças são obtidas entre o entorno e interior e o TS, TM e TI. Na coleta de dados físicos nesta voçoroca deve-se considerar a variabilidade espacial e os locais com maior e/ou menor valores para as variáveis físicas.

## **4.2 Variabilidade Espacial dos Atributos Químicos do Solo**

### **4.2.1 Estatística descritiva dos atributos químicos do solo**

Na análise de dados da estatística descritiva apresentados na Tabela 5, percebe-se grande variação dos dados nos valores obtidos pelo coeficiente de variação (CV %) (Tabela 5). De todos os atributos químicos, o pH apresentou o menor CV (6,26 %) enquanto os demais apresentaram um CV mais alto, devido à alta variabilidade dos dados encontrados no entorno e no interior da voçoroca, além da diferença entre TS, TM e TI. Valores baixos de coeficiente de variação para o pH foram encontrados por CARVALHO et al. (2002) que estudaram a variabilidade espacial em três sistemas de preparo (arado, grade e plantio direto) em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico no Estado de Goiás assim como MENDES et al. (2007) estudando atributos químicos na cultura do mamão no Rio Grande do Norte.

O fósforo (P) foi o elemento com o maior CV com 158,80 %, possivelmente é explicado pela baixa mobilidade deste elemento no solo e baixos teores. Para CARVALHO et al. (2002) a utilização de amostras simples é uma possível explicação para os valores altos do CV. Devido o P ter alto coeficiente de variação e não possuir distribuição normal, os dados foram transformados por  $\log(x+1)$ . SOUZA et al. (1997), MENDES et al. (2007) e ROSSATO et al. (2009) também encontraram valores altos de coeficiente de variação para o P em comparação com outros nutrientes avaliados no solo. Nos demais atributos químicos do

solo, o CV variou de 48,38% a 83,42%. De acordo com a classificação do CV proposto por WARRICK & NIELSEN (1980) os valores de P, P<sub>log</sub> e Mg encontram-se altos (> 80%), o Al<sup>+++</sup>, Ca+Mg, Ca, K e C<sub>org</sub> encontram-se medianos (12%>CV<60%) e para o pH o valor encontra-se baixo (< 12%). CAVALLINI et al. (2009) encontraram os menores valores de CV no pH e matéria orgânica e CV alto no P.

Na análise de curtose dos dados, o cálcio (Ca) apresentou o valor de 11,25 e o P de 12,42. Esses valores de curtose dos dados indicam que o Ca e o P não possuem distribuição normal indicando que ambos possuem distribuição leptocúrtica e que é mais fácil obter valores que se distanciam da média. Nos valores de assimetria, os maiores valores também são encontrados no Ca e P, indicando que a moda e mediana são diferentes da média. De uma maneira em geral, o Ca e P apresentam uma distribuição não normal devido às características intrínsecas de solo. MENDES et al. (2007) não encontraram normalidade e alto CV para o P indicando que este nutriente é muito variável na área de estudo. SALVIANO (1996) estudando a variabilidade espacial em uma área degradada em Piracicaba - SP também encontrou não normalidade dos dados e alto CV para P e K.

**Tabela 5:** Estatística descritiva dos atributos químicos do solo. Pinheiral – RJ.

Atributos Químicos	Unidade	Min.	Máx.	Média	Assi.	Curt.	CV (%)	Erro Padrão
pH	-	4,20	5,40	4,67	0,68	-0,19	6,26	0,29
Al**	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,00	1,70	0,83	0,03	-0,87	52,56	0,43
Ca+Mg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,60	4,70	1,59	1,17	2,09	48,38	0,77
Ca	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,10	3,10	0,79	2,59	11,25	57,51	0,45
Mg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,00	2,70	0,80	0,59	0,01	83,42	0,67
P	mg dm <sup>-3</sup>	0,00	7,10	0,75	3,18	12,42	158,8	1,19
P <sub>log</sub>	-	0,00	0,91	0,18	1,32	1,83	111,0	0,20
K	mg kg <sup>-1</sup>	4,00	100,00	42,47	0,40	-0,13	50,38	21,40
C <sub>org</sub>	%	0,03	1,41	0,68	-0,30	-1,24	58,27	0,40

\*Min: valor mínimo; Max: valor máximo; Assi.: assimetria; Curt.: curtose; CV: coeficiente de variação. \*\* pH: potencial hidrogeniônico (1:2,5); Al: alumínio; Ca: cálcio ; Mg: magnésio ; P: fósforo ; K: potássio ; C<sub>org</sub>: carbono orgânico.

#### 4.2.2 Análise da dependência espacial dos atributos químicos do solo

Dos atributos químicos do solo estudados, apenas o P não transformado não apresentou dependência espacial conforme mostrado na Tabela 6.

Dos atributos químicos estudados, o pH, Al<sup>+++</sup>, Ca, Mg, K e P<sub>log</sub> ajustaram-se ao modelo esférico correspondendo a 75 % dos atributos químicos indicando que os semivariogramas explicam a maior parte da variância dos dados experimentais. BERNER et al. (2007) também observaram que o modelo esférico foi o mais adequado para pH, Al<sup>+++</sup>, Ca e Mg, num sistema de cultivo contínuo na cultura de cana-de-açúcar na camada de 0-10 cm na Região de Campos dos Goytacazes, norte do Estado do Rio de Janeiro. O modelo esférico é considerado o mais apto para descrever o padrão de atributos do solo (VIEIRA et al., 2000; VIEIRA et al., 1997; GREGO & VIEIRA, 2005). Esses nutrientes mostraram-se altamente susceptíveis ao entorno e interior da voçoroca, além do TS, TM, TI. SILVA & CHAVES (2006) observaram o modelo esférico ajustado para o Ca e Mg na região de Petrolina- PE. O Ca+Mg e C<sub>org</sub> ajustaram-se ao modelo exponencial, correspondendo a 25 % dos atributos químicos estudados.



Este foi o caso do P, onde foi observado o efeito pepita puro indicando que toda a variabilidade encontrada para esse nutriente apresentou distribuição aleatória (OLIVEIRA et al., 2004). Para VIEIRA (2000) a inexistência de patamar ou tendência indica a ausência de dependência espacial, ocorrendo o efeito pepita puro. A não detecção de dependência espacial para o P pode ser explicada pela baixa mobilidade no solo deste nutriente e também pela adubação fosfata realizada na área no plantio das mudas, o que resultou em um alto CV e distribuição não normal. A amostragem simples também favoreceu a não detecção de dependência espacial para o P. Já para o logaritmo do P foi detectada a dependência espacial, pois a transformação dos dados reduziu o CV e os valores de assimetria e curtose ficaram mais próximos à normalidade.

O menor valor do efeito pepita ( $C_0$ ) foi encontrado no carbono orgânico ( $C_{org}$ ) e no Ca+Mg, ambos com valor 0 (zero) que é o valor ideal para este parâmetro, pois o efeito pepita corresponde a variabilidade não explicada, ou seja, ao acaso. De acordo com CARVALHO et al. (2001) o efeito pepita representa a variabilidade da variável em estudo em espaçamento menor do que o amostrado e quanto maior é o efeito pepita, mais fraca é a dependência espacial da variável.

O maior valor para o alcance foi encontrado no pH indicando que a correlação entre as amostras ocorreu até 25,64 metros. A partir desta distância os pontos não estavam correlacionados entre si. Nota-se que o pH obteve o menor CV e o maior alcance. Variáveis como o pH podem ser coletadas em espaçamentos maiores, pois o alcance obtido foi maior do que para os demais atributos. O menor valor de alcance foi encontrado no P com 10,81 metros por ser um elemento pouco móvel no solo. Percebe-se que houve grande variação do alcance nos atributos químicos, indicando diferentes correlações entre os pontos amostrados. Para LIMA et al., (2006) o valor do alcance estabelece o limite de dependência espacial entre os pontos e entende-se que os valores vizinhos dessa amostragem estão espacialmente correlacionados e podem ser utilizados para se estimar valores em qualquer ponto amostrado.

Nos valores de  $r^2$  obtidos pelos atributos químicos, o menor valor do coeficiente de correlação foi encontrado no Ca com 0,76 e o maior no K com 0,93. Isto indica a alta correlação do semivariograma com o modelo ajustado nos atributos químicos. De uma maneira geral os atributos químicos do solo apresentaram alto coeficiente de correlação.

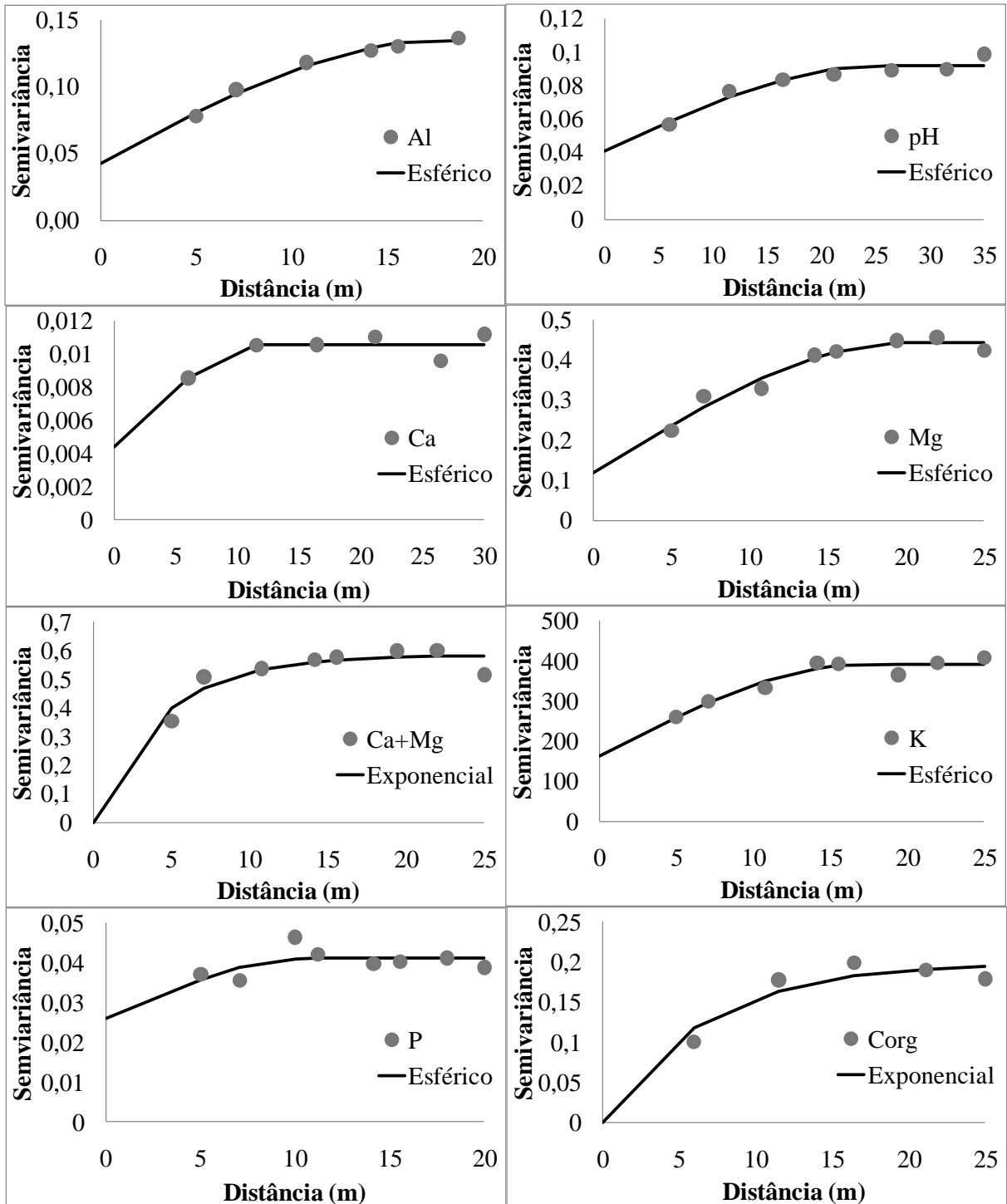
Na análise do grau de dependência espacial (GDE), o  $C_{org}$  e o Ca+Mg que ajustaram-se ao modelo exponencial apresentaram o valor de zero indicando que não houve contribuição do componente aleatório ( $C_0$ ) na variância estruturada ( $C_0+C_1$ ) apresentando grau forte de dependência espacial. Os demais elementos, pH, Al, Ca, Mg, K e  $P_{log}$  apresentaram moderada dependência espacial e todos se ajustaram ao modelo esférico. BERNER et al. (2007) também observaram grau moderado de dependência espacial para pH, Ca, Mg e Al. CARVALHO et al. (2002) observaram valores de GDE moderado para o Ca e P avaliando a variabilidade espacial de características químicas em um Latossolo Vermelho-Escuro em três sistema de preparo (arado, grade e plantio direto).

Na análise dos semivariogramas dos atributos químicos do solo apresentados na Figura 14 percebe-se a semivariância de cada atributo estudado em função da distância de amostragem. Todos os semivariogramas apresentam um patamar ( $C_0+C_1$ ) identificado nos diferentes ajustes de modelos.

**Tabela 6:** Parâmetros da análise semivariográfica dos atributos químicos do solo. Pinheiral – RJ.

Atributos Químicos	Modelo*	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	a (m)	r <sup>2</sup>	IDE (%)	GDE
pH**	Esférico	0,0408	0,0514	25,64	0,93	44,25	Moderada
Al	Esférico	0,0429	0,0918	17,74	0,99	31,85	Moderada
Ca+Mg	Exponencial	0	0,5835	13,12	0,80	0,00	Forte
Ca	Esférico	0,0044	0,00619	12,37	0,68	41,55	Moderada
Mg	Esférico	0,1178	0,3258	20,13	0,95	26,55	Moderada
K	Esférico	162,88	229,41	17,27	0,93	41,52	Moderada
P	Efeito Pepita Puro						
P <sub>log</sub>	Esférico	0,0259	0,0152	10,81	0,35	63,02	Moderada
C <sub>org</sub>	Exponencial	0	0,2000	20,31	0,83	0,00	Forte

\* Modelo selecionado por variação cruzada (Jack-knifing). C<sub>0</sub>: efeito pepita; C<sub>1</sub>: variância estruturada; a: alcance (m); IDE: índice de dependência espacial (C<sub>0</sub>/C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>)\*100; GDE: Grau de dependência espacial proposto por Cambardella et al. (1994). \*\* pH: potencial hidrogeniônico (1:2,5); Al: alumínio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>); Ca: cálcio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>); Mg: magnésio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>); P: fósforo (mg dm<sup>-3</sup>); P<sub>log</sub>: logaritmo de fósforo; K: potássio (mg kg<sup>-1</sup>); C<sub>org</sub>: carbono orgânico (%).



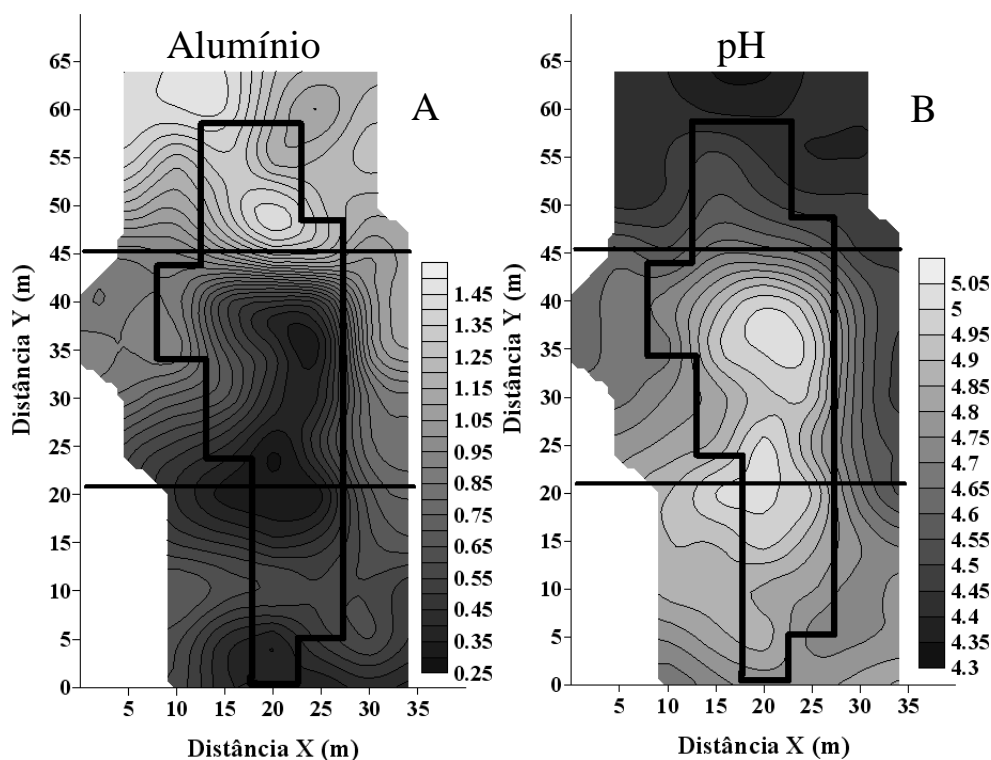
**Figura 14:** Semivariogramas dos atributos químicos do solo. Al: alumínio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); pH: potencial hidrogeniônico (1:2,5); Ca: cálcio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); Mg: magnésio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); K: potássio ( $\text{mg kg}^{-1}$ );  $P_{\log}$ : logaritmo do fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ );  $C_{\text{org}}$ : carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ).

#### 4.2.3 Análise dos mapas de variabilidade espacial dos atributos químicos

No mapa de variabilidade espacial do Al houve um gradiente entre o TS, TM e TI no entorno da voçoroca, sendo os maiores valores ( $1,38 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) encontrados no TS e os menores ( $0,3 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) no TI (Figura 15). Quando comparado o entorno com o interior da

voçoroca, percebe-se que os valores no interior no TM e TI encontram-se baixos e os valores no TS encontram-se altos. No interior da voçoroca, o TS, encontra-se em processo ativo de erosão e, por isso, o teor de Al encontra-se alto nesta área devido o material de origem da voçoroca formada por biotita, muscovita e gnaiss, ambos com Al na sua composição.

Quando comparados os mapas de variabilidade espacial do Al com a argila, estes se mostram semelhantes. Os maiores teores de Al são encontrados na porção do terreno onde se encontram altos teores de argila. Comparado o mapa de variabilidade espacial do pH com o do Al, percebe-se padrões de distribuição da variabilidade na ordem inversa, os maiores valores de pH (5,10) são encontrados no interior da voçoroca e os menores valores (4,35) no entorno da voçoroca devido o material de origem. Também apresenta um gradiente no entorno da voçoroca onde os maiores valores são encontrados no TI e os menores valores no TS. O mapa do pH mostra-se com grau inverso aos mapas do Ca+Mg e Mg, pois o fornecimento de bases pelo material de origem, ciclagem de nutrientes e adição de nutrientes pela erosão leva a uma redução do pH. ZAMBROSI et al. (2007) estudando um Latossolo em sistema conservacionista perceberam que o efeito do aumento do pH na redução dos teores de  $Al^{+3}$  foi confirmado pelas relações negativas entre ambos em todas as profundidades estudadas. Para CAMARGO & RAIJ (1975) em áreas tropicais úmidas a remoção de bases pela lixiviação causa uma acidificação dos solos e o aparecimento do Al trocável.

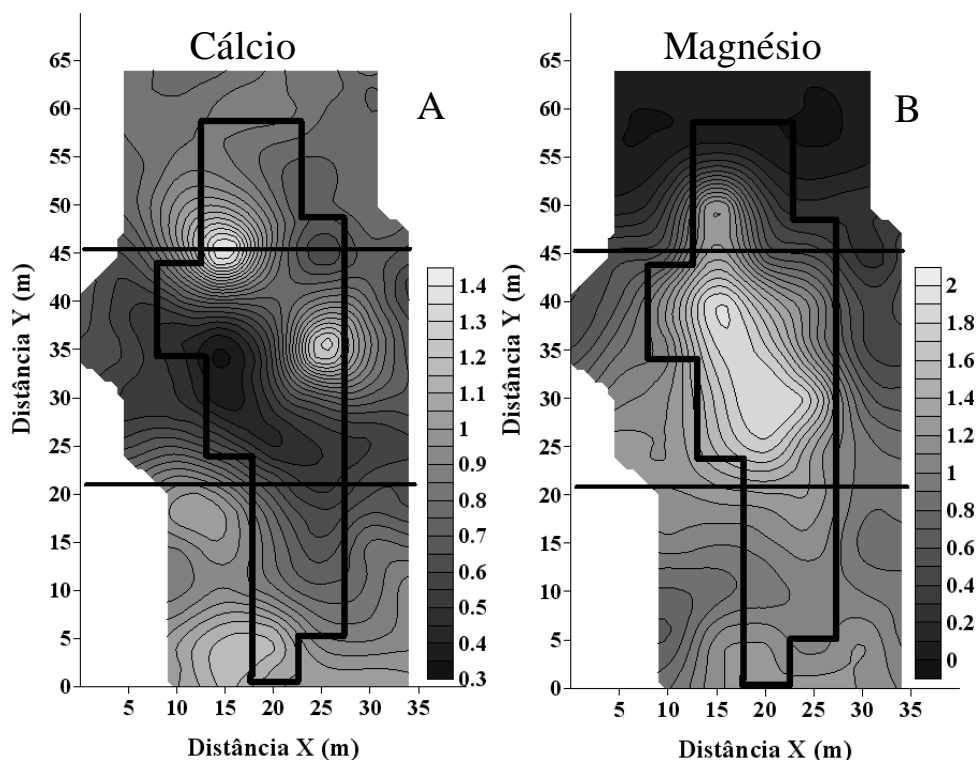


**Figura 15:** Mapas de variabilidade espacial: A) Alumínio ( $cmol_c dm^{-3}$ ); B) pH (1:2,5).

Na análise do teor de Ca o mapa de distribuição espacial apresenta diferente padrão (Figura 16). Os maiores valores para Ca ( $1,40 cmol_c dm^{-3}$ ) são encontrados em duas pequenas áreas no interior da voçoroca no TM e TS. Também se encontram valores intermediários no TI. Os menores valores foram encontrados no TM da voçoroca obtendo um padrão de distribuição da variabilidade diferenciado dos demais atributos estudados. A remoção de sedimentos e nutrientes dos solos localizados a montante indica que outros elementos estão

sendo erodidos, acumulando-se próximo à base da vertente, ou mesmo chegando aos cursos d'água, podendo alterar significativamente suas características químicas (SILVA, 2006).

No mapa de variabilidade espacial do magnésio fica evidente o gradiente entre o interior, com maiores teores ( $1,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), e o entorno com menores valores ( $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). Isto pode ser explicado pelo carreamento de nutrientes do entorno para o interior, melhor ciclagem de nutrientes e também pela influência do material de origem fornecendo nutrientes pelo intemperismo de minerais primários. Também ocorreu um gradiente do TI para o TM e para o TS no entorno da voçoroca por causa da zona de acúmulo no TI em função da zona de perda no TS.



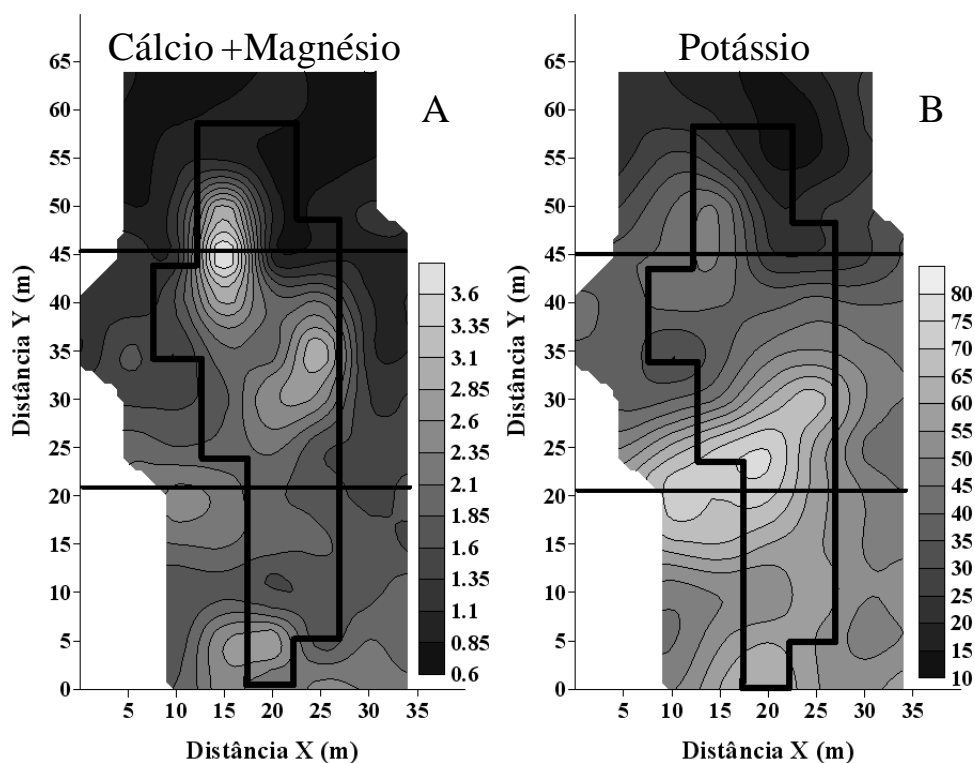
**Figura 16:** Mapas de variabilidade espacial A) Cálcio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); B) Magnésio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

Na análise dos teores de cálcio+magnésio o mapa apresenta a mesma tendência do mapa de Ca, apresentando os maiores valores de  $2,59$  e  $2,32 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$  no interior da voçoroca (Figura 17). Percebe-se um gradiente do TS, TM e TI onde os maiores valores são encontrados no TI e os menores valores no TS.

No mapa de variabilidade espacial do potássio houve uma variação de  $5$  a  $82 \text{ mg kg}^{-1}$  e os maiores valores são encontrados no TI e TM. Os menores valores de potássio são encontrados no TS. O gradiente do potássio é inverso ao gradiente do relevo, assim como diversos atributos químicos e físicos.

Na análise de variabilidade espacial do carbono orgânico e fósforo percebe-se pronunciada diferença entre o entorno e interior (Figura 18). Os maiores valores são encontrados no entorno da voçoroca por ser um ambiente menos degradado e em alguns pontos possuir horizonte A. No interior da voçoroca devido ao carreamento de partículas orgânicas o teor de carbono orgânico esteve próximo a zero. Esses dados são semelhantes aos de REIS et al. (2007), que encontraram o teor de carbono orgânico decrescendo em

profundidade e estão correlacionados com a argila estudando uma topossequência em Marabá-PA.



**Figura 17:** Mapas de variabilidade espacial: Cálcio+Magnésio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); B) Potássio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).

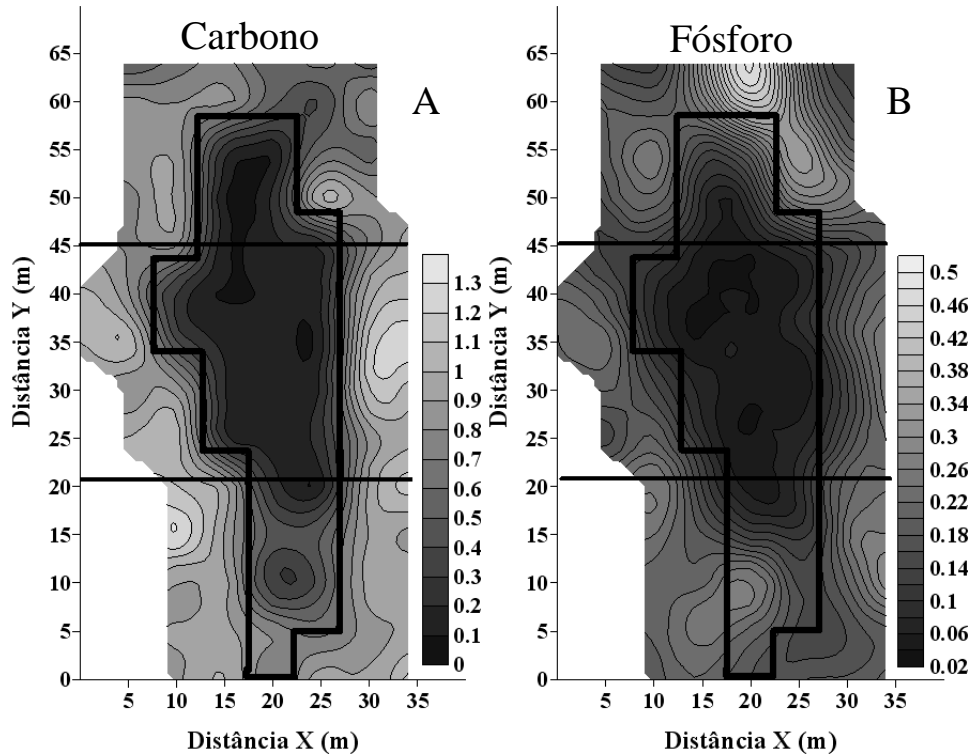
CASSOL et al. (2002) afirmam que as perdas de matéria orgânica e nutrientes são aumentadas com as perdas de solo, enquanto as taxas de enriquecimento do sedimento tendem a diminuir. ROSSATO et al. (2009) estudando uma área degradada com sulcos profundos em Avaí-SP encontraram baixos teores de MO que podem ser explicados pela intensa degradação e arraste das camadas superficiais.

Para LEÃO et al. (2007), o fato do fósforo mover-se no solo por difusão acarreta pouca mobilidade e também contribui para o acúmulo no solo. CORRÊA NETO et al. (2007) estudando uma topossequência em Seropédica perceberam que a maior acidez do solo pode estar influenciando a disponibilidade do fósforo.

Deve-se destacar também o padrão dos teores de carbono em relação aos demais atributos avaliados. A diferenciação dos teores encontrados na parte interna e externa da voçoroca deixa clara a dificuldade de se retornar a matéria orgânica do solo após sua perda. Nota-se que o acúmulo de Ca, Mg, K já se encontram em valores razoáveis dentro da voçoroca, enquanto o  $C_{org}$ , ainda encontra-se incipiente.

Outra constatação que pode ser feita é que a parte interna da voçoroca é uma área de fluxo hídrico e apesar de todas as práticas físicas realizadas percebe-se ainda um fluxo de sedimentos na área. Não havendo vegetação para incorporar esses nutrientes em sua biomassa, eles se perderão, uma vez que o carbono não está presente no solo, acarretando baixa CTC. Nota-se que os maiores teores de argila no terço inferior da parte interna da voçoroca é influenciada diretamente pelas práticas físicas adotadas, que retém de forma mais eficiente a areia nos terços superior e médio além da área amostrada apresentar horizonte B.

Esses resultados são importantes e ajudam a compreender melhor a dinâmica da voçoroca, facilitando e redirecionando sua recuperação e traçando novas estratégias para monitoramentos futuros.



**Figura 18:** Mapas de variabilidade espacial: A) Carbono orgânico (%); B) Fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ).

Os baixos valores de nutrientes encontrados nesse estudo são justificados uma vez que o processo de estabilização da voçoroca e o plantio de espécies vegetais se deram em 2004 e, pela voçoroca apresentar profundidade média de 11 metros, onde é notória a presença de subsolo na área.

Fica claro que as combinações sistemáticas, visando entender os processos químicos do solo ao longo da recuperação da voçoroca precisam ser feitas com alguns critérios. Amostragens que não considerem no mínimo o relevo (parte interna e externa da voçoroca) e as variações existentes ao longo da vertente da voçoroca tendem a ser equivocadas. Esses resultados indicam que o pH, Al e Ca+Mg já se mostram muito diferentes mesmo somente 4 anos após a revegetação, no entanto, essa afirmação poderá também ser verdadeira para os demais nutrientes à medida que o processo de recuperação avance. Esses resultados mostram os problemas que podem ocorrer quando se utiliza apenas a média dos atributos químicos do solo. É clara a evidência de dependência espacial neste ambiente tão alterado. Se esse ambiente não fosse tão alterado, também ocorreria a dependência espacial devido aos fatores intrínsecos do solo e manejo.

### 4.3 Variabilidade Espacial dos Atributos Biológicos

#### 4.3.1 Estatística descritiva dos atributos biológicos do solo

Na Tabela 7 é possível observar os grupos da fauna do solo encontrados na voçoroca, o total de indivíduos, a riqueza e o índice de Shannon. Todos os grupos da fauna do solo apresentaram CV muito alto, o que é característico destas variáveis com elevado erro padrão. CORREIA et al. (2005) e BIANCHI (2008) encontraram erro padrão alto dos organismos da fauna do solo em área revegetada pela mineração de bauxita em Porto Trombetas - PA, assim como OLIVEIRA et al. (2008) que estudaram a colonização de artrópodes edáficos na decomposição da serrapilheira de duas espécies contrastantes no município de Seropédica - RJ. Dentre os grupos da fauna do solo o menor CV foi encontrado no Collembola Entomobryomorpha com 89,02 % e o maior valor com 943,4 % foram encontrados nos grupos Chilopoda, Diplura, Gastropoda e Thysanura. Nesses quatro grupos foi coletado apenas 1 indivíduo dentro todas as 92 amostras coletadas. WARRICK & NIELSEN (1980) dizem que o CV dos atributos do solo pode chegar a 1000%. O total de indivíduos, a riqueza média de grupos e o índice de Shannon apresentaram os menores CVs por serem valores de transformações dos dados brutos. Na classificação proposta por WARRICK & NIELSEN (1980) todos os grupos da fauna do solo apresentaram alto CV. A riqueza média, o total de indivíduos e o índice de Shannon apresentaram CV médio.

Os altos valores do CV indicam que os dados biológicos, de uma maneira geral, possuem variabilidade maior do que os atributos químicos e físicos medidos na voçoroca. Isto porque ao contrário de outras variáveis apresentam comportamento gregário devido a características de reprodução e alimentação. De todos os grupos da fauna do solo coletados, apenas Acari, Coleoptera, Diptera, Entomobryomorpha, Formicidae, Hymenoptera, Orthoptera, Poduromorpha, Symphypleona, Thysanoptera apresentaram coeficiente de variação de até 200 %, totalizando 32,26 % de todos os grupos coletados. Os demais grupos com 67,74% do total apresentaram CV acima de 200%. Isto mostra a alta variabilidade dos grupos da fauna do solo em estudo com voçorocas, que possuem diferenças nos terços da voçoroca e no entorno e interior da mesma. MACHADO et al. (2006) relatam que o maior CV obtido provavelmente deveu-se a grade de amostragem utilizada.

De todos os grupos coletados, não foi observada a presença de pelo menos um indivíduo nas 92 amostras coletadas, apresentando na estatística descritiva, o valor mínimo zero. Houve grande variação entre os valores máximos nos indivíduos da fauna do solo, de 91,57 ind arm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no Entomobryomorpha a 0,002 ind arm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no Chilopoda, Diplura, Gastropoda e Thysanura que foram os que obtiveram os maiores CVs. ETTEMA & WARDLE (2002) afirmam que essas diferenças são normais, pois a agregação espacial é influenciada por processos intrínsecos da população, tais como a reprodução, dispersão e competição. Esses dados corroboram o encontrado por RODRIGUES et al. (2008) e (2009) em trabalhos prévios nesta mesma voçoroca, porém com outra abordagem amostral, identificou o grupo Acari, Entomobryomorpha e Formicidae como os mais abundantes. TOLEDO (2003) avaliando a fauna edáfica em duas florestas, com 20 e 60 anos de regeneração na mesma região de estudo, verificaram que Formicidae, Coleoptera, Diptera, Homoptera e Hymenoptera foram os grupos mais dominantes.

Analisando a média dos grupos, os mais abundantes foram Acari, Diptera, Entomobryomorpha, Formicidae, Poduromorpha, Hymenoptera, Orthoptera, Symphypleona. Foram coletados em média 24,58 ind arm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Os grupos mais abundantes apresentaram os menores CV, explicado pelo fato da menor variabilidade, uma vez que são mais abundantes e, teoricamente, mais fáceis de serem coletados nas armadilhas. HELLWIG et al. (2009)



estudando uma área degradada e sua conversão para o sistema agroflorestal identificaram que houve o predomínio de Acari (55%) seguida da ordem Collembola (31%) nestas áreas. Além destas ainda foram identificados indivíduos da ordem Hymenoptera (6,5%), Diptera (3,5%), Isopoda (2,7%) e Oligochaeta (0,4%). ROVEDDER et al. (2004) estudando a fauna edáfica em área degradada pela arenização no Rio Grande do Sul perceberam que os grupos Hymenoptera (incluído Formicidae), Coleoptera e Diptera foram os mais abundantes e no sistema de plantio conservacionista Acari e Collembola.

**Tabela 7:** Estatística descritiva dos atributos biológicos. Pinheiral – RJ.

Atributos Biológicos	Min*.	Máx.	Média	Assi.	Curt.	CV (%)	Erro Padrão
Acari	0	10,86	1,49	2,46	8,43	121,6	1,81
Araneae	0	4,00	0,23	6,51	52,7	196,8	0,46
Auchenorrhyncha	0	2,86	0,16	5,53	36,63	223,4	0,37
Coleoptera	0	0,43	0,08	1,44	1,49	143,8	0,12
Diplopoda	0	0,29	0,02	2,81	7,41	271,8	0,07
Diptera	0	2,00	0,32	2,06	7,52	102,3	0,33
Entomobryomorpha	0	91,57	14,92	2,45	11,50	89,02	13,28
Formicidae	0	17,14	2,83	2,66	12,86	86,21	2,44
Heteroptera	0	0,29	0,03	2,47	5,71	245,4	0,06
Hymenoptera	0	1,86	0,35	1,74	3,47	117,4	0,42
Isopoda	0	0,57	0,02	4,73	27,95	325,4	0,08
Isoptera	0	0,57	0,04	3,47	13,24	270,6	0,10
L. Coleoptera	0	0,57	0,05	2,72	8,73	214,2	0,10
L. Diptera	0	2,57	0,11	5,38	32,74	315,2	0,35
L. Lepidoptera	0	0,29	0,01	5,18	26,98	489,8	0,05
L. Neuroptera	0	0,43	0,02	3,71	15,12	316,4	0,07
Orthoptera	0	1,286	0,275	1,55	2,47	111,9	0,307
Poduromorpha	0	29,14	3,10	2,92	9,38	179,7	5,58
Psocoptera	0	0,286	0,013	3,88	15,95	361,3	0,046
Sternorrhyncha	0	0,857	0,083	2,59	7,37	199,5	0,167
Symphyla	0	0,429	0,016	4,73	25,12	389,7	0,063
Symphyleona	0	1,571	0,275	1,52	1,76	133,7	0,367
Thysanoptera	0	0,571	0,100	1,43	1,55	142,6	0,142
Trichoptera	0	0,143	0,011	3,18	8,33	344,2	0,039
Blattodea	0	0,143	0,005	5,26	26,22	538,4	0,026
Chilopoda	0	0,143	0,002	9,43	89,00	943,4	0,015
Diplura	0	0,143	0,002	9,43	89,00	943,4	0,015
Gastropoda	0	0,143	0,002	9,43	89,00	943,4	0,015
L. Formicidae	0	0,286	0,005	7,52	58,99	699,9	0,034
Thysanura	0	0,143	0,002	9,43	89,00	943,4	0,015
Mantodea	0	0,143	0,003	6,55	41,91	663,3	0,021
Total	0,29	119,10	24,58	1,72	5,20	79,42	19,52
Riqueza Média	1,00	16,00	9,96	-0,38	0,06	31,29	3,12
Índice de Shannon	0,57	2,80	1,80	-0,25	-0,39	26,25	0,47

\*Min.: mínimo; Máx.: máximo; Assi.: assimetria; Curt.: Curtose; CV: coeficiente de variação. Valores mínimos, máximos, média e erro padrão em ind arm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> indivíduos de todos os grupos e do total de indivíduos. L. Coleoptera: Larva de Coleoptera; L. Diptera: Larvas de Diptera; L. Lepidoptera: Larvas de Lepidoptera; L. Neuroptera: Larvas de Neuroptera.

Na análise de normalidade dos dados, diversos grupos não apresentaram valores de assimetria próximos a zero e curtose próximo de três. Para ISAACS & SRIVATAVA (1989) a normalidade dos dados não é uma exigência na geoestatística. Para esses autores a utilização da geoestatística implica na estacionaridade da semivariância formando um patamar no semivariograma e a média e variâncias devem ser constantes na área de estudo. A não normalidade dos dados indica que as médias desses dados não são capazes de expressar a tendência central de um conjunto de dados (SILVA et al., 2006).

#### 4.3.2 Análise da dependência espacial dos atributos biológicos do solo

Na análise da variabilidade espacial, apenas 11 grupos dos 31 coletados apresentaram dependência espacial (Tabela 8). Esses grupos foram os que apresentaram os menores CV, os maiores números de indivíduos coletados e os valores de assimetria e curtose normais ou mais próximos à normalidade. No total de indivíduos, na riqueza e no índice de Shannon foi detectada dependência espacial devido os dados utilizados no cálculo não serem dados brutos.

Nos dados da fauna do solo o modelo gaussiano e esférico, individualmente, foram ajustados em 38,46 % dos atributos biológicos estudados. O modelo linear foi ajustado em 15,38% e o exponencial em 7,70 % dos casos. GE et al. (2005) estudando a distribuição espacial de *Helicoverpa armigera* em algodão na China perceberam que os padrões espaciais foram relacionados à densidade populacional. Para a população de baixa densidade, as tendências espacialmente heterogêneas eram geralmente de formas esféricas, mas para os de alta densidade, as tendências mudaram a formas de gaussiano.

Os alcances dos dados biológicos mostram evidências de diferenças. Há uma variação de 29,90 metros no alcance encontrado no grupo Formicidae para o alcance de 7,59 m encontrado no grupo Poduromorpha. Esses dados mostram que estes grupos possuem diferenças na distância de dependência espacial e que a correlação entre os pontos amostrados mostra-se quase quatro vezes maior no Poduromorpha. Os menores valores para o alcance foram encontrados no índice de Shannon e Outros com 7,00 e 7,06 metros, respectivamente. Todos os valores de alcance obtidos foram maiores que o valor de espaçamento entre as amostragens, indicando que as amostras estão correlacionadas umas a outras, o que permite que se façam interpolações (VIEIRA, 2000).

Os dados de alcance estão consoantes aos encontrados por PAULI et al. (2009) que estudando minhocas perceberam que o alcance variou de 10 a 18 metros em duas épocas de coleta espaçadas 22 dias. ETTEMA & WARDLE (2002) dizem que na escala de campo, a distribuição da biota do solo são muitas vezes espacialmente estruturado em distâncias de dezenas a centenas de metros, dependendo do organismo, o sistema estudado e o mínimo e máximo espaçamento das amostras.

O grupo Acari e Entomobryomorpha ajustaram-se com  $r^2$  de 0,98 indicando alta correlação dos pontos de semivariância em função da distância com o modelo ajustado. O índice de Shannon obteve o menor  $r^2$  com 0,31. De uma maneira geral os valores de  $r^2$  mostram-se altos.

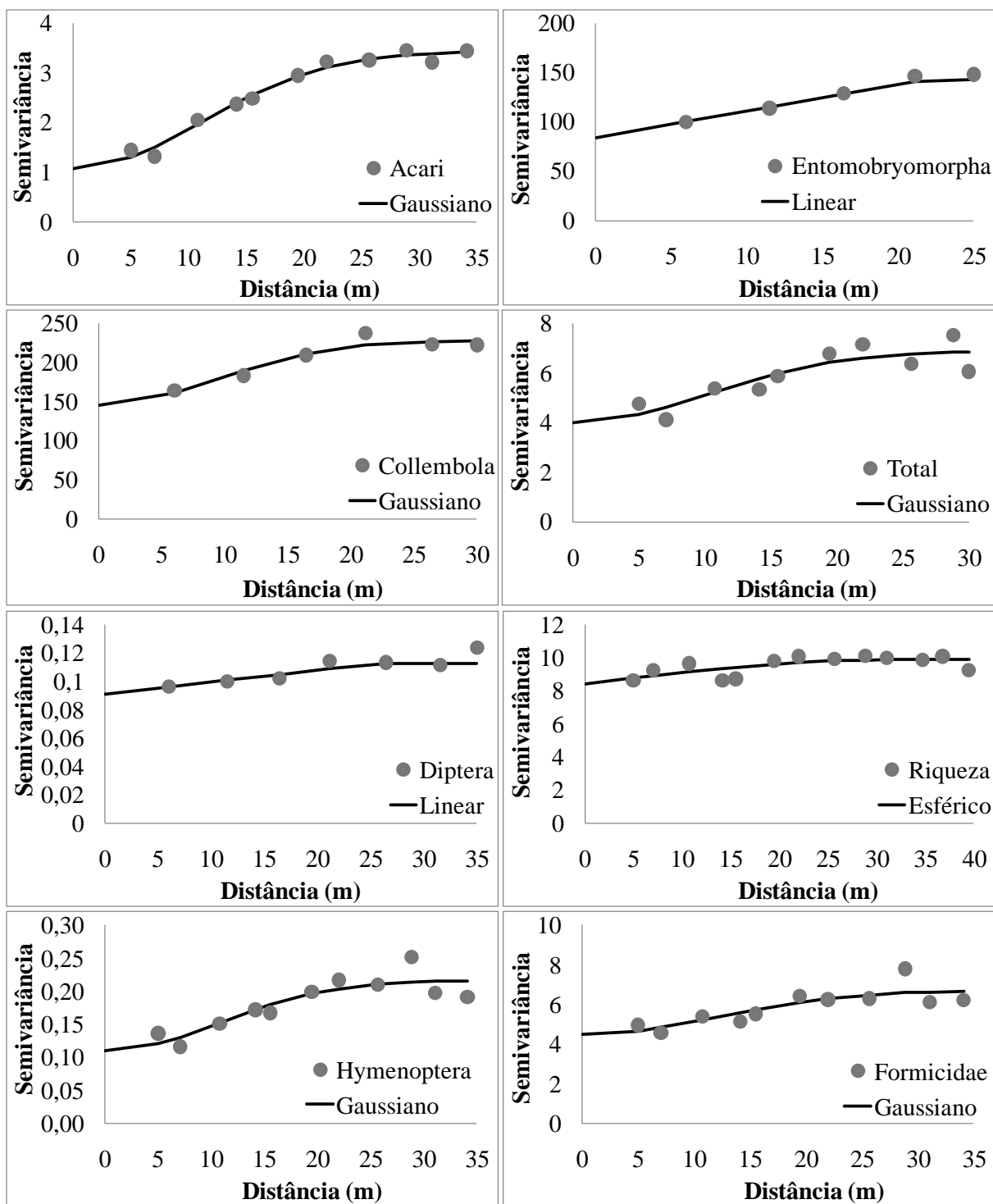
Na análise do grau de dependência espacial (GDE), 69,23% dos atributos ajustados apresentaram grau moderado de dependência espacial assim como todos os ajustes de modelo gaussiano. O grupo Diptera e a riqueza média obtiveram GDE fraco e os grupos Coleoptera e Poduromorpha apresentaram GDE forte. Estes dados corroboram com os encontrados para os atributos químicos do solo que, na sua maioria, apresentaram GDE moderado.

Na Figura 19 e Figura 20 são apresentados os semivariogramas dos atributos biológicos do solo. Observa-se que todos os semivariogramas apresentam patamar identificado aceitando a hipótese intrínseca da geoestatística.

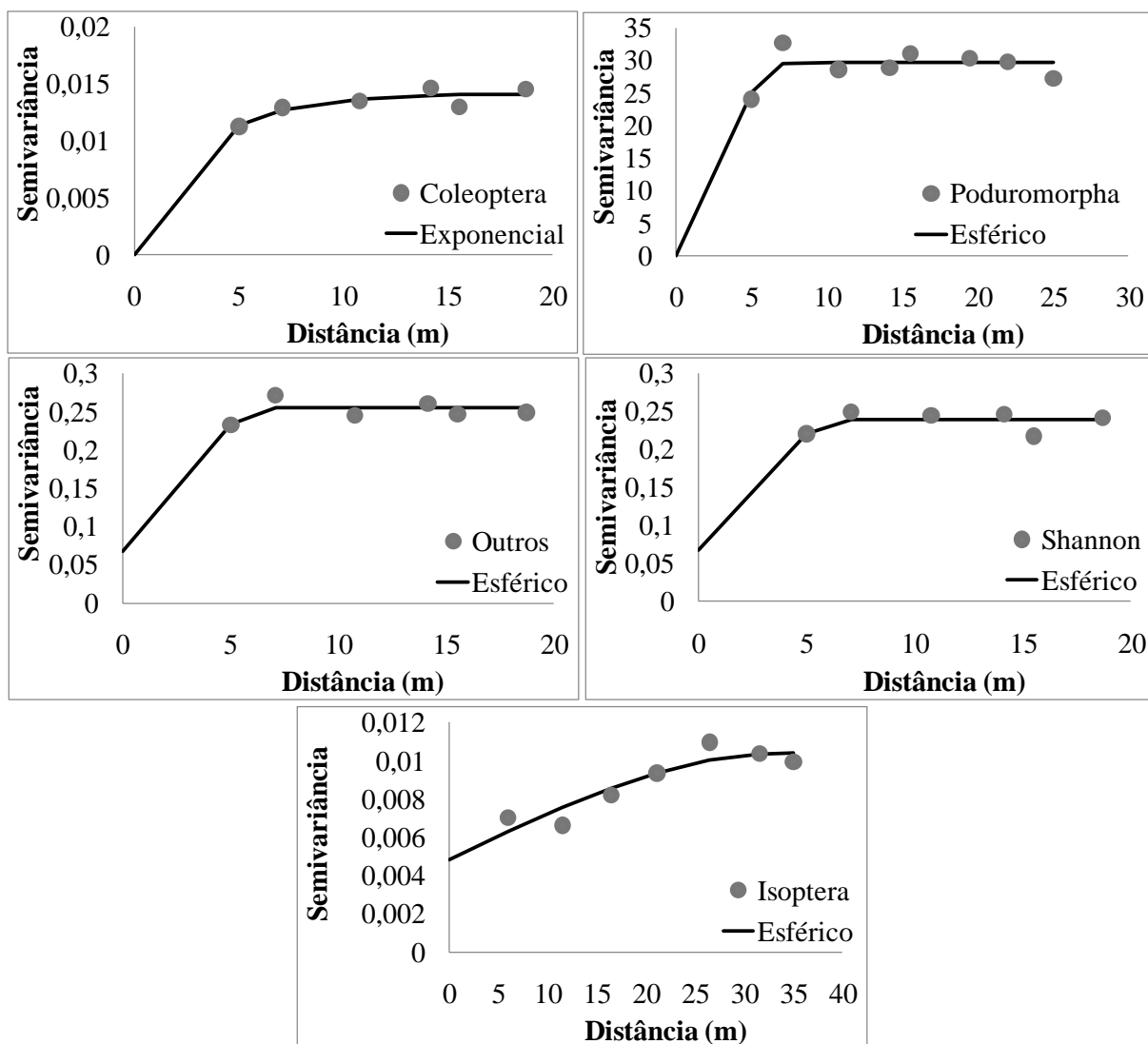
**Tabela 8:** Parâmetros da análise semivariográfica dos atributos biológicos do solo. Pinheiral – RJ.

Atributos Biológicos	Modelo*	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	a (m)	r <sup>2</sup>	IDE (%)	GDE
Acari	Gaussiano	1,08	2,36	27,00	0,98	31,40	Moderada
Entomo**	Linear	84,07	60,00	22,08	0,98	58,35	Moderada
Collembola	Gaussiano	146,02	82,83	22,81	0,91	63,81	Moderada
Total	Gaussiano	3,99	2,91	25,08	0,77	57,83	Moderada
Diptera	Linear	0,091	0,022	26,00	0,84	80,53	Fraca
Riqueza Média	Esférico	8,44	1,45	31,71	0,47	85,34	Fraca
Hymenoptera	Gaussiano	0,109	0,107	26,01	0,79	50,46	Moderada
Formicidae	Gaussiano	4,47	2,24	29,90	0,68	66,62	Moderada
Coleoptera	Exponencial	0	0,014	9,17	0,77	0	Forte
Poduromorpha	Esférico	0	29,78	7,59	0,55	0	Forte
Outros**	Esférico	0,068	0,187	7,06	0,43	26,67	Moderada
Shannon**	Esférico	0,068	0,172	7,00	0,31	28,33	Moderada
Isoptera	Esférico	0,006	0,0038	27,00	0,78	61,22	Moderada

\* Modelo selecionado por variação cruzada (Jack-knifing). C<sub>0</sub>: efeito pepita; C<sub>1</sub>: variância estruturada; a: alcance (m); IDE: índice de dependência espacial (C<sub>0</sub>/C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>)\*100; GDE: Grau de dependência espacial proposto por Cambardella et al. (1994). \*\* Entomo: Entomobryomorpha; Shannon: Índice de Shannon; Outros: Somatórios dos grupos.



**Figura 19:** Semivariogramas dos atributos biológicos do solo. Semivariância de Acari, Entomobryomorpha, Collembola, Total, Diptera, Hymenoptera e Formicidae em  $\text{ind arm}^{-1} \text{dia}^{-1}$  e riqueza.



**Figura 20:** Semivariogramas dos atributos biológicos do solo. Semivariograma de Coleoptera, Poduromorpha, Outros e Isoptera em  $\text{ind arm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  e índice de Shannon.

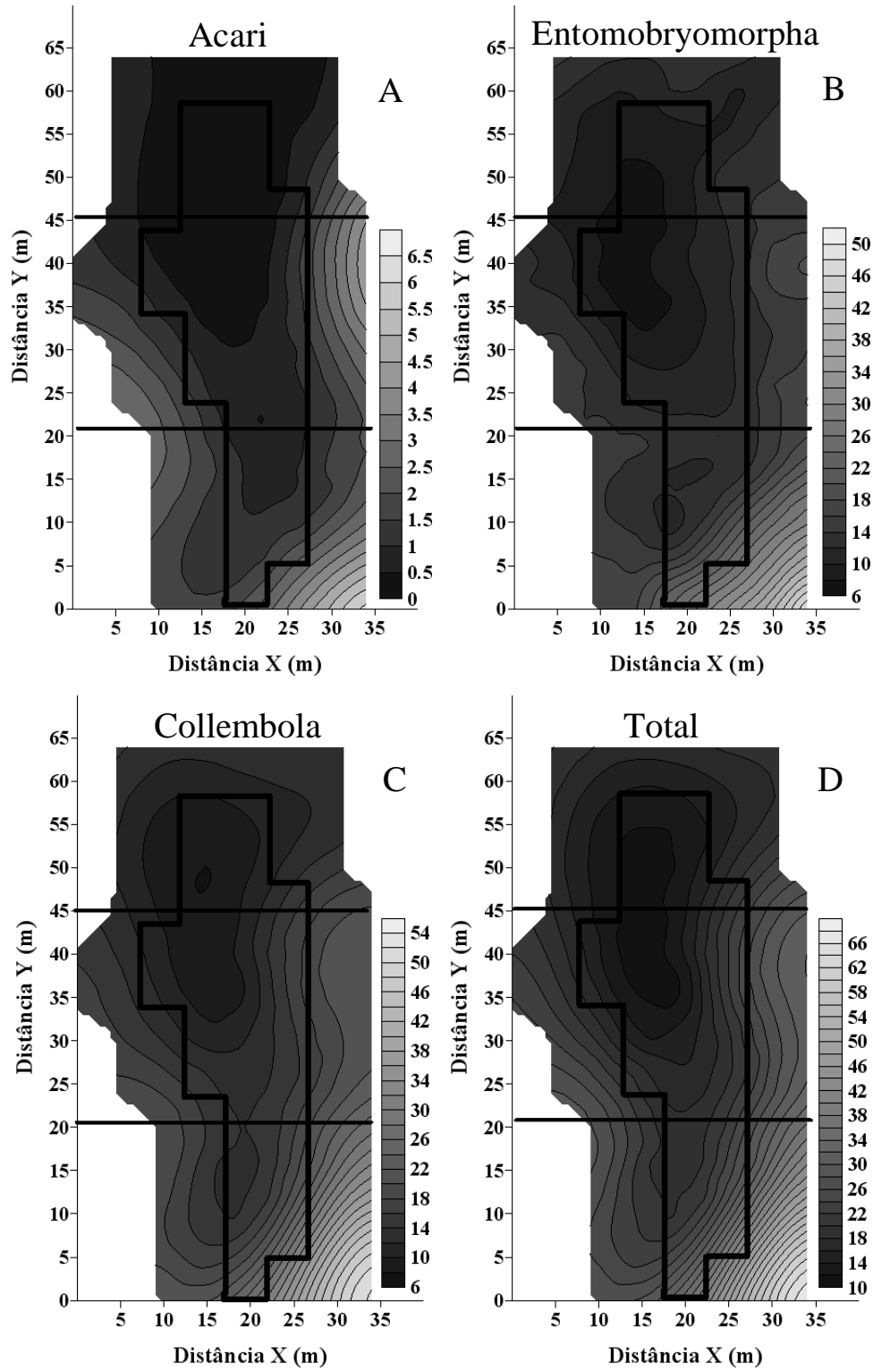
#### 4.3.3 Análise dos mapas de variabilidade espacial dos atributos biológicos do solo

Nos mapas de variabilidade espacial dos atributos biológicos percebem-se cinco padrões distintos de distribuição: Padrão 1: Acari, Entomobryomorpha, Collembola e Total; Padrão 2: Diptera e Riqueza Média; Padrão 3: Hymenoptera e Formicidae; Padrão 4: Coleoptera, Poduromorpha, o somatório de outros grupos e o Índice de Shannon; Padrão 5: Isoptera. Essas diferenças de distribuição são provenientes de hábitos alimentares, características físicas e químicas do solo e relevo. Características como especificidade na alimentação, níveis de resistência a intempéries, biologia reprodutiva e habilidade de dispersão também são razões da maior ocorrência desses organismos em determinadas áreas (HOFFMANN et al., 2009). A densidade populacional de ácaros e colêmbolos é resultado de um conjunto de fatores, ressaltando-se o teor de matéria orgânica (SILVA et al., 2007).

Na análise do mapa de variabilidade espacial de Acari percebe-se o gradiente do TS, TM e TI no entorno da voçoroca (Figura 21). Os menores valores são encontrados no TS e os maiores no TI e TM do lado direito. O entorno apresentou maior número de indivíduos coletados e no interior o grupo Acari ficou próximo a zero ind arm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. A área demarcada no mapa com maior número de indivíduos de Acari tinha, quase que na sua totalidade, pastagem. Apesar de o grupo Acari possuir um número de indivíduos menor em comparação com o Entomobryomorpha, Collembola e o total, apresenta semelhante padrão de distribuição.

No grupo Entomobryomorpha também ocorreu um gradiente no entorno do TS para o TI, sendo os maiores valores encontrados no entorno no TI. Quando comparados o entorno com o interior da voçoroca também ocorre diferença na variabilidade, onde é encontrado um maior número de indivíduos no entorno da voçoroca no TI assim como encontrado para o grupo Acari. No Entomobryomorpha não é encontrada uma pequena mancha com maior número de indivíduos no entorno do TM como encontrado para o grupo Acari que pode ser explicado devido o grupo Acari ser predador de Collembola. Esses resultados podem ser explicados pela associação do Acari e Collembola com a umidade e carbono orgânico do solo. Para BUTCHER et al. (1971) apud SAUTTER et al. (1996) a umidade tem um papel importante no grau de distribuição dos Collembola e uma baixa umidade pode resultar em migração, baixa reprodução e alta mortalidade.

De acordo com VARGAS & HUNGRIA (1997) os colêmbolos contribuem para a fragmentação fina da serrapilheira, pois não digerem celulose, hemicelulose e lignina. GOUVÊA et al. (2008) observaram que a população de colêmbolos teve um comportamento semelhante à população de ácaros, resultando num maior número de indivíduos em sistema conservacionista. SAUTTER et al. (1998) estudando a população de Acari e Collembola em pastagem na recuperação de solos degradados pela mineração de xisto concluíram que a população de Acari Oribatei é mais afetada pelo teor de carbono orgânico do solo e não é afetada de modo significativo pela pelas mudanças de umidade do solo enquanto que os Collembola são mais sensíveis as variações de umidade do que as variações do teor de carbono orgânico.



**Figura 21:** Mapas de variabilidade espacial: A) Acari; B) Entomobryomorpha; C) Collembola; D) Total. Valores em  $\text{ind arm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ .

Para ASSAD (1997) Collembola é extremamente dependente de umidade e ROVEDDER et al. (2004) perceberam que na área degradada pela arenização o Collembola não foi um grupo abundante devido a retirada da cobertura vegetal e, com isso, a umidade nesta área estava muito baixa além da carência de fontes alimentares devido a ausência de cobertura vegetal.

Os mapas de Collembola e total de indivíduos apresentaram padrão de distribuição da variabilidade idêntica. O maior número de indivíduos encontrado foi do grupo Collembola, no entorno do TI com  $54 \text{ ind arm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  e no total de indivíduos com  $66 \text{ ind arm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ . Os menores valores foram encontrados no TS apresentando um gradiente em função do relevo. Os valores no interior da voçoroca foram inferiores aos encontrados no entorno. No total de indivíduos estão a soma de todos os grupos e os grupos mais dominantes sobressaíram em relação aos demais apresentando o mapa de variabilidade espacial próximo aos que obtiveram os maiores valores.

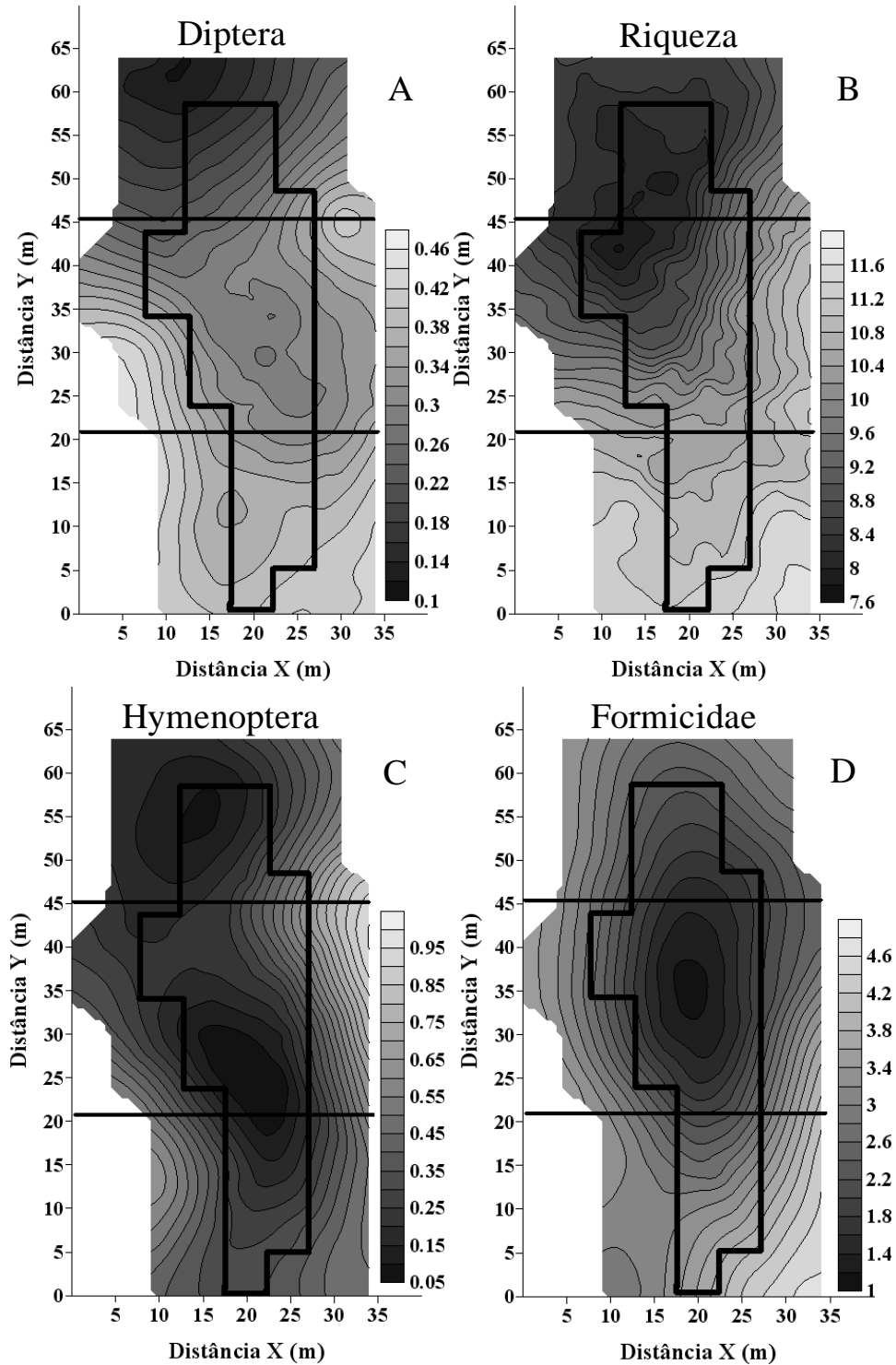
OLIVEIRA et al. (2005) estudando a diversidade de grupos da fauna do solo em áreas revegetadas da mineração de bauxita em Porto Trombetas verificaram que a diversidade de grupos foi insignificante, aumentando o número de grupos a cada ano e percebeu que em alguns ambientes que a vegetação pouco desenvolvida também foi um fator limitante para a fauna edáfica.

Na análise da variabilidade espacial do grupo Diptera apresentado na Figura 22 é notória a diferença de gradiente do TS onde são encontrados os menores valores, para o TI, estes com os maiores valores. Percebe-se que no entorno da voçoroca o grupo Diptera varia de forma inversamente proporcional ao relevo. Quando comparados o entorno e o interior, a diferença mais pronunciada é no TM, onde os maiores valores são encontrados no entorno da voçoroca. Estes valores estão de acordo com os parâmetros químicos e físicos, mas divergem dos demais indicadores biológicos. RAJPUROHIT et al. (2008) estudando a variabilidade espacial de Diptera: *Drosophila melanogaster* na Índia perceberam que as populações de maiores altitudes apresentaram valores traço 1,4 vezes maior que as populações de baixa altitude, perceberam também que houve variação ao longo do paralelo e altitude.

No mapa de variabilidade espacial da riqueza também ocorre um gradiente do TS para o TI como ocorreu no grupo Diptera e mostram-se muito semelhantes o padrão de distribuição da variabilidade. Na riqueza não ocorreu diferença pronunciada entre o entorno e interior da voçoroca como ocorreu em Diptera. O padrão de distribuição tende o gradiente do TS para o TI. A riqueza mostrou-se um bom indicador da qualidade do solo em voçorocas, pois variou em função dos atributos químicos e físicos do solo. Nesta coleta não foi verificada a colonização da maioria dos grupos da fauna do solo no interior da voçoroca. SADAKA & PONGE (2003) estudaram a influência da altitude ao longo do ano numa floresta no Marrocos sobre a distribuição vertical da fauna do solo e perceberam que os animais mais abundantes estavam presentes em maior altitude, na seqüência do aumento dos alimentos e a disponibilidade de habitat.

O grupo Hymenoptera apresentou um gradiente do entorno da voçoroca para o interior apresentando os maiores valores ( $0,95 \text{ ind arm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) no entorno. Percebe-se que no interior da voçoroca o número de indivíduos é baixo. À medida que ocorre o afastamento do interior da voçoroca tende a aumentar o número de indivíduos no TI do lado esquerdo e do TM do lado direito. O grupo Hymenoptera está associado às gramíneas existentes no entorno da voçoroca.





**Figura 22:** Mapas de variabilidade espacial: A) Diptera ( $\text{ind arm}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ); B) Riqueza; C) Hymenoptera ( $\text{ind arm}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ); D) Formicidae ( $\text{ind arm}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ).

As maiores abundâncias do grupo Formicidae foram encontrados no entorno que se percebe evidente gradiente para o interior da voçoroca. Enquanto no centro da voçoroca no TM a abundância é de apenas  $1 \text{ ind arm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  e no entorno são encontrados  $4,6 \text{ ind arm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ . Quando se compara o TS, TM e TI percebe-se uma mancha no TI do lado direito, indicando

que o maior número de indivíduos coletados estava nesta porção do terreno. Na maioria dos grupos da fauna estudados, o maior número de indivíduos foi coletado no entorno da voçoroca no TI. A estrutura das comunidades de formigas é fundamental em estudo de impacto ambiental, pois estas mantêm e restauram a qualidade do solo (BECKMANN, 2009). As formigas estavam associadas às gramíneas do entorno da voçoroca, pois as espécies coletadas alimentam-se de fungos e utiliza a gramínea para cultivá-lo.

Os dados obtidos por BECKMANN (2009) indicam que o tempo da revegetação não influencia na recolonização das áreas estudadas por formigas, mas a cobertura vegetal foi um fator chave para um aumento no número de espécies. PEREIRA et al. (2007) perceberam que a composição de espécies de formigas varia segundo a estrutura da vegetação, pois os ambientes reabilitados através de espécies nativas apresenta espécies diferentes quando comparadas com ambientes reabilitados com espécies exóticas e ambientes sem intervenção.

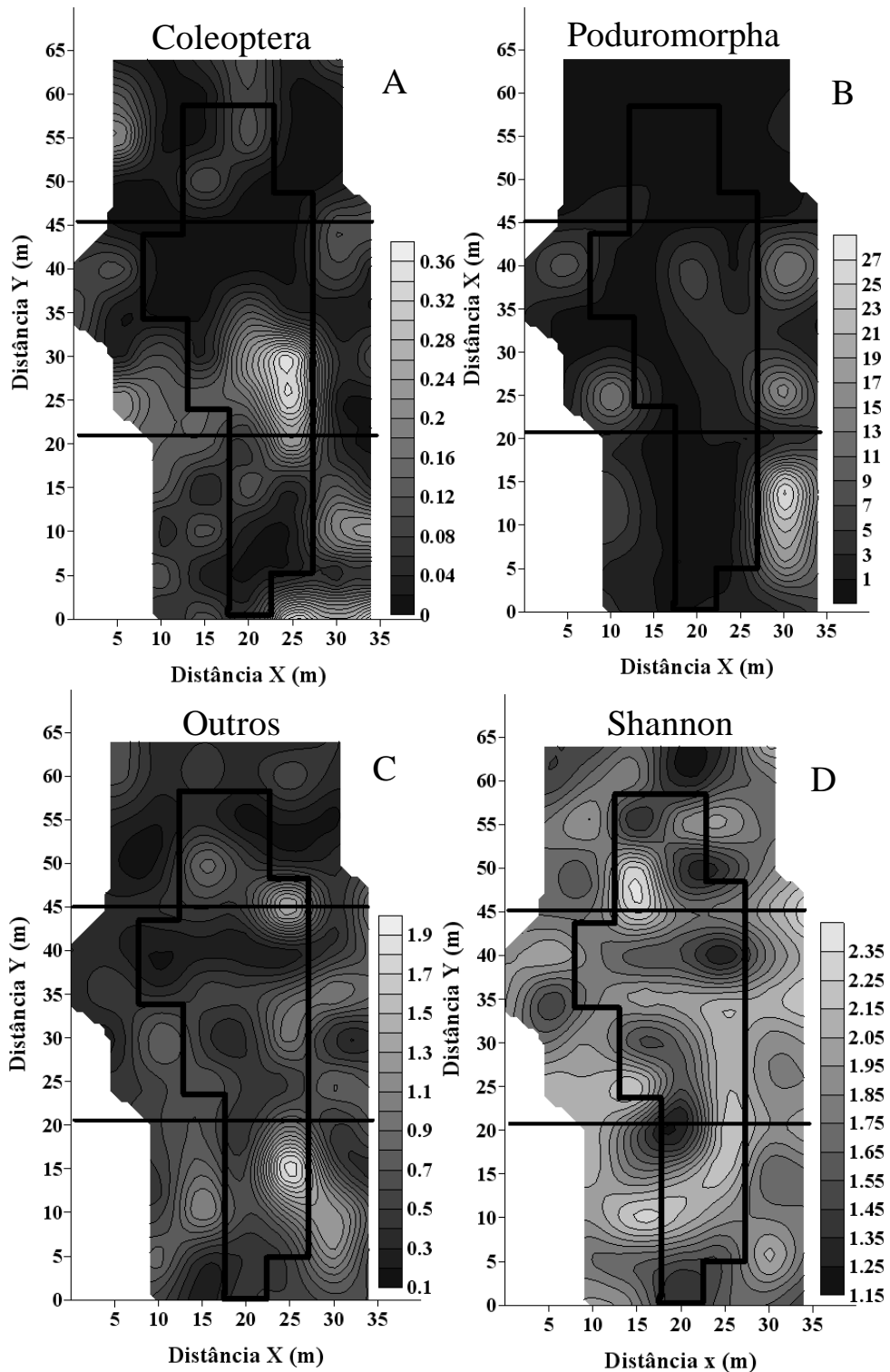
HOFFMANN et al. (2009) e DIAS et al. (2006) estudando uma área de um sistema silvipastoril também observaram que formigas dominaram na área de pastagem. Ocorreram três queimadas nesta voçoroca o que pode ter beneficiado o grupo Formicidae, pois NUNES et al. (2009) perceberam que após a queimada da área de estudo houve a redução de diversos grupos da fauna do solo e o grupo Formicidae ocorreu um aumento por serem insetos sociais.

A abundância do grupo Formicidae está associada ao teor de carbono orgânico do solo e segundo FRANÇA et al. (2007) estudando invertebrados edáficos em uma floresta perceberam que o acúmulo de matéria orgânica na floresta primária favoreceu a presença dos macro-invertebrados, especificamente os grupos sociais. As comunidades de formigas são mais ricas em espécies em ambientes reabilitados do que em ambientes degradados sem tratamento conservacionista (PEREIRA et al., 2007).

Os mapas de variabilidade espacial de Coleoptera, Outros e Índice de Shannon não apresentam um padrão de distribuição de gradientes, seja do entorno e interior da voçoroca e ou entre os terços da enconsta. O mapa de Coleoptera apresenta manchas com maior número de ind arm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no interior no TM e no entorno no TI e as manchas com menor número de ind arm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> são encontradas no TS, TM e TI.

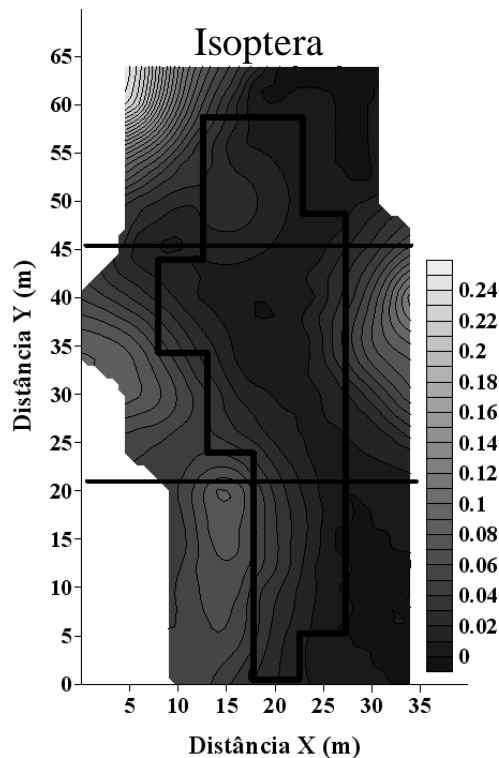
O Poduromorpha apresentou alguns pontos no entorno da voçoroca no TM e TI com maior número ind arm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> sendo bem pontuais. No interior da voçoroca os valores são zero ou estão próximo a zero ind arm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. No mapa de Outros e Índice de Shannon também apresentaram uma distribuição de variabilidade espacial não regular quando comparados com os outros mapas. Estudos têm demonstrado que os Coleoptera são sensíveis a variações florísticas e estruturais, em pequena escala espacial (GANHO & MARINONI, 2006) e possui hábitos alimentares diversos, como plantas, outros insetos, animais mortos.

O mapa de variabilidade espacial do Isoptera mostra que houve a colonização no entorno da voçoroca e os maiores valores são encontrados no entorno no TS e não se percebe a presença de indivíduos no interior da voçoroca, uma vez que o teor de carbono orgânico é muito baixo. Para NUNES et al. (2009) os cupins ocorrem em áreas com decréscimo de matéria orgânica e DOMINGOS et al. (1986) dizem que eles utilizam o solo e matéria orgânica como recurso alimentar e de construção dos ninhos.



**Figura 23:** Mapas de variabilidade espacial: A) Coleoptera ( $\text{ind arm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ); B) Poduromorpha ( $\text{ind arm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ); C) Outros ( $\text{ind arm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ); D) Índice de Shannon.

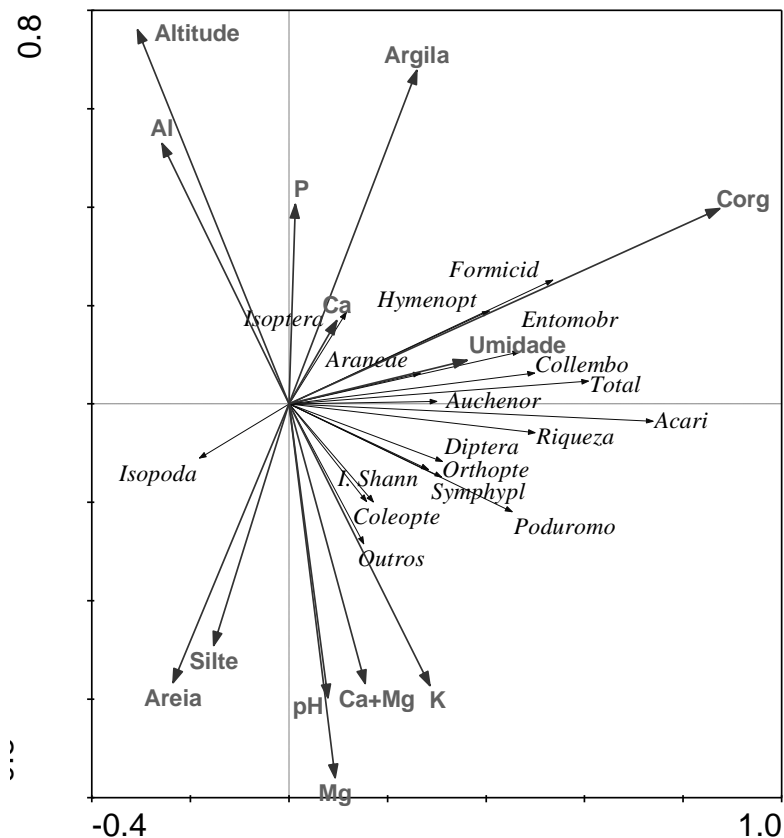
O grupo Isoptera, em termos de funcionalidade, apresenta hábito alimentar de saprofia (MOÇO et al., 2005), são decompositores e participam ativamente do processo de ciclagem de nutrientes. ANDRADE (1996) estudando Isoptera observou relações significativas principalmente com a textura do solo e com aspectos da vegetação.



**Figura 24:** Mapa de variabilidade espacial de Isoptera ( $\text{ind arm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ).

#### 4.3.4 Análise multivariada e correlação linear.

Na análise de redundância apresentada na Figura 25 as variáveis ambientais explicaram 36,7 % da variabilidade total, deste valor 65,7 % é explicado no eixo I e 10,0 % no eixo II. Foram utilizados como variáveis explicativas os dados químicos, físicos e altitude e as variáveis de resposta os grupos da fauna estudados. O eixo 1 diferencia todos os grupos da fauna do solo, riqueza, total de indivíduos e índice de Shannon do grupo Isopoda. O grupo Isopoda apresentou um padrão de distribuição muito diferenciado dos demais grupos e não apresentou dependência espacial. O eixo 1 também diferencia a argila,  $C_{\text{org}}$  e umidade da areia e silte e a altitude e o Al do pH, Mg, Ca+Mg, K. Na análise dos grupos da fauna do solo, a maioria está associada ao teor de  $C_{\text{org}}$ , da umidade e do teor de argila presente na voçoroca. Os grupos Formicidae e Hymenoptera possuem a mesma tendência do  $C_{\text{org}}$  mostrando alta correlação entre eles e corroboram o que foi discutido anteriormente, assim como os grupos Entomobryomorpha, Acari, Total e Collembola e Isoptera. GONGALSKY et al. (2008) estudando a variabilidade espacial de invertebrados edáficos numa floresta no sul da Rússia concluíram que houve uma correlação significativa entre a distribuição da massa de serapilheira e parâmetros das comunidades animais do solo, a qual foi modulada pela profundidade da camada de solo e umidade do solo.



**Figura 25:** Biplot do diagrama de ordenação dos parâmetros biológicos do solo em função dos parâmetros químicos, físicos e altitude. pH: pontencial hidrogeniônico (1:2,5); Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; P: fósforo ; K: potássio; C<sub>org</sub>: carbono orgânico; Auchenor: Auchenorrhyncha; Coleopte: Coleoptera; Entomobr: Entomobryomorpha; Formicid: Formicidae; Hymenopt: Hymenoptera; Orthopte: Orthoptera; Poduromo: Poduromorpha; Symphypl: Symphypleona; Collembo: Collembola; I. Shann; I. Shannon.

Na análise de correlação linear entre os atributos químicos, físicos e altitude apresentado na Tabela 9 o pH e a argila foram as variáveis com um maior número de correlações significativas, dez no total, seguido pelo magnésio, areia e silte com nove, o Ca+Mg com oito e o P, K, C<sub>org</sub> e silte com sete variáveis correlacionadas. Os mapas de variabilidade espacial também apresentaram padrão semelhante ou inversamente proporcional em algumas variáveis e na análise de correlação não foi diferente. Os maiores valores de pH são inversamente proporcionais aos de Al, P, C<sub>org</sub>, argila e altitude e diretamente proporcionais ao Ca+Mg, Mg, K, areia e silte. Maiores valores de pH refletem em maior saturação de bases no complexo sortivo e menores teores de Al. A umidade gravimétrica foi a variável com menor número de correlações significativas, para o Ca e C<sub>org</sub> foram observadas correlações diretamente proporcionais. A argila correlacionou inversamente proporcional com a maioria dos elementos químicos devido a saturação do Al no complexo sortivo.

Na análise de correlação linear entre os atributos biológicos e os atributos químicos, físicos e altitude percebe-se grande diferença na correlação. O C<sub>org</sub> foi a variável com maior número de correlações significativas com os dados biológicos, num total de quatorze, seguido pela altitude com dez, K com oito, Al com sete e umidade com seis

Tabela 10). PAULI (2008) estudando a variabilidade espacial da macrofauna do solo numa conversão de agricultura de corte e queima para o sistema agroflorestal percebeu que a densidade de árvores e teor de matéria orgânica teve o mais forte relacionamento com a abundância da macrofauna do solo.

Diversos grupos da fauna do solo foram dependentes do  $C_{org}$ , da altitude e do teor de K, Al e umidade do solo. No Al todos os grupos foram inversamente proporcionais, no K diretamente proporcionais e no teor de  $C_{org}$  apenas o Isopoda foi inversamente proporcional e não houve correlação significativa do Ca e P. A areia e silte estavam correlacionados inversamente com o grupo Formicidae. ALMEIDA et al. (2007) estudando a influência da calagem na abundância da fauna do solo em um Cambissolo sob semeadura direta perceberam que de todos os atributos químicos avaliados, apenas o  $C_{org}$  apresentou correlação significativa com a abundância de indivíduos. Verificaram que a correção do solo pela calagem não apresentou correlação com a abundância dos invertebrados edáficos.

NASCIMENTO et al. (2008) estudando a macrofauna em Cáceres – MT ao longo do Rio Paraguai perceberam que o total de indivíduos, Diptera, Collembola, Araneae e Orthoptera se correlacionaram com o K do solo. LOURENTE et al. (2007) também observaram que Coleoptera foi correlacionado com K e Mg e a riqueza de grupos com K e  $C_{org}$  avaliando a macrofauna edáfica em seis sistemas de manjo do solo no Mato Grosso do Sul. MERLIM (2005) estudando a correlação entre atributos químicos da serrapilheira com a fauna do solo em diferentes sistemas de floresta de *Araucaria angustifolia* em Campos do Jordão-SP verificou que dos nove atributos estudados da serrapilheira apenas a umidade e o nitrogênio total foi correlacionado com Coleoptera e Formicidae.

A correlação linear dos grupos da fauna do solo, total de indivíduos, riqueza, outros e índice de Shannon estão apresentados na Tabela 11. A riqueza foi o atributo com o maior número de correlações, 15, seguido pelo Acari, Collembola, Entomobryomorpha com 14, total de indivíduos e Orthoptera com 13. O grupo Isopoda esteve correlacionado apenas com Entomobryomorpha, e o grupo Isoptera correlacionou com Auchenorrhyncha e Outros. A alta correlação da riqueza com a maioria dos grupos é o aumento da riqueza em gradiente inversamente proporcional ao relevo, assim como ocorreu nos mapas de variabilidade espacial. Esses altos números de correlações existentes são provenientes de hábito alimentar e competição. As correlações de Acari com diversos grupos podem ser explicadas pela predação de ovos e adultos e o Entomobryomorpha devido ser alimento de diversos grupos da fauna do solo. OLIVEIRA et al. (2005) também perceberam que Collembola se correlacionou positivamente com Acari e Formicidae em áreas revegetadas pela mineração de bauxita em Porto Trombetas, mostrando o aumento de Collembola e de predadores.

**Tabela 9:** Análise de correlação linear entre os atributos químicos, físicos e altitude.

	pH	Al	Ca+Mg	Ca	Mg	P	K	Corg	Ug	Argila	Areia	Silte	Alt.
pH	1,00												
Al	<b>-0,76**</b>	1,00											
Ca+Mg	<b>0,66**</b>	<b>-0,68**</b>	1,00										
Ca	0,10	-0,16	<b>0,50**</b>	1,00									
Mg	<b>0,69**</b>	<b>-0,68**</b>	<b>0,81**</b>	-0,09	1,00								
P	<b>-0,25**</b>	0,12	-0,16	0,10	<b>-0,25**</b>	1,00							
K	<b>0,59**</b>	<b>-0,69**</b>	<b>0,67**</b>	0,13	<b>0,69**</b>	-0,16	1,00						
Corg	-0,24*	0,03	-0,16	0,10	<b>-0,27**</b>	0,21*	0,08	1,00					
Umidade	0,11	-0,17	0,14	0,23*	0,01	0,05	0,12	<b>0,34**</b>	1,00				
Argila	<b>-0,53**</b>	<b>0,33**</b>	<b>-0,39**</b>	0,15	<b>-0,56**</b>	<b>0,34**</b>	<b>-0,36</b>	<b>0,39**</b>	0,05	1,00			
Areia	<b>0,50**</b>	<b>-0,37**</b>	<b>0,45**</b>	-0,06	<b>0,57**</b>	<b>-0,31**</b>	<b>0,43</b>	<b>-0,30**</b>	-0,11	<b>-0,91**</b>	1,00		
Silte	<b>0,27**</b>	-0,06	0,04	-0,24*	0,20*	-0,18*	0,00	<b>-0,34**</b>	0,09	<b>-0,57**</b>	0,18*	1,00	
Altitude	<b>-0,56**</b>	<b>0,69**</b>	<b>-0,62**</b>	-0,08	<b>-0,66**</b>	0,22*	<b>-0,61</b>	0,08	<b>-0,34</b>	<b>0,27**</b>	<b>-0,26**</b>	-0,12	1,00

pH: pontencial hidrogeniônico (1:2,5); Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; P: fósforo; K: potássio; C<sub>org</sub>: carbono orgânico; Ug: umidade gravimétrica; Alt: altitude. Valores em negrito indicam diferença significativa pelo teste de Pearson a 1 % de probabilidade. Valor seguido por asterístico (\*) indicam diferença significativa pelo teste de Pearson a 5 % de probabilidade.

**Tabela 10:** Análise de correlação linear da fauna do solo com atributos químicos, físicos e altitude.

	pH*	Al	Ca+Mg	Ca	Mg	P	K	Corg	Ug	Argila	Areia	Silte	Alt.
Acari	0,08	-0,18*	0,11	0,05	0,08	0,05	0,20*	<b>0,57**</b>	<b>0,28**</b>	0,07	-0,04	-0,09	<b>-0,26**</b>
Araneae	-0,08	0,03	0,01	-0,06	0,04	-0,03	-0,01	0,19*	-0,03	0,15	-0,10	-0,15	-0,03
Auche.	0,03	-0,01	-0,01	-0,04	0,01	0,03	0,05	<b>0,24**</b>	0,06	0,07	-0,05	-0,08	-0,05
Coleoptera	<b>0,25**</b>	<b>-0,34**</b>	0,23*	0,00	<b>0,27**</b>	0,05	<b>0,26</b>	0,06	0,04	-0,14	0,15	0,03	<b>-0,25**</b>
Diptera	0,05	-0,17	0,09	-0,01	0,10	-0,15	0,12	0,18*	0,19*	0,05	-0,08	0,04	-0,16
Entomo.	0,10	-0,21*	0,09	0,09	0,03	0,09	0,19*	<b>0,43**</b>	0,19*	0,17	-0,14	-0,13	-0,22*
Formicidae	-0,17	0,02	-0,04	0,03	-0,08	0,01	-0,03	<b>0,47**</b>	0,09	<b>0,24**</b>	-0,19*	-0,21*	0,01
Hymenoptera	-0,14	-0,01	0,00	0,08	-0,06	0,09	0,00	<b>0,40**</b>	0,12	0,20*	-0,17	-0,14	0,05
Orthoptera	0,13	-0,20*	0,24*	0,04	<b>0,25**</b>	-0,09	0,20*	0,14	0,02	0,03	-0,01	-0,05	-0,21*
Poduromorpha	0,06	-0,13	0,06	-0,04	0,09	0,01	0,09	<b>0,29**</b>	0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,22*
Symphyleona	0,21*	-0,22*	0,11	0,03	0,09	-0,16	0,21*	0,18*	-0,04	0,02	-0,03	0,02	-0,16
Isopoda	0,09	-0,01	0,06	-0,07	0,11	-0,12	0,13	-0,19*	-0,19*	-0,14	0,16	0,01	0,05
Isoptera	-0,02	0,14	-0,06	0,00	-0,07	-0,01	-0,03	0,18*	0,10	0,05	-0,03	-0,07	0,18*
Total	0,08	-0,20*	0,09	0,06	0,06	0,06	0,19*	<b>0,51**</b>	0,18*	0,16	-0,13	-0,13	<b>-0,25**</b>
Riqueza	0,12	-0,16	0,22*	0,11	0,16	-0,05	<b>0,27**</b>	<b>0,41**</b>	0,19*	0,04	-0,05	0,01	-0,23*
Outros	0,15	-0,03	0,13	-0,10	0,21*	-0,15	0,13	-0,01	0,11	-0,17	0,11	0,17	<b>-0,24**</b>
Collembola	0,11	-0,22*	0,09	0,06	0,06	0,08	0,19*	<b>0,45**</b>	0,16	0,14	-0,12	-0,11	<b>-0,26**</b>
I. Shannon	0,01	0,00	0,16	-0,01	0,19*	-0,13	0,11	0,05	-0,01	-0,18*	0,16	0,11	-0,13

pH: pontencial hidrogeniônico (1:2,5); Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; P: fósforo; K: potássio; C<sub>org</sub>: carbono orgânico; Ug: umidade gravimétrica; Alt: altitude; Entomo: Entomobryomorpha; Auche. Auchenorrhyncha. Valores seguido por \*\* e \* indica diferença significativa pelo teste de Pearson a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.



**Tabela 11:** Análise de correlação linear entre os grupos da fauna do solo, total de indivíduos, riqueza, somatório de outros indivíduos e índice de Shannon.

	Acari	Araneae	Auc	Cole	Dip	Ent	Form	Hyme	Ort	Pod	Symp	Isopo	Isopt	Total	Riq	Out	Coll	Sha
Acari	1,00																	
Araneae	<b>0,31**</b>	1,00																
Auchenorrhyncha	<b>0,63**</b>	0,00	1,00															
Coleoptera	<b>0,35**</b>	-0,01	0,11	1,00														
Diptera	<b>0,30**</b>	<b>0,19*</b>	0,16	0,17	1,00													
Entomo.	<b>0,70**</b>	0,13	<b>0,48**</b>	<b>0,31**</b>	<b>0,33**</b>	1,00												
Formicidae	<b>0,39**</b>	<b>0,30**</b>	0,04	0,08	<b>0,36**</b>	<b>0,38**</b>	1,00											
Hymenoptera	<b>0,47**</b>	<b>0,32**</b>	<b>0,35**</b>	0,06	<b>0,55**</b>	<b>0,31**</b>	<b>0,41**</b>	1,00										
Orthoptera	<b>0,36**</b>	0,16	<b>0,43**</b>	<b>0,19*</b>	<b>0,28**</b>	<b>0,34**</b>	<b>0,32**</b>	<b>0,27**</b>	1,00									
Poduromorpha	<b>0,32**</b>	<b>0,29**</b>	0,15	<b>0,19*</b>	0,09	<b>0,37**</b>	<b>0,20*</b>	0,17	0,17	1,00								
Symphyleona	<b>0,41**</b>	0,17	<b>0,32**</b>	0,15	<b>0,30**</b>	<b>0,44**</b>	<b>0,25**</b>	0,21*	<b>0,35**</b>	0,11	1,00							
Isopoda	-0,06	-0,03	-0,10	0,14	0,00	<b>-0,18*</b>	-0,13	-0,14	-0,15	-0,08	0,02	1,00						
Isoptera	0,15	-0,03	<b>0,41**</b>	-0,04	-0,02	0,10	0,13	0,12	0,14	-0,11	0,14	-0,12	1,00					
Total	<b>0,77**</b>	<b>0,28**</b>	<b>0,48**</b>	<b>0,33**</b>	<b>0,37**</b>	<b>0,94**</b>	<b>0,52**</b>	<b>0,41**</b>	<b>0,40**</b>	<b>0,62**</b>	<b>0,44**</b>	-0,17	0,09	1,00				
Riqueza	<b>0,58**</b>	<b>0,36**</b>	<b>0,33**</b>	<b>0,42**</b>	<b>0,35**</b>	<b>0,45**</b>	<b>0,42**</b>	<b>0,46**</b>	<b>0,45**</b>	<b>0,45**</b>	<b>0,39**</b>	-0,01	0,16	<b>0,60**</b>	1,00			
Outros	<b>0,20*</b>	0,18*	0,15	0,11	0,01	0,03	<b>0,23*</b>	0,01	<b>0,18*</b>	<b>0,21*</b>	0,09	0,13	<b>0,19*</b>	0,17	<b>0,47**</b>	1,00		
Collembola	<b>0,69**</b>	0,21*	<b>0,45**</b>	<b>0,32**</b>	<b>0,31**</b>	<b>0,95**</b>	<b>0,38**</b>	<b>0,31**</b>	<b>0,34**</b>	<b>0,64**</b>	<b>0,42**</b>	-0,17	0,05	<b>0,98**</b>	<b>0,53**</b>	0,10	1,00	
I. Shannon	0,16	0,23*	0,08	<b>0,19*</b>	0,13	<b>-0,34**</b>	0,13	<b>0,22*</b>	<b>0,23*</b>	0,11	0,12	0,15	-0,03	-0,14	<b>0,42**</b>	<b>0,40*</b>	<b>-0,24*</b>	1,00

Aca: Acari; Ara: Araneae; Auc: Auche; Cole: Coleoptera; Dip: Diptera; Ent: Entomo; Form: Formicidae; Hyme: Hymenoptera; Ort: Orthoptera; Pod: Poduromorpha; Symp: Symphyleona; Isopo: Isopoda; Isopt: Isoptera; Riq: Riqueza; Out: Outros; Coll: Collembola; Sha: Índice de Shannon. Valores seguido por \*\* e \* indica diferença significativa pelo teste de Pearson a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

## 5 CONCLUSÕES

Todos os atributos químicos e físicos apresentaram dependência espacial. Dos atributos biológicos apenas 11 grupos da fauna do solo dos 31 coletados apresentaram dependência espacial.

A amostragem ao acaso em voçorocas pode resultar em interpretações errôneas dos dados.

A amostragem para fins de monitoramento ambiental em áreas de voçoroca deve considerar, no mínimo, a posição na paisagem, parte interna e externa, e a posição do voçorocamento na pendente, em terço superior, terço médio e terço inferior.

O grid retangular 5 x 5 metros foi suficiente para a utilização da geoestatística nos atributos químicos e físicos do solo, neste estudo.

Não foi detectada a dependência espacial para os grupos pouco numerosos da fauna do solo.

A diferenciação dos teores de carbono orgânico, na parte interna e externa da voçoroca, deixa clara a dificuldade de se recompor os níveis de matéria orgânica do solo após a sua perda.

A análise geoestatística aplicada ao mapeamento da variabilidade espacial dos atributos químicos, físicos e biológicos nas áreas de voçorocas se mostrou uma ferramenta muito útil neste ambiente degradado e na identificação das áreas, podendo manejar o solo com o uso mais eficiente de adubos e corretivos para o plantio de novas mudas.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da geoestatística foi uma ferramenta muito útil na avaliação das áreas degradadas devido às grandes diferenças existentes entre os atributos do solo.

Os dados obtidos na voçoroca revegetada a cinco anos, apontam para a necessidade de outros estudos de variabilidade espacial, com diferentes tamanhos de voçorocas e com maior tempo de revegetação além de maior tamanho no grid, para verificar a distribuição espacial dos atributos biológicos, químicos e físicos. Ainda, contribuindo para entender como se dá o processo de colonização da fauna edáfica e as mudanças físicas e químicas do solo em áreas de voçoroca.

Todos os grupos da fauna do solo apresentaram alto coeficiente de variação. Nas características químicas do solo, os valores de P,  $P_{log}$  e Mg foram altos; já os valores de Al, Ca+Mg, Ca, K e  $C_{org}$  foram intermediários e o de pH foi baixo. O valor de altitude apresentou baixo coeficiente de variação. Quanto às características físicas do solo, a umidade gravimétrica e os percentuais de argila, areia e silte apresentaram coeficiente de variação intermediário.

Os valores do alcance dos dados biológicos foram maiores do que os dos atributos químicos e físicos. Os maiores valores de alcance dos atributos físicos foram encontrados no percentual de areia (22,90) e de argila (25,62). Para os atributos químicos os maiores valores foram do pH (25,64), seguido pelo  $C_{org}$  (20,31) e o Mg (20,13). Nos atributos biológicos foi para a riqueza média (31,71), seguida por Formicidae (29,90), Acari (27,00) e Diptera (26,00).

Na análise do grau de dependência espacial, a altitude, umidade gravimétrica, percentual de areia e de silte, Ca+Mg,  $C_{org}$ , Coleoptera e Poduromorpha apresentaram grau forte; o percentual de argila, pH, Al, Ca, Mg, P, Acari, Entomobryomorpha, Collembola, Total de fauna, Hymenoptera, Formicidae, outros organismos da fauna, índice de Shannon e Isoptera apresentaram grau moderado; enquanto a Riqueza e o grupo Diptera mostraram grau fraco.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, H. C.; ALMEIDA, D.; ALVES, M. V.; SCHNEIDER, J.; MAFRA, A. L. BERTOL, I. Propriedades químicas e fauna do solo influenciadas pela calagem em sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 5, p. 1462-1465, 2007.

ALVES, A. J. O.; RIBEIRO, M. R. Caracterização e gênese dos solos de uma topossequência na microrregião da mata seca de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 297-305, 1995.

AMARAL, A. M.; MUNIZ, J. A.; SOUZA, M. Avaliação dos coeficientes de variação como medida da precisão na experimentação com citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 12, p. 1221-1225, 1997.

ANDRADE, L. N. V. Determinação da densidade e padrões de distribuição de termiteiros na região de Santa Maria da Vitória - BA. In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: INPE, 1996.

ASSAD, M. L. L. Fauna do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA, 1997, p. 363-443.

BACELLAR, L. A. P. **Condicionantes geológicos, geomorfológicos e dos mecanismos de voçorocamento na bacia do Rio Maracujá, Ouro Preto, MG**. 2000. 225 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil - Geotecnia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A.; CAMPELO, E. F. C.; DIAS, L. E.; PEREIRA, M. G.; FARIA, S. M.; ALVES, B. J. R. Dinâmica da serapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 597-601, 2004.

BECKMANN, G. H. Riqueza de formigas em áreas reabilitadas após mineração de carvão a céu aberto de diferentes idades e diferentes coberturas vegetais no município de Siderópolis, SC, Brasil. In: IX Congresso de Ecologia do Brasil, 2009, São Lourenço. **Anais...** São Lourenço: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2009. CD-ROM.

BERNER, P. G. M.; VIEIRA, S. R.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C. Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um Cambissolo sob dois sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 837-844, 2007.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; BERTOL, I.; ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 781-792, 2007.

BERTOL, I.; LEITE, D.; ENGEL, F. L.; COGO, N. P.; GONZÁLES, A. P. Erodibilidade de um Nitossolo Háptico alumínico determinada em condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 541-549, 2007.

BIANCHI, M. O.; RODRIGUES, K. M.; CORREIA, M. E. F.; JANTALIA, C. P.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C. Atividade da fauna do solo como indicadora do processo de recuperação em uma área de mineração de bauxita em Porto Trombetas – PA. In: XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 2008. CD-ROM.

BORÉM, R. A. T.; RAMOS, D. P. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de mata atlântica. **CERNE**, v. 8, n. 2, p. 042-059, 2002.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. da ; CUBILLA, M. M. A. Alterações no teor de carbono orgânico do solo, em função do sistema de manejo, e suas implicações na compressibilidade do solo. In: XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2002, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFMT, 2002.

CALDERANO FILHO, B. ANDRADE, A. G. de.; POLIVANOV, H.; GUERRA, A. J. T. RAMALHO FILHO, A. Diagnóstico geoambiental da área do entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica de Tombos, para fins de recuperação de áreas degradadas. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 10, n. 30, p. 118-134, 2009.

CAMARGO, O. A.; RAIJ, B. V. Relações entre alumínio trocável, bases trocáveis e pH em solos. In: XV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 1975, Campinas. **Anais...** Campinas: SBCS, 1975.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no estado de São Paulo**. 2005. 79 p. Dissertação (Mestre em Ecologia de Agroecossistemas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

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

CARVALHO, J. R. P.; VIEIRA, S. R.; MARTINHO, P. R. R.; DECHEN, S. C. F.; DEMARIA, I. C.; POTT, C. A.; DUFRANC, G. **Avaliação da variabilidade espacial de parâmetros físicos do solo sob plantio direto em São Paulo – Brasil**. Campinas: Embrapa-Informática Agropecuária, 2001. 4 p. (Embrapa-Informática Agropecuária. Comunicado Técnico, 12).

CASSOL, E. A.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; BADELUCCI, M. P. Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 705-12, 2002.

CAVALLINI, M. C.; ANDREOTTI, M.; CARVALHO, M. P. E. ; OLIVEIRA, L. L.; PARIZ, C. M.; MOREIRA, E. R. Variabilidade espacial da produtividade do capim-Marandu com atributos químicos de um Latossolo do Cerrado Brasileiro. In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2009, Fortaleza-CE. **Anais...** Fortaleza: SBCS, 2009, CD-ROM.

CELINSKI, V. G.; ZIMBACK, C. R. L.; CELINSKI, T. M. Resistência elétrica e sua correlação com a granulometria do solo visando aplicação na agricultura de precisão. Simpósio de Geoestatística Aplicada as Ciências Agrárias, 2009, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, 2009.

CHADA, S de S.; CAMPELLO, E. F. C.; de FARIA, S. M.. Sucessão vegetal em uma encosta reflorestada com leguminosas arbóreas em Angra dos Reis, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 801-809, 2004.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 27, p. 743-753, 2003.

COHEN, M. J.; DUNNE, E. J.; BRULAND, G. L. Spatial variability of soil properties in cypress domes surrounded by different land uses. **Wetlands**, v. 28, n. 2, p. 411-422, 2008.

COLINVAUX, P. **Ecology 2**. New York: John Wiley & Sons. 1993, 688 p.

CONCEICAO, P. C.; AMADO, T. J.; SPAGNOLLO, E.; GRAPEGGIA JUNIOR, G.; ACOSTA, J. A. A. Indicadores de qualidade do solo visando a avaliação de sistemas de manejo. In: XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação de Solo e Água, 2002, Cuiaba. **Anais...** Cuiaba: CBCS, 2002. CD-ROM.

CORDEIRO, F. C.; DIAS, F. C.; MERLIM, A. O. ; CORREIA, M. E. F.; AQUINO, A. M.; BROWN, G. Diversidade da macrofauna invertebrada do solo como indicadora da qualidade do solo em sistema de manejo orgânico de produção. **Revista Universidade Rural**, Série Ciências da Vida, v. 24, n. 2, p. 29-34, 2004.

CORRÊA, M. S. C. **Indicadores de Qualidade do Solo em Sistemas Agroflorestais em Paraty, RJ**. 2006. 54f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo). Curso de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

CORRÊA NETO, T. A.; ANJOS, L. H. C. dos; PEREIRA, M. G.; AMORIM, H. B.; JACCOUD, C. F. de S. Atributos edafambientais e parâmetros dendrométricos de plantios de eucaliptos em uma topossequência no campus da UFRRJ, Seropédica (RJ). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 1/2, p. 43-51, 2007.

CORREIA, M. E. F., CAMPELLO, E. F. C., RODRIGUES, K. M., FRANCO, A. A. Fauna edáfica como indicadora da recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita, em Porto Trombetas (PA). In: VI Simpósio Nacional e Congresso Latino-americano de recuperação de áreas degradadas, 2005, Curitiba. **A fauna em foco**. Curitiba: SOBRADE, 2005. Impresso.

CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA; L. C. M. de. **Fauna de solo: Aspectos Gerais e Metodológicos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 46p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 112).

COSTA, G. S.; FRANCO, A. A.; DAMASCENO, R. N.; FARIA, S. M. Aporte de nutrientes pela serapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 919-927, 2004.

CSIRO. **The Insects of Australia**. A Textbook for Students and Research Workers. Carlton, Victoria, Melbourne University: Carlton. 2 volumes, 1991, 1029 p.

CURRY, J. P., & GOOD, J. A. Soil fauna degradation and restoration. **Advanced Soil Science**, v. 17, p. 171-215, 1992.

DAY, P. R. Particle fraction and particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**. Madison: ASA, v. 1, 1965, p.545-566.

DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; CORRÊIA, M. E. F.; ROCHA, G. P.; MOREIRA, J. F.; RODRIGUES, K. M.; FRANCO, A. A. Árvores fixadoras de nitrogênio e macrofauna do solo em pastagem de híbrido de Digitaria. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p.1015-1021, 2006.

DINDAL, D. L. **Soil biology guide**. New York: Wiley, 1990, 1348 p.

DOMINGOS, J. D.; CAVENAGHI, T. M. C. M.; GONTIJO, T. A.; DRUMOND, M. A.; CARVALHO, R. C. F. de. Composição em Espécies, Densidade e Aspectos Biológicos da Fauna de Térmitas de Cerrados em Sete Lagoas - MG. **Ciência e Cultura**, v. 38, n. 1, p. 199-207, 1986.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 15, p. 3-11, 2000.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDOCEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-35.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212 p. (Embrapa Solos. Documentos, 1).

ETTEMA, C. H.; WARDLE, D. A. Spatial soil ecology. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 17, n. 4, p. 177-183, 2002.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **La erosión del suelo por el agua: Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo**. Roma: Organization de Las Naciones Unidas, 1967. 207p.

FARIA, S. M. de; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; SILVA, E. M. R. **Recuperação de solos degradados com leguminosas noduladas e micorrizadas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1998, 23 p. (Embrapa – CNPAB. Documentos, 77)

FERREIRA, V. M. **Voçorocas no município de Nazareno, MG: origem, uso da terra e atributos do solo**. 2005. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FIGUEIREDO FILHO, A.; FERREIRA G. M.; BUDANTE, L. S.; FIGUEIREDO, D. J. Avaliação Estacional da Deposição de Serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista Localizada no Sul do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 11- 18, 2003.

FIORI, L.; SOARES, A. Aspectos evolutivos das voçorocas. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 16, n. 32, p. 40-48, 1976.

FRANÇA, C. A.; TAPIA-CORAL, S. T.; FONTOURA, S. B.; LUIZÃO, F. J. Macro-invertebrados do solo em florestas primárias de São Gabriel da Cachoeira, AM. II Jornada Nacional da Produção Científica em Educação Profissional e Tecnológica, 2007, São Luís. **Anais...** São Luís, 2007.

FRANCO, A. A.; MARINHO, N. F.; CAPRONI, A. L.; BERBARA, R. L. L. Respostas de *Acacia mangium* e *Sclerolobium paniculatum* a fungos micorrízicos arbusculares nativos provenientes de áreas degradadas pela mineração de bauxita na Amazônia. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo - SP, v. 18, n. 1, p. 141-149, 2004.

FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C. Importância das Leguminosas Arbóreas na Recuperação de Áreas Degradadas e na Sustentabilidade de Sistemas Agroflorestais. In: Seminário Sistemas Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável, 2003, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Embrapa, 2003. CD-ROM.

FRANCO, A. A. Fixação biológica do nitrogênio na agricultura tropical. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E.; FONTES, M. P. (Eds). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 505-523.

FRANCO, A. A.; DIAS, L. E.; CAMPELLO, E. F. C.; SILVA, E. M. R.; FARIA, S. M. Uso de leguminosas florestais noduladas e micorrizadas como agentes de recuperação e manutenção da vida no solo: Um modelo tecnológico. In: ESTEVES, F. (Ed.). **Oecologia Brasilienses**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1995, p. 459-467.

GALETI, P. A. **Conservação do Solo; Reflorestamento; Clima**. 2. ed. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973, 283 p.



GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**, 3º ed., Piracicaba: FEALQ, 2002, 920 p.

GAMA-RODRIGUES, A.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S. Alterações edáficas sob plantios puros e mistos de espécies florestais nativas do sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 581-592, 1999.

GANHO, N. G.; MARINONI, R. C. A variabilidade espacial das famílias de Coleoptera (Insecta) entre fragmentos de Floresta Ombrófila Mista Montana (Bioma Araucária) e plantação de *Pinus elliottii* Engelmann, no Parque Ecológico Vivat Floresta, Tijucas do Sul, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 4, p. 1159-1167 2006.

GE, S.; CARRUTHERS, R. I.; MA, Z.; ZHANG, G.; LI, D. Spatial heterogeneity and population risk analysis of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, in China. **Insect Science**, v. 12, n. 4, p. 255-262, 2005.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 8 p. (Embrapa Meio Ambiente).

GONGALSKY, K. B.; BELORUSTSEVA, S. A.; KUZNETSOVA, D. M.; MATYUKHIN, A. V.; PELGUNOVA, L. A.; SAVIN, F. A.; SHAPOVALOV, A. S. Spatial avoidance of patches of polluted chernozem soils by soil invertebrates. **Insect Science**, v. 16, p. 99-105, 2009.

GONGALSKY, K. B.; GORSHKOVA, I. A.; KARPOV, A. I.; POKARZHEVSKII, A. D. Do boundaries of soil animal and plant communities coincide? A case study of a Mediterranean forest in Russia. **European Journal of Soil Biology**, v. 44, n. 4, p. 355 -363, 2008.

GOUVEA, T.; NASCIMENTO, S.; PILLON, C.N.; CRUZ, L. E. C. da; DUPONT, P. B.; SCHLEE, B. N.; SANDRINI, W. C. Ácaros e colêmbolos em agroecossistemas de terras baixas sob sistema de manejo nas estações verão, outono e inverno. In: XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio De Janeiro: SBCS, 2008. CD-ROM.

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

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREALL, C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic-matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Montreal, v. 74, p. 367-385, 1994.

HELLWIG, T. C.; LOVATTO, P.; WÜRDIG T. M.; CARDOSO, J. H. Fauna edáfica na dinâmica de solos em processos de recuperação: estudo de caso de um sistema agroflorestal

demonstrativo na estação cascata, Embrapa – Clima Temperado. In: XI ENPOS - Encontro de Pós-Graduação, 2009. **Anais...** Pelotas: Editora Universitária Pelotas, 2009.

HOFFMANN, R.; NASCIMENTO, M.; DINIZ, A.; ARAÚJO, L.; SOUTO, J. Diversidade da mesofauna edáfica como bioindicadora para o manejo do solo em areia, Paraíba, Brasil. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p.121-125, 2009.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA R. M. **An Introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 560p.

ISLAM, K. R.; WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 79, p. 9-16, 2000

KARMANN, I. CICLO DA ÁGUA, Água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C.; FAIRCHILD, T.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003, p. 113-138.

KÖPPEN, W.: Das geographischa system der climate. In: KÖPPEN, W. & GEIGER, G., 1. C (Ed.) *Handbuch der Klimatologie*, Gebr, Borntraeger, p. 1–44, 1936.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Engineering Society of South Africa**, Johannesburg, v. 52, n. 6, p. 151-163, 1951.

LAL, R. Soil degradation by erosion. **Land degradation e Development**, v. 12, p. 519-539, 2001.

LANDIM, P. M. B. GEOEAS: um exemplo de aplicação em análise geoestatística. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 11, 41 pp. 2003. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso: 26/04/2009

LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology International**, Paris, v. 33, p. 3-16, 1996.

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

LEI, T.; NEARING, M. A.; HAGHIGHI, K.; BRALTS, V. F. Rill erosion and morphological evolution: a simulation model. **Water Resources Research**, Washington, v. 34, n. 11, p. 3157-3168, 1998.

LEPSCH, I. F. (coord.) **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

LIMA, J. S. S.; SILVA, J. T. O.; OLIVEIRA, R. B.; ALMEIDA, V. S.; VANZO, F. L. Estudo da viabilidade de métodos geoestatísticos na mensuração da variabilidade espacial da dureza da madeira de paraju (*Manilkara* sp). **Revista Árvore**, v. 30 n. 4, p. 651-657, 2006.

LIMA, J. A. G.; MENDES, A. M. S.; DUDA, G. P.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de características físico-hídricas de um Cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do RN. **Caatinga**, Mossoró - RN, v. 19, n. 2, p. 192-199, 2006.

LOUREIRO, D. C. **Biomassa microbiana e constituintes lábeis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo fitotécnico e cobertura vegetal**. 2008. 50f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Fitotecnia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

LOURENTE, E. R. P.; SILVA, R. F. da; SILVA, D. A. da; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M. Macrofauna edáfica e sua interação com atributos químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum**, v. 29, n. 1, p. 17-22, 2007.

MACHADO, P. L. O. de.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G. de.; MADARI, B. E.; MEIRELLES, M. S. P.. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 1023-1031, 2006.

MACHADO, R. L. **Perda de solo e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de controle e recuperação no Médio Vale do rio Paraíba do Sul, RJ**. 2007. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo). Curso de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

MACHADO, R. V. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em uma hidroseqüência de solos bem a muito mal drenados**. 1994. 88p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Curso de Pós-graduação em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas. Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

MARÇAL, M. S.; GUERRA, A. J. T. Indicadores ambientais relevantes para a análise da suscetibilidade à erosão dos solos em Açailândia (MA). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n. 2, p. 01-16, 2003.

MARGERIE, P.; DECAËNS, T.; BUREAU, F.; ALARD, D. Spatial distribution of earthworm species assemblages in a chalky slope of the Seine Valley (Normandy, France). **European Journal of Soil Biology**, v. 37, n. 4, p. 291-296, 2001.

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

MARTINS, M.; CARVALHO, M.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 1, p. 147-154, 2009.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 395-403, 2003.

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

MATTHEW, W.; ZOU, X. Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico. **Forest Ecology and Management**, v. 170, p. 161-171, 2002.

MENDES, A. M. S.; DUDA, G. P.; LIMA, J. A. G.; AMORIM, L. B. Variabilidade espacial de características químicas de um Cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do Rio Grande do Norte. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, p. 169-176, 2007.

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

MENEZES, C. E. G. **Diagnóstico de degradação do solo em função da topografia e cobertura vegetal no município de Pinheiral, RJ**. 1999. 186p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo). Curso de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

MELLO, G. de; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 294–305, 2006.

MERLIM, A. O. **Macrofauna edáfica em ecossistemas preservados e degradados de araucária no Parque Estadual de Campos do Jordão, SP**. 2005. 89f. Dissertação (Mestrado em Interunidades - Ecologia de Agroecossistemas). Curso de Pós-graduação em Ecologia de Agroecossistema. Universidade de São Paulo, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, Piracicaba.

MIRANDA, F. S. M.; D'ARROCHELLA, M. L. G.; ARAUJO, R. S.; CASTRO JÚNIOR, E. **A influência da topografia na variabilidade espacial do estoque de matéria orgânica de superfície no Parque Nacional da Tijuca – RJ**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2009. CD-ROM.

MOÇO, M. K.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMARODRIGUES, A. C.; CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 555-564, 2005.

MOLDENKE, A. R. Arthropods. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (Eds). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: SSSA, 1994. Part 2. p. 517-542.

NASCIMENTO, A. D.; MORAIS, J. M. de.; SOUZA, S. C. de; PEREIRA, M. J. B.; GALBIATI, C.; PIERANGELI, M. A. P. Atributos químicos e macrofauna do solo em diferentes ambientes da baía do Malheiros - Cáceres/MT.. In: I workshop dos grupos de pesquisa e da Pós-graduação da UNEMAT, 2008, Cáceres. **Anais...** Cáceres: UNEMAT, 2008.

NUNES, L. A. P. L.; ARAUJO FILHO, J. A.; MENEZES, R. I. Q. Diversidade da fauna edáfica em solos submetidos a diferentes sistemas de manejo no semi-árido nordestino. **Scientia Agraria**, v. 10, p. 43-49, 2009.

NUUTINEN, V.; PITKÄNEN, J.; KUUSELA, E.; WIDBOM, T.; LOHILAHTI, H. Spatial variation of an earthworm community related to soil properties and yield in a grass-clover field. **Applied Soil Ecology**, v. 8, n. 1-3, p. 85-94, 1998.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983. 434p.

OLIVEIRA, W. R. D. de; SILVA, G. T. A.; RODRIGUES, K. M.; RESENDE, J. R. I.; CORREIA, M. E. F.; RESENDE, A. S. de. Efeito de artrópodes edáficos sobre a taxa de decomposição de leguminosas. In: VI Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais: Bases científicas para o Desenvolvimento Sustentável, 2006, Campos dos Goytacazes. **Anais...** Campos dos Goytacazes: CBSAF, 2006. CD-ROM.

OLIVEIRA, E. P.; SERRANO, M. B.; CASTILHO, A. F.. A biodiversidade da mesofauna do solo em FLONA da mineração Rio do Norte – Pará. In: III Simpósio de Áreas Protegidas, 2005, Pelotas/RS. **Anais...** Pelotas: Editora Universitária de Pelotas, 2005. CD ROM)

OLIVEIRA, N. M.; OLIVEIRA, T. S.; LEVIEN, S. L. A.; MEDEIROS, J. F. Variabilidade espacial da produção do meloeiro irrigado por gotejamento na Fazenda Santa Júlia em Mossoró-RN. **Caatinga**, v. 17, n. 2, p. 121-128, 2004.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Eds). **Erosão e conservação de solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 57-59

PAULI, N.; OBERTHÜR, T.; BARRIOS, E.; CONACHER, A. J. Fine-scale spatial and temporal variation in earthworm surface casting activity in agroforestry fields, western Honduras. **Pedobiologia**, v. 53, n. 2, p. 127-139, 2010.

PAULI, N. **Environmental influences on the spatial and temporal distribution of soil macrofauna in a smallholder agriforestry system of western Honduras**. 2008. 333p. Tese (Doctor of Philosophy). School of Earth and Geographical Sciences. The University of Western Australia, Australia.

PEREIRA, M. P. dos S.; QUEIROZ, J. M.; VALCARCEL, R.; NUNES, A. J. M. Fauna de formigas como ferramenta para monitoramento de área de mineração reabilitada na Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 197-204, 2007.

PASSOS, D. P.; RODRIGUES, L. N.; MARTINS, E. de S.; SILVA, R. N.. Variabilidade de atributos físicos do solo da bacia hidrográfica do Rio Buriti Vermelho, DF. In: II Simpósio Internacional sobre Savanas Tropicais, 2008, Brasília. IX Simpósio Nacional Cerrado e II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais, 2008, Brasília. **Anais...** Brasília, 2008.

RAJPUROHIT, S.; PARKASH, R.; RAMNIWAS, S.; SINGH, S. Variations in body melanisation, ovariole number and fecundity in highland and lowland populations of *Drosophila melanogaster* from the Indian subcontinent. **Insect Science**, v. 15, n. 6, p. 553-561, 2008.

REIS, M. DA S.; FERNANDES, A. R.; GRIMALDI, C.; SARRAZIN, M.; GRIMALDI, M. Variação da composição granulométrica e orgânica do solo em uma topossequência da microrregião de Marabá-PA. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**, Belém, v. 2, n. 3, p. 33-44, 2007.

RIBEIRO, J. C.; SALOMÃO, F. X. de C. Abordagem morfopedológica aplicada ao diagnóstico e prevenção de processos erosivos na bacia hidrográfica do alto Rio da Casca, MT. **Geociências**, v. 22, n. 1, p. 83-95, 2003.

RODRIGUES, K. M.; OLIVEIRA, I. P.; CAMILO, F. L.; CORREIA, M. E. F.; RESENDE, A. S. Avaliação da fauna do solo epígea em duas voçorocas revegetadas no município de Pinheiral – RJ. In: IX Semana Científica Johanna Döbereiner, 2009, Seropédica. **Anais...** Seropédica: SPJD, 2009. Impresso.

RODRIGUES, K. M.; CORREIA, M. E. F.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C. Evaluation of epigeous soil fauna at recovered gullies with leguminous tree in Pinheiral municipality, Rio de Janeiro state, Brazil. In: 15<sup>th</sup> International Colloquium on Soil Zoology, 15, 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Embrapa Florestas, 2008. CD-ROM.

ROQUE, C. G.; CENTURION, J. F.; PEREIRA, G. T.; BEUTLER, A. N.; FREDDI, O. S.; ANDRIOLI, I. Variabilidade espacial de atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com seringueira. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 3, p. 26-45, 2005.

ROSSATO, O. B.; SILVA, A. F.; QUARTEZANI, W. Z.; ZIMBACK, C. R. L. Geoestatística na análise de atributos químicos dos solos na reserva indígena Araribá -SP. In: Simpósio de Geoestatística Aplicada as Ciências Agrárias, 2009, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, 2009.

ROVEDDER, A. P.; ANTONIOLLI, Z. I.; SPAGNOLLO, E.; VENTURINI, S. F. Fauna edáfica em solo suscetível à arenização na região sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 3, n. 2, p. 87-96, 2004.

SADAKA, N.; PONGE, J. Soil animal communities in holm oak forests: influence of horizon, altitude and year. **European Journal of Soil Biology**, v. 39, n. 4, p. 197-207, 2003.

SAEG Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SALOMÃO, F. X. T.; IWASA, O. Y. Erosão e a ocupação rural e urbana, In: BITAR, O.Y. (Eds). **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**, São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995, p. 31-57.

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

SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade de atributos de solo e *Crotalaria juncea* L. em solo degradado no município de Piracicaba-SP**. 1996. 91p. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas. Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade de São Paulo – Escola de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SAUTTER, K. D.; MOTTA NETO, J.A.; MORAES, A.; SANTOS, H.R. & RIBEIRO JUNIOR, P.J. População de Oribatei e Collembola em pastagens na recuperação de solos degradados pela mineração do xisto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1509-1513, 1998.

SAUTTER, K. D.; MOTTA NETO, J. A.; MORAES, A.; SANTOS, H. R.; RIBEIRO JUNIOR, P. J. . População de Oribatei (Acari: Cryptostigmata) e Collembola (Insecta) em pastagens na recuperação de solos degradados pela mineração do xisto (folhelho pirobetuminoso). In: XII Congresso Latinoamericano de Ciência do Solo, 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia, 1996. CD-ROM.

SAVIN, F. A.; POKARZHEVSKII, A. D.; GONGAL'SKII, K. B. Distribution of large soil invertebrates as related to soil parameters. **Eurasian Soil Science**, v. 40, n. 1, p. 64-69, 2007.

SILVA, J.; VERONA, L. A.; CASALINHO, H.; SCHWENGBER, J. E. Considerações sobre a relação do teor de matéria orgânica com a população de ácaros e colêmbolos em agroecossistemas em transição ecológica. In: XVII Congresso de Iniciação Científica - UFPEL, 2007, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Editora Universitária UFPEL, 2007.

SILVA, A. S. **Influência da erosão na remoção de nutrientes e metais pesados em uma topossequência no município de Petrópolis - RJ**. 2006. 238p. Tese (Doutorado em Geologia). Curso de Pós-graduação em Geologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2006.

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação da variabilidade espacial de atributos químicos de um solo do perímetro irrigado de Petrolina, PE. **Agropecuária Técnica**, v. 27, p. 5-12, 2006.

SILVA, M. B.; ANJOS, L. H. C. dos; PEREIRA, M. G.; NASCIMENTO, R. A.. Estudo de topossequência da baixada litorânea fluminense: efeitos do material de origem e posição topográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 965-976, 2001.

SILVEIRA, N. D.; PEREIRA, M. G.; POLIDORO, J. C.; TAVARES, S. R. de L.; MELLO, R. B.. Aporte de nutrientes e biomassa via serrapilheira em sistemas agroflorestais em Paraty (RJ). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 129-136, 2007.

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

SIQUEIRA, G. M.; VIEIRA, S. R.; CEDDIA, M. B. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 203-211, 2008.

SOUSA, J. R.; QUEIROZ, J. E.; GHEYI, H. R.. Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 140-144, 1999.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo Vermelho Eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 309-319, 2004.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 34, p. 32-39, 2004.

SOUZA, C. K. **Relação solo-paisagem-erosão e variabilidade espacial de Latossolos em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar no município de Jaboticabal (SP)**. 2001. 186p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do solo). Curso de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

SOUZA, E. G.; JOHANN, J. A.; ROCHA, J. V.; RIBEIRO, S. R. A.; SILVA, M. S.; OPAZO, M. A. U.; MOLIN, J. P.; OLIVEIRA, E. F.; NÓBREGA, L. H. P. Análise da variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área experimental. Parte I: Análise do P, K, MO, e pH. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 3, p. 80-92, 1999.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 367-372, 1997.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. 2. Ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1985, 453 p.

STRUJAK, D.; VIDAL, C. M. de S. Poluição das Águas: Revisão de Literatura. **Revista Eletrônica Lato Sensu**, Ano 2, n. 1, p. 11-26, 2007.



SURFER 8. User's Guide/ Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers, Golden Software, Inc. 639p.

TER BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. **CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows**: Software for canonical community ordination (version 4), New York, Microcomputer Power, 1998.

TRINCA, L. A. Comunidades Ecológicas - Um passeio pelo pacote Vegan/R. In: 50ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria e 11º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica, 2005, Londrina. **Anais...** Londrina: 2005, p. 193-193.

TOLEDO, L. O.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, C. E. G. Produção de serrapilheira e transferência de nutrientes em florestas secundárias localizadas na região de Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 9-16, 2002.

TOLEDO, L. O. **Aporte de serrapilheira, taxa de decomposição e fauna edáfica em áreas de floresta secundária, no município de Pinheiral, RJ**. 2002. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Curso de Pós-graduação Ciências Ambientais e Florestais. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. 1º edição. Planaltina-DF: Embrapa - CPAC, 1997, 382 - 392 p.

VERBERK, W. C. E. P.; KLEEF, H. H. V.; DIJKMAN, M.; HOEK, P. V.; SPIERENBURG, P.; ESSELINK, H. Seasonal changes on two different spatial scales: response of aquatic invertebrates to water body and microhabitat. **Insect Science**, v. 12, n. 4, p. 263-280, 2005.

VAN STRAALLEN, N. M. Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 9, p. 429-437, 1998.

VIEIRA, V. A. da S.; MELLO, C. R. de; LIMA, J. M. de. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em uma microbacia hidrográfica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1477-1485, 2007.

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

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. H., SCHAEFER, G.R. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, 2000. p. 1-54.

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. & TILLOTSON, P. M. The scaling of semivariograms and the kriging estimation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 525-533, 1997.

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

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

WANG, Z.; YUAN, Z.; SONG, D.; ZHU, M. Analysis on the dynamics of spatial distribution pattern of mixed spider population in rice field. **Insect Science**, v. 11, n. 4, p. 257-265, 2008.

WARDLE, D. A. Impacts of disturbance on detritus food webs in agr-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. **Advances Ecological Research**, New York, v. 26, p. 105-182, 1995.

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. 319-344.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolo sob plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, 2007.

ZANETTE, S. V.; SAMPAIO, S. C.; SILVESTRE, M. G.; BOAS, M. A. V.; URIBE, O. M. A.; QUEIROZ, M. M. F. Análise espacial da umidade do solo cultivado com soja sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, 2007.