



Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Programa Interunidades

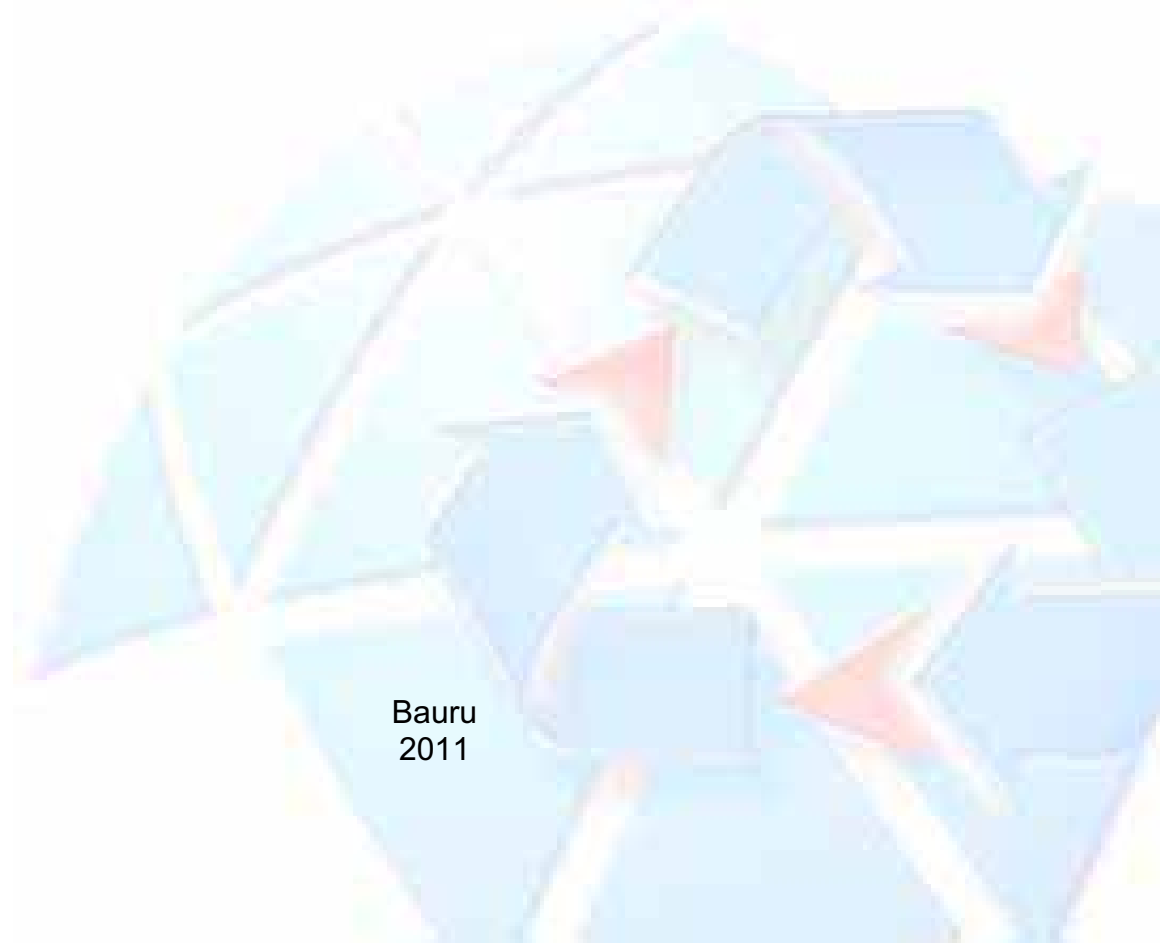


Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

LUIZ AUGUSTO MANFRÉ

**FRAGILIDADE AMBIENTAL E QUALIDADE DOS SOLOS EM DUAS
BACIAS HIDROGRÁFICAS DE USO RURAL, EM IBIÚNA, SP**



Bauru
2011

LUIZ AUGUSTO MANFRÉ

**FRAGILIDADE AMBIENTAL E QUALIDADE DOS SOLOS EM DUAS
BACIAS HIDROGRÁFICAS DE USO RURAL, EM IBIÚNA, SP**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva

Bauru
2011



**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE LUIZ AUGUSTO MANFRÉ,
DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL,
DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.**

Aos 22 dias do mês de fevereiro do ano de 2011, às 09:00 horas, no(a) SALA DE VIDEOCONFERÊNCIA DA UNESP DE SOROCABA, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA do(a) Departamento de Engenharia Ambiental / UNESP - Sorocaba, Prof. Dr. SILVIO FROSINI DE BARROS FERRAZ do(a) Departamento de Ciências Florestais / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP, Prof. Dr. FABIANO TOMAZINI DA CONCEIÇÃO do(a) Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento / UNESP - Rio Claro, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de LUIZ AUGUSTO MANFRÉ, intitulado "FRAGILIDADE AMBIENTAL E QUALIDADE DOS SOLOS EM DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE USO RURAL, EM IBIÚNA/SP". Após a exposição, o discente foi argüido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovado _____. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA


Prof. Dr. SILVIO FROSINI DE BARROS FERRAZ


Prof. Dr. FABIANO TOMAZINI DA CONCEIÇÃO

Manfré, Luiz Augusto.

Fragilidade ambiental e qualidade dos solos em duas bacias hidrográficas de uso rural em Ibiúna, SP/ Luiz Augusto Manfré, 2011.

151 f. : il.

Orientador: Alexandre Marco da Silva

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2011

1. Qualidade Ambiental. 2. SIG. 3. Planejamento Ambiental. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

Dedico este trabalho à minha avó, à minha mãe e à Bruna.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à FAPESP, pela concessão da bolsa que viabilizou a execução do projeto e a elaboração desta dissertação.

Agradeço ao professor Alexandre Marco da Silva, pela orientação, paciência e apoio ao longo dos dois anos de execução deste trabalho.

Agradeço à CAPES pela concessão da bolsa nos 11 primeiros meses das atividades do projeto.

Agradeço aos professores do programa de pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental pelo apoio, aprendizado e auxílio tanto nas disciplinas quanto necessidade para a execução do projeto.

Agradeço a todos que me auxiliaram nos trabalhos de campo e laboratório: Rômulo, Mariana, Bruna, Rodrigo, Flávia e Felipe.

Agradeço ao Rodrigo pelo companheirismo e amizade desde ao longo da graduação e da execução de nossos mestrados.

Agradeço à minha família (Minha mãe, minha avó, minha tia, minha irmã, meu irmão) pelo suporte e apoio na decisão de iniciar o mestrado, auxiliando nos momentos em que não havia apoio financeiro de nenhuma instituição.

Agradeço à minha mãe e minha avó, pelo apoio, afeto e amor, proporcionando as condições adequadas para que eu pudesse realizar as atividades. Sem vocês eu jamais poderia realizar este trabalho da forma que realizei.

Agradeço à Bruna, que esteve ao meu lado em todos os momentos, me dando apoio e estrutura para seguir em frente nos momentos mais difíceis. Sobretudo, agradeço a ela pelo amor e dedicação ao longo desses mais de 3 anos que estamos juntos.

Resumo

A atividade agrícola tem consequências diretas sobre a qualidade do solo e dos corpos d'água. Desta forma, avaliar os impactos ambientais desta atividade econômica imprescindível, por meio de análises de solo, estudos de fragilidade ambiental e avaliação do comportamento dos produtores, é essencial para a proposição de alternativas. O objetivo do presente trabalho foi efetuar uma análise comparativa da qualidade do solo, fragilidade ambiental e do comportamento dos produtores rurais de duas bacias hidrográficas com diferentes manejos de solo, no município de Ibiúna (SP). Os estudos de fragilidade ambiental foram realizados de maneira empírica por meio dos métodos propostos por Ross (1994) e Crepani *et al.* (1996). Foram analisados atributos físicos e químicos dos solos, de maneira a comparar as diferenças entre os distintos usos de solo identificados nas bacias hidrográficas, sobretudo entre as formas de cultivo orgânico e convencional. Além disso, com os atributos de solo foram desenvolvidas funções de pedotransferência e foi possível verificar a exatidão dos modelos de fragilidade ambiental estudados. Por sua vez, a análise socioambiental dos produtores foi realizada por meio de questionários e depoimentos. Os resultados das análises de solo apontaram grande semelhança entre os cultivos orgânico e convencional, não havendo distinção estatística. No entanto, o cultivo orgânico apresentou maior similaridade com os solos de vegetação quanto ao percentual de carbono e nitrogênio, se comparado aos solos de cultivo convencional. Os modelos de fragilidade ambiental resultaram em três mapas muito distintos, sendo que, o modelo com apoio nas classes de declividade obteve melhor coeficiente de correlação de Pearson com os atributos de solo. Os mapas de fragilidade foram subsídio importante para a elaboração de mapas de orientação para uso adequado do solo e de áreas prioritárias para a recuperação. Além disso, foram obtidas importantes funções de pedotransferência, que estimam o percentual de carbono e nitrogênio a partir de atributos físicos e químicos de maior acessibilidade. Observou-se diferenças nos estágios de degradação das bacias hidrográficas, sendo que a bacia do rio Paiol encontra-se menos degradada. Desta forma, o presente trabalho proveu importantes resultados e gerou ferramentas que, podem ser utilizadas para o zoneamento e a identificação de áreas prioritárias em bacias hidrográficas.

Palavras chave: Qualidade Ambiental; SIG; Planejamento Ambiental.

Abstract

Agricultural activity has direct consequences over soil and water quality. Thus, evaluating the environmental impacts of this important economic activity, via soil quality evaluation, environmental fragility models and behavior of human population, are essential for the elaboration of alternatives. The aim of this work was to analyze, in a comparative way, the soil quality, the environmental fragility and the behavior of the rural population, in two watersheds, within the municipality of Ibiúna (SP). The environmental fragility was executed by the empiric methods purposed by Ross (1994) and Crepani et al. (1996). Physical and chemical soil attributes were analyzed, aiming to compare the differences between the distinct land covers identified in the water basins, mainly the organic and the conventional cultivation. Pedotransfer functions were developed using the soil attributes and also were used to evaluate the accuracy of the fragility models. Socio-economic analysis of the population was performed by a quiz. The soil analysis results presented no statistical difference between the organic and conventional cultivation soils. However, the organic cultivation soils showed higher cluster to the vegetation soils, than the results presented by the conventional cultivation soils. The fragility models resulted in three different maps, and the declivity class based model presented the best Pearson correlation coefficient. The fragility maps were used to create maps in order to generate maps to guide the soil use and the recovery areas priority. We observed important differences in the environmental degradation stages between the two river basins, and the Paiol river basin has a less developed process. Important pedotransfer functions were obtained, estimating the carbon and nitrogen percentage using some chemical and physical attributes. Therefore, this work has provided important results and has generated tools that can be used for environmental zoning and for the identification of priority areas in watersheds.

Key words: Environmental Quality; GIS; Environmental Planning.

Lista de Figuras

Figura 1. Distribuição dos pontos de amostragem nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabuçu.	23
Figura 2. Triângulo de Grupamento Textural – classificação brasileira. Fonte: Embrapa (2006).	26
Figura 3. Representação gráfica do penetrômetro de impacto e correspondente perfil amostrado. Fonte: Stolf, (1987).	27
Figura 4. Localização do município de Ibiúna, SP e das bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabuçu.	34
Figura 5. Mapa litológico da bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).	35
Figura 6. Mapa litológico da bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	36
Figura 7. Mapa das Classes de Altitude na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).	37
Figura 8. Mapa das Classes de Altitude na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	38
Figura 9. Mapa das Classes de Declividade na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).	40
Figura 10. Mapa das Classes de Declividade na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	41
Figura 11. Mapa das Classes de Fragilidade da Declividade na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).	41
Figura 12. Mapa das Classes de Fragilidade da Declividade na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	42
Figura 13. Mapa de Concentração da Rugosidade na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).	43
Figura 14. Mapa de Concentração da Rugosidade na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	44
Figura 15. Mapa das Classes de Fragilidade da Concentração da Rugosidade na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).	46
Figura 16. Mapa das Classes de Fragilidade da Concentração da Rugosidade na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	46
Figura 17. Mapa dos Graus de Vulnerabilidade da Concentração da Rugosidade na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).	47
Figura 18. Mapa dos Graus de Vulnerabilidade da Concentração da Rugosidade na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	48
Figura 19. Mapa das Classes de Solos na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).	49
Figura 20. Mapa das Classes de Solos da bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	50

Figura 21. Mapa das Classes de Fragilidade das classes de solos na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).....	52
Figura 22. Mapa das Classes de Fragilidade das classes de solos na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).....	52
Figura 23. Mapa dos Graus de Vulnerabilidade das classes de solos na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).....	53
Figura 24. Mapa dos Graus de Vulnerabilidade das classes de solos na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).....	54
Figura 25. Média dos Totais Mensais de Precipitação para o posto E4-138, localizado próxima ao divisor de águas das duas bacias estudadas, para os anos entre 1973 e 2000.....	55
Figura 26. Isoietas de Chuva Anual Média na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).	56
Figura 27. Isoietas de Chuva Anual Média na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	57
Figura 28. Mapa da Cobertura do Solo na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).....	58
Figura 29. Mapa da Cobertura do Solo na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP)....	58
Figura 30. Mapa das Classes de Fragilidade da Cobertura do Solo na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).....	60
Figura 31. Mapa das Classes de Fragilidade da Cobertura do Solo na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu.	60
Figura 32. Mapa dos Graus de Vulnerabilidade da Cobertura do Solo na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).....	61
Figura 33. Mapa dos Graus de Vulnerabilidade da Cobertura do Solo na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).....	62
Figura 34. Mapa dos Graus de Fragilidade da Geologia na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).....	64
Figura 35. Mapa dos Graus de Fragilidade da Geologia na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).....	64
Figura 36. Mapa das Classes de Fragilidade Potencial com apoio nas Classes de Declividade, na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).....	65
Figura 37. Mapa das Classes de Fragilidade Potencial com apoio nas Classes de Declividade, na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).....	65
Figura 38. Mapa das Classes de Fragilidade Potencial com apoio nos Índices de Dissecação do Relevo, na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).	66
Figura 39. Mapa das Classes de Fragilidade Potencial com apoio nos Índices de Dissecação do Relevo, na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).....	67

Figura 40. Mapa das Classes de Fragilidade Potencial com apoio nas Unidades Territoriais Básicas, na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).....	68
Figura 41. Mapa das Classes de Fragilidade Potencial com apoio nas Unidades Territoriais Básicas, na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, Ibiúna (SP).....	69
Figura 42. Mapa das Classes de Fragilidade Emergente com apoio nas Classes de Declividade, na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).	71
Figura 43. Mapa das Classes de Fragilidade Emergente com apoio nas Classes de Declividade, na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, Ibiúna (SP).....	71
Figura 44. Mapa das Classes de Fragilidade Emergente com apoio nos Índices de Dissecação do Relevo, na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).	72
Figura 45. Mapa das Classes de Fragilidade Emergente com apoio nos Índices de Dissecação do Relevo, na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, Ibiúna (SP).....	73
Figura 46. Mapa das Classes de Fragilidade Emergente com apoio nas Unidades Territoriais Básicas, na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).....	73
Figura 47. Mapa das Classes de Fragilidade Emergente com apoio nas Unidades Territoriais Básicas, na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).....	74
Figura 48. Dendrograma da Análise de Similaridade da Densidade Aparente entre as coberturas de solo analisadas.	78
Figura 49. Dendrograma da Análise de Similaridade da Densidade Real entre as coberturas de solo analisadas.....	79
Figura 50. Dendrograma da Análise de Similaridade da Porosidade Natural entre as coberturas de solo analisadas.....	80
Figura 51. Dendrograma da Análise de Similaridade da Condutividade Elétrica entre as coberturas de solo analisadas.	83
Figura 52. Dendrograma da Análise de Similaridade do Percentual de Carbono entre as coberturas de solo analisadas.	83
Figura 53. Dendrograma da Análise de Similaridade do Percentual de Nitrogênio entre as coberturas de solo analisadas.	85
Figura 54. Dendrograma da Análise de Similaridade da Relação Carbono/Nitrogênio entre as coberturas de solo analisadas.....	86
Figura 55. Gráfico das estimativas intervalares de estoque de carbono dos solos, de acordo com sua cobertura.	90
Figura 56. Superfície de tendência do Carbono (%) (B.H. Paiol).....	96
Figura 57. Mapa de resíduos da superfície de tendência de Carbono (B.H. Paiol).....	97
Figura 58. Superfície de tendência do Carbono (%) (B.H. Sorocabaçu).	97
Figura 59. Mapa de resíduos da superfície de tendência de Carbono (B.H. Sorocabaçu).	98

Figura 60. Superfície de tendência do Nitrogênio (%) (B.H. Paiol).	99
Figura 61. Mapa de resíduos da superfície de tendência de Nitrogênio (B.H. Paiol).	99
Figura 62. Superfície de tendência do Nitrogênio (%) (B.H. Sorocabuçu).....	100
Figura 63. Mapa de resíduos da superfície de tendência de Nitrogênio (B.H. Sorocabuçu).....	100
Figura 64. Superfície de tendência da Condutividade Elétrica (B.H. Paiol).....	101
Figura 65. Mapa de resíduos da superfície de tendência da Condutividade Elétrica (B.H. Paiol).....	102
Figura 66. Superfície de tendência da Condutividade Elétrica (B.H. Sorocabuçu).	102
Figura 67. Mapa de resíduos da superfície de tendência da Condutividade Elétrica (B.H. Sorocabuçu).	103
Figura 68. Superfície de tendência da Resistência ao Penetrômetro (B.H. Paiol).	104
Figura 69. Mapa de resíduos da superfície de tendência da Resistência ao Penetrômetro (B.H. Paiol).	104
Figura 70. Superfície de tendência da Resistência ao Penetrômetro (B.H. Sorocabuçu).....	105
Figura 71. Mapa de resíduos da superfície de tendência da Resistência ao Penetrômetro (B.H. Sorocabuçu).....	105
Figura 72. Superfície de tendência da Porosidade Natural (B.H. Paiol).	106
Figura 73. Mapa de resíduos da superfície de tendência da Porosidade Natural (B.H. Paiol).....	107
Figura 74. Superfície de tendência da Porosidade Natural (B.H. Sorocabuçu).	107
Figura 75. Mapa de resíduos da superfície de tendência da Porosidade Natural (B.H. Sorocabuçu).	108
Figura 76. Áreas prioritárias para recuperação na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).....	114
Figura 77. Áreas prioritárias para recuperação na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).....	115
Figura 78. Áreas adequadas ao manejo agrícola na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).....	117
Figura 79. Áreas adequadas ao manejo agrícola na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).....	117

Lista de Tabelas

Tabela 1. Grau de fragilidade das classes de declividade, para os mapas de fragilidade ambiental com apoio nas Classes de Declividade.....	15
Tabela 2. Grau de fragilidade dos tipos de solos, para os mapas de fragilidade ambiental com apoio nas Classes de Declividade e nos Índices de Dissecação do Relevo.....	16
Tabela 3. Grau de fragilidade dos tipos de solos, para os mapas de fragilidade ambiental com apoio nas UTBs.....	17
Tabela 4. Grau de fragilidade das características pluviométricas, para os mapas de Fragilidade ambiental com apoio nas Classes de Declividade e nos Índices de Dissecação do Relevo.....	17
Tabela 5. Grau de fragilidade das Intensidades Pluviométricas, para os mapas de Fragilidade ambiental com apoio nas UTBs.....	18
Tabela 6. Grau de fragilidade das coberturas do solo, para os mapas de Fragilidade ambiental com apoio nas Classes de Declividade e nos Índices de Dissecação do Relevo.....	18
Tabela 7. Grau de fragilidade das coberturas do solo, para os mapas de Fragilidade ambiental com apoio nas UTBs.....	18
Tabela 8. Grau de fragilidade da geologia, para os mapas de Fragilidade ambiental com apoio nas UTBs.....	19
Tabela 9. Matriz de comparação pareada entre os fatores para a Fragilidade ambiental com apoio nas Classes de Declividade e nos Índices de Dissecação do Relevo.....	20
Tabela 10. Matriz de comparação pareada entre os fatores para a Fragilidade ambiental com apoio nas UTBs.....	20
Tabela 11. Intervalos de Classe dos graus de Fragilidade ambiental para os modelos com apoio nas Classes de Declividade e nos Índices de Dissecação do Relevo.....	21
Tabela 12. Intervalos de Classe dos graus de Fragilidade ambiental para o modelo com apoio nas UTBs.....	21
Tabela 13. Descrição dos temas e dos questionamentos abordados.....	32
Tabela 14. Percentual das Classes Litológicas nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabuçu, Ibiúna (SP).....	36
Tabela 15. Percentual das classes de altitude para as bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabuçu, Ibiúna (SP).....	39
Tabela 16. Percentual das Classes de Declividade para as bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabuçu, Ibiúna (SP).....	39

Tabela 17. Percentual das Classes de Fragilidade da Declividade nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabaçu, Ibiúna (SP).....	43
Tabela 18. Percentual da Concentração da Rugosidade nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabaçu, Ibiúna (SP).....	45
Tabela 19. Percentual das Classes de Fragilidade da Concentração da Rugosidade nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabaçu, Ibiúna (SP).	45
Tabela 20. Percentual dos Graus de Vulnerabilidade da Concentração da Rugosidade nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabaçu, Ibiúna (SP).	47
Tabela 21. Percentual das Classes de Solos nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabaçu, Ibiúna (SP).....	50
Tabela 22. Percentual das Classes de Fragilidade nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabaçu, Ibiúna (SP).....	51
Tabela 23. Percentual dos Graus de Vulnerabilidade nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabaçu, Ibiúna (SP).....	51
Tabela 24. Percentual da Pluviosidade Anual Média nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabaçu, Ibiúna (SP).....	55
Tabela 25. Percentual de Coberturas do Solo nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Ato Sorocabaçu, Ibiúna (SP).....	59
Tabela 26. Percentual das Classes de Fragilidade da Cobertura do Solo nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabaçu, Ibiúna (SP).....	59
Tabela 27. Percentual dos Graus de Vulnerabilidade da Cobertura do Solo nas bacias hidrográficas estudadas.	62
Tabela 28. Percentual dos Graus de Vulnerabilidade nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabaçu, Ibiúna (SP).....	62
Tabela 29. Percentual das Classes de Fragilidade Potencial nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabaçu, Ibiúna (SP).....	69
Tabela 30. Percentual das Classes de Fragilidade Emergente nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabaçu, Ibiúna (SP).....	75
Tabela 31. Tabela com os parâmetros da regressão linear multivariada para os modelos de fragilidade ambiental nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabaçu, Ibiúna (SP).	75
Tabela 32. Estatística descritiva dos atributos de qualidade do solo em áreas de cultivo orgânico, da bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, Ibiúna (SP).....	77
Tabela 33. Estatística descritiva dos atributos de qualidade do solo em áreas de cultivo convencional, da bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).....	82
Tabela 34. Estatística descritiva dos atributos de qualidade do solo em áreas de reflorestamento, das bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabaçu, Ibiúna (SP).	84

Tabela 35. Estatística descritiva dos atributos de qualidade do solo em áreas de vegetação, das bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	86
Tabela 36. Estatística descritiva dos atributos de qualidade do solo em áreas de pastagem, das bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	87
Tabela 37. Vazão e condutividade hidráulica de acordo com o uso do solo nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	90
Tabela 38. Matriz dos Coeficientes de Correlação de Pearson entre o percentual de Carbono, percentual de Nitrogênio, Fração de Silte e Fração de Argila e os demais atributos de solo analisados.	92
Tabela 39. Matriz dos Coeficientes de determinação (r^2) da correlação de Pearson entre o percentual de Carbono, percentual de Nitrogênio, Fração de Silte e Fração de Argila e os demais atributos de solo analisados.	93
Tabela 40. Funções de Pedotransferência e respectivos coeficientes de determinação.	94
Tabela 41. Práticas e postura dos entrevistados com relação aos Recursos Naturais nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	110
Tabela 42. Tratos culturais praticados pelos entrevistados nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	111
Tabela 43. Saneamento básico para os entrevistados nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	111
Tabela 44. Informações sócio-econômicas dos entrevistados nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	112
Tabela 45. Percentuais de áreas prioritárias para a recuperação nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	114
Tabela 46 – Percentual de áreas destinadas ao manejo agrícola nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).	118

Sumário

Resumo	i
Abstract	ii
Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	vii
Sumário	x
1 Introdução	1
2 Objetivos.....	2
2.1 Geral.....	2
2.2 Específicos	2
3 Revisão Bibliográfica.....	3
3.1 Fragilidade ambiental	3
3.2 Atributos Físicos de Qualidade do Solo	6
3.3 Atributos Químicos de Qualidade do Solo	10
3.4 Funções de Pedotransferência.....	12
3.5 Avaliação Socioambiental de Áreas Rurais.....	13
4 Material e Métodos.....	15
4.1 Fragilidade ambiental	15
4.1.1 Tratamento das variáveis espaciais e composição dos mapas temáticos.....	15
4.1.2 Composição dos mapas síntese	19
4.1.3 Verificação dos modelos de fragilidade ambiental	21
4.2 Análises dos Atributos de Solos	22
4.2.1 Cor	23
4.2.2 Granulometria.....	23
4.2.3 Densidade Aparente, Real e Porosidade.....	26
4.2.4 Compactação	27

4.2.5	Atributos Químicos	28
4.2.6	Condutividade Hidráulica.....	29
4.3	Análise Estatística.....	29
4.4	Análise Espacial.....	30
4.5	Funções de pedotransferência	31
4.6	Avaliação Socioambiental das Práticas Agrícolas.....	31
4.7	Subsídios ao planejamento ambiental das bacias hidrográficas	32
5	Caracterização da Área de Estudo.....	33
6	Resultados e Discussão	37
6.1	Fragilidade ambiental	37
6.2	Atributos de Qualidade do Solo.....	76
6.3	Estoque de Carbono dos Solos.....	89
6.4	Condutividade Hidráulica	90
6.5	Funções de Pedotransferência.....	92
6.6	Análise Espacial.....	95
6.7	Avaliação Socioambiental	109
6.8	Orientações para o planejamento ambiental das bacias hidrográficas.....	112
7	Conclusões e considerações finais	119
8	Referências Bibliográficas	121
9	ANEXO A – FOTOS	138

1 Introdução

Os recursos naturais da Terra já foram considerados inesgotáveis. No entanto, existe hoje a consciência de que os recursos são limitados, exigindo usos eficientes, que maximizem o bem estar social e busquem a sustentabilidade (MAZZOLENI; NOGUEIRA, 2006). Por isso, muitos estudos têm sido realizados para avaliar os impactos ambientais dos mais distintos setores da sociedade sobre estes recursos finitos.

Dentre as diversas atividades vitais à sobrevivência humana, a agricultura merece atenção especial, pois é essencial para a produção de alimentos. Tal atividade depende diretamente do solo e geralmente proporciona exaustão e poluição deste recurso. Além disso, a prática agrícola tem sido realizada em áreas muito próximas a cursos d'água, sobre solos pouco maduros e em áreas de altas declividades, tornando estas áreas suscetíveis aos processos erosivos e à contaminação dos mananciais e demais recursos naturais.

O planejamento para o uso adequado do solo é uma das alternativas para minimizar os impactos causados pela ocupação antrópica. Além disso, existem técnicas de cultivo, como a agricultura orgânica, que proporcionam condições de recuperação dos solos e geram impactos menores, sem comprometer a qualidade química e biológica dos recursos naturais (água e solo).

Dessa forma, estudos de fragilidade ambiental empírica permitem o zoneamento e avaliação das condições preliminares de bacias hidrográficas, de acordo com suas características geomorfológicas, pedológicas, geológicas, climáticas e de uso e ocupação das terras. Sendo, assim, uma importante ferramenta para o planejamento estratégico, visando intervenções e recuperação de áreas com alta fragilidade.

Aliado a esses estudos, a análise da qualidade dos solos possibilita diagnósticos sobre o manejo que vem sendo realizado e fornece uma análise mais detalhada deste aspecto aos resultados obtidos com os modelos de fragilidade ambiental empíricos.

É essencial que se considere o histórico da bacia analisada, ou seja, a postura, o grau de conscientização quanto às questões ambientais e as necessidades financeiras dos produtores. Integrando essas informações, é possível elaborar diagnósticos concisos das bacias estudadas e propor ações de recuperação e mitigações dos impactos causados.

Desta forma, o presente trabalho, teve por finalidade avaliar a qualidade ambiental de duas bacias hidrográficas localizadas à montante da Represa de Itupararanga, no município de

Ibiúna (SP), por meio da elaboração mapas de fragilidade ambiental (potencial e emergente), da análise de atributos do solo e da avaliação socioambiental de produtores rurais.

2 Objetivos

2.1 Geral

Efetuar uma análise comparativa da qualidade do solo e da fragilidade ambiental de duas bacias hidrográficas de características rurais, com diferentes formas de manejo do solo, no município de Ibiúna, estado de São Paulo.

2.2 Específicos

Fazem parte do escopo deste trabalho os seguintes objetivos específicos:

- Elaborar mapas de fragilidade ambiental das bacias hidrográficas em estudo.
- Comparar diferentes metodologias para a obtenção da fragilidade ambiental de uma área.
- Realizar o levantamento de parâmetros indicadores da qualidade física, hidráulica e química do solo.
- Subsidiar técnicas de manejo de solo mais adequadas para as bacias hidrográficas estudadas.
- Subsidiar planos de recuperação de áreas degradadas e de zoneamento das propriedades rurais estudadas.
- Avaliar o comportamento e a conscientização dos agricultores quanto à sua responsabilidade ambiental.

3 Revisão Bibliográfica

3.1 Fragilidade ambiental

De acordo com Lima e Martinelli (2008) a pesquisa ambiental tem como objetivo compreender as relações entre sociedade e natureza, de maneira holística, podendo ser realizado a partir da análise dos diversos elementos que compõem a paisagem geográfica.

A progressiva intervenção das sociedades humanas nos ambientes naturais tem acarretado o comprometimento da funcionalidade do sistema, causando graves processos degenerativos nestes ambientes. Considerando-se a completa inter-relação entre relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos, qualquer alteração nestes elementos, interfere em seu estado de equilíbrio dinâmico, refletindo-se sobre os demais componentes do sistema (SPÖRL, 2001).

Chorley e Kennedy (1971) buscaram o entendimento da teoria geral dos sistemas aplicada à análise geomorfológica, buscando a compreensão da relação homem-natureza e suas conseqüências sobre o relevo. De acordo com Marques Neto (2008) a aplicação do pensamento sistêmico no estudo geográfico visa interpretar a complexidade que explica a organização de um sistema espacial, a partir das interações que ocorrem entre os atributos formadores, conferindo-lhes caráter dinâmico e não-linear.

Tricart (1977) utilizou a teoria sistêmica para desenvolver o conceito de Unidade Ecodinâmica, que enuncia que as trocas de energia e matéria na natureza se processam através de relações de equilíbrio dinâmico, que é constantemente alterado por ações antrópicas, ocasionando estados de desequilíbrio temporários ou permanentes. A caracterização ecodinâmica do meio pode se dividir em meios estáveis (naturais), instáveis (com ação antrópica) e intergrades (transição de estabilidade). Desta forma, a análise da fragilidade de um determinado ambiente pode ser estudada antes (fragilidade potencial) e depois (fragilidade emergente) da ação humana.

A partir da conceituação de Tricart (1977), Ross (1994) e Crepani *et al.* (1996) propuseram metodologias para confecção de cartas de fragilidade ambiental. As duas metodologias de fragilidade empírica propostas por Ross (1994) e a metodologia proposta por

Crepani *et al.* (1996) consideram variáveis semelhantes para a obtenção do índice de fragilidade ambiental.

De acordo com Kawakubo *et al.* (2005) mapas de fragilidade ambiental são importantes ferramentas que subsidiam o planejamento territorial ambiental, permitindo a avaliação das potencialidades do meio ambiente de maneira integrada, aliando características naturais e modificações antrópicas.

O “Modelo de Fragilidade Potencial Natural com Apoio nos Índices de Dissecação do Relevo” (ROSS, 1994) considera que as unidades de fragilidade dos ambientes naturais devem ser resultantes da combinação dos índices de dissecação do relevo, classes de solos, cobertura vegetal e pluviosidade. Já o “Modelo de Fragilidade Potencial com Apoio nas Classes de Declividade” (ROSS, *op cit*) considera, assim como o primeiro, classes de solos, cobertura vegetal e pluviosidade, substituindo os índices de dissecação do relevo pelas classes de declividade.

Por sua vez, o “Modelo de Fragilidade Potencial Natural com Apoio em Unidades Territoriais Básicas (UTBs)” (CREPANI *et al.*, 1996) considera a estrutura geológica, as classes de solos, a geomorfologia, o clima e a cobertura vegetal.

Silva, Cabral e Scopel (2008) realizaram um estudo comparativo dos mapas de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego da Onça em Jataí (GO), para os anos de 1975 e 2006, por meio do modelo proposto por Ross (1994) com base nas classes de declive. Mostra-se que o modelo foi satisfatório para diagnosticar o uso inadequado do solo, tornando compreensível o grau de influência dos componentes naturais aliados às intervenções humanas no comprometimento do sistema natural.

Kawakubo *et al.* (2005) utilizaram as metodologias propostas por Ross (1994) para caracterizar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Onofre no município de Atibaia (SP). Os resultados obtidos mostraram a eficácia dos sistemas computacionais e a importância do uso de dados cartográficos para o planejamento ambiental de uma microbacia.

Spörl e Ross (2004) fizeram um estudo comparativo de três diferentes métodos empíricos de fragilidade ambiental, duas propostas em Ross (1994) e outra em Crepani *et al.* (1996), obtendo resultados divergentes para a área de estudo, apesar de utilizarem basicamente as mesmas variáveis, com pequenas diferenças nos cálculos. Desta forma, não foi possível indicar qual o melhor dos modelos, por não haver dados de campo para se realizar comparações, sendo necessária a correlação dos três modelos com qualidades do solo e da água obtidos em campo.

Utilizando técnicas de suporte à decisão e ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Donha, Souza e Sugamoto (2006) determinaram a fragilidade ambiental, com base na metodologia proposta por Ross (1994) de uma área localizada no município de Pinhais (PR). A partir dos mapas de distância dos rios, distância das nascentes, distância da represa, declividade, solos e uso atual, foram atribuídos pesos de importância a cada mapa e os mapas foram combinados. Sendo que, a maior parte da área estudada foi enquadrada, na classe de fragilidade potencial baixa e fragilidade emergente baixa. Além disso, os autores destacaram a ocorrência de declividades e solos com classes de fragilidade mais elevadas em áreas próximas a cursos d'água.

Vashchenko, Favaretto e Biondi (2007) utilizaram a metodologia proposta por Ross (1994), com base nas classes de declividade, utilizando os mapas de solos, declividade e uso do solo para caracterizar e avaliar a fragilidade ambiental em áreas de relevo acidentado no município de Campina Grande do Sul (PR). Com o cruzamento dos mapas de solos e declividade foi gerado o mapa de fragilidade potencial, que cruzado com o mapa de uso do solo, resultou no mapa de fragilidade emergente. A comparação dos dois mapas permitiu aos autores evidenciar a importância da vegetação para minimizar a fragilidade da área, que é potencialmente muito frágil, devido à alta declividade e às classes de solos muito frágeis. Desta forma, a cobertura vegetal exerce papel fundamental na proteção contra a degradação, amenizando a fragilidade potencial.

Pivello *et al.* (1998) elaboraram uma proposta de zoneamento para a Reserva de Cerrado Pé-de-Gigante, localizada no município de Santa Rita do Passo Quatro (SP), utilizando como subsídio, a fragilidade ambiental, caracterizada pela utilização cruzada de mapas geomorfológicos, climatológicos e de cobertura do solo da área. A fragilidade foi combinada a outros atributos para a determinação das áreas prioritárias para conservação.

Calijuri *et al.* (2007) propõem a utilização de um método de fragilidade ambiental baseado na lógica *fuzzy*. O mapa resultante foi analisado e comparado ao modelo de fragilidade proposto por Crepani *et al.* (1996). O uso da lógica *fuzzy* é proposto para reduzir a propagação de erros na geração, provenientes de incertezas nos valores dos atributos. Desta forma, as fronteiras ou limiares entre as classes de fragilidade são definidos computacionalmente, por meio da lógica *fuzzy*, aplicado por um SIG. Os autores ressaltam que o resultado obtido foi promissor, facilitando a aplicação, e, quando comparado com a metodologia de Crepani *et al.* (2001), mostrou-se mais detalhado, pois não atenua o padrão de

distribuição das classes de fragilidade. No entanto, os autores ressaltam a necessidade de comprovação de campo para validação da metodologia.

Visando gerar um subsídio ao estudo de processos erosivos, Reis Nakashima (2001) realizou o estudo da fragilidade ambiental a partir da análise integrada dos elementos climáticos, geológicos, geomorfológico, pedológicos e de uso da terra na bacia do rio Keller, Estado do Paraná. Paralelamente, a autora quantificou os processos erosivos da bacia hidrográfica, pela análise granulométrica, ensaios de infiltração e de resistência ao penetrômetro de impacto. Desta forma, foi realizada a análise comparativa entre os resultados obtidos com as análises laboratoriais e de campo com a carta de fragilidade ambiental gerada. Como principal conclusão, a autora evidencia a grande eficácia da Carta e fragilidade ambiental para o estudo de Planejamento Territorial de cunho ambiental.

3.2 Atributos Físicos de Qualidade do Solo

Os solos são muito diversificados em sua composição e características físicas, químicas, hidráulicas e biológicas. Esse sistema é composto por partículas minerais de vários tamanhos e formatos, matéria orgânica em diferentes estágios de decomposição, raízes, artrópodes e microorganismos, além de uma fração fluída, mais notadamente água e gases (YARON *et al.*, 1996).

Com o grande crescimento populacional e o aumento na demanda por alimentos e matérias-primas, várias práticas predatórias de uso e ocupação do solo têm sido largamente utilizadas, buscando aumentar a fertilidade do solo e conseqüentemente, a produção agrícola. Estas ocasionam várias perturbações ambientais, principalmente no solo, como perda de matéria orgânica, erosão, alterações nos ciclos biogeoquímicos e declínio da microfauna, comprometendo a qualidade do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

De acordo com Hudson (1977) *apud* Cogo, Levien e Schwarz (2003) o processo de erosão hídrica do solo pela água da chuva é conseqüência da pluviosidade, solo, topografia, cobertura, manejo e práticas conservacionistas de suporte. Isoladamente, a cobertura do solo é o fator de influência mais importante do processo, no entanto, rugosidade, propriedades físicas superficiais e sub-superficiais também favorecem os processos erosivos (SCHICK *et al.*, 2000).

Perdas de solo, água, nutrientes e matéria orgânica por erosão hídrica são fortemente influenciadas por sistemas de manejo do solo, os quais, quando mal utilizados, podem

acarretar a degradação de agroecossistemas. Sistemas convencionais de manejo do solo podem favorecer as perdas de nutrientes por erosão hídrica, aumentando os riscos ambientais (HERNANI, KURIHARA E SILVA, 1999).

Vieira, Cogo e Cassol (1978) verificaram perdas maiores de fósforo, matéria orgânica e potássio, em solo LATERÍTICO BRUNO-AVERMELHADO distrófico com chuva simulada, em sistemas de manejo que envolvem aração. Em LATOSSOLO ROXO, Castro *et al.* (1986) verificaram a proporcionalidade entre a perda de nutrientes e as perdas de água e solo. Nos dois estudos, a qualidade do solo é depreciada pela ação da erosão hídrica, que carrega consigo importantes nutrientes e componentes do solo.

Segundo Silva, Schulz e Camargo (2003) existem algumas propriedades físicas do solo que são fundamentais para que o processo erosivo se desenvolva. Os autores destacam textura do solo, estrutura do solo, quantidade de matéria orgânica, porosidade e permeabilidade hídrica como os principais parâmetros de interferência.

A quantidade de matéria orgânica influencia diretamente na estrutura do solo, pois interfere na estabilidade dos agregados que formam. Da mesma forma, a porosidade está relacionada à estrutura dos solos, além de se relacionar com a permeabilidade hídrica, quanto maior o número de poros maior infiltração de água no solo, menor escoamento superficial (Silva, Schulz e Camargo, 2003).

Araújo, Goedert e Lacerda (2007) avaliaram a qualidade do solo em área de Cerrado nativo e em áreas sob diferentes usos, amostrando camadas de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO sob quatro tipos de ocupação: pastagem natural, pastagem cultivada, cultivo convencional com culturas anuais e reflorestamento de Pinus. Analisando densidade do solo, resistência mecânica à penetração, taxa de infiltração de água, teor de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, C total da biomassa microbiana e respiração basal, os autores evidenciaram relação estreita e inversa entre a qualidade do solo e a intensidade de uso a que as áreas foram submetidas. Estes resultados indicam a maior suscetibilidade à erosão em áreas de cultivo, pois os parâmetros porosidade, resistência mecânica à penetração, carbono orgânico e infiltração demonstram a baixa qualidade dos solos dessas áreas.

Cavenage *et al.* (1999) analisaram as alterações das propriedades físicas de um LATOSSOLO VERMELHO escuro, sob diferentes culturas e sua capacidade de recuperação. As amostras foram coletadas em solos sob vegetação de milho após 10 anos de cultivo, pinus, eucalipto, pastagem e mata ciliar, e cerrado (condição natural), em três profundidades (0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m), no município de Selvíria, MS. Os resultados evidenciam

alterações nas propriedades físicas do solo de acordo com os diferentes usos, sendo que, as áreas com mata ciliar e pinus foram as que mais se aproximaram das condições naturais, apresentando, porém, compactação na camada superficial. Os autores destacaram a maior suscetibilidade à erosão de solos em áreas de cultivo.

Considerando a grande influência da textura dos solos sobre o arraste de materiais, Schäfer *et al.* (2001) analisaram entre outros atributos, a composição granulométrica dos solos em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, no município de Santa Maria (RS). Os resultados mostraram fator de erodibilidade baixo para os solos mais arenosos, o que pode ser explicado pela estabilidade de agregados e pelo alto teor de matéria orgânica do solo estudado. O resultado encontrado diverge de trabalhos como os de Cassol e Lima (1998) e Rockenbach (1992), que para texturas semelhantes encontraram fatores de erodibilidade maiores.

Ferreira, Fernandes e Curi (1999) avaliaram a influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de LATOSSOLOS do Sudeste do Brasil. Os resultados encontrados mostraram que o alumínio possui efeito mais pronunciado sobre as propriedades físicas do solo que o ferro. Além disso, o estudo mostrou grande influência da mineralogia da fração argila sobre os atributos: densidade, porosidade, macroporosidade, estabilidade de agregados e permeabilidade.

Araújo, Tormena e Silva (2004) avaliaram algumas propriedades indicadoras da qualidade física de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico da região Noroeste do Paraná, cultivado e sob mata nativa. Avaliados a porosidade, a densidade do solo, a curva de retenção de água do solo, a curva de resistência do solo à penetração e o intervalo hídrico ótimo. Os resultados indicaram valores significativamente maiores de densidade do solo e menores de macroporosidade e porosidade total na área cultivada. Não constataram efeito significativo do uso do solo na curva de retenção de água, apesar de ter sido ela influenciada pela densidade do solo. A curva de resistência foi significativamente influenciada pelo uso do solo, evidenciada pelos maiores valores de resistência à penetração com o selamento do solo na área cultivada.

Os atributos físicos de um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO e de um LATOSSOLO VERMELHO sob diferentes sistemas de manejo foram avaliados em Carneiro *et al.* (2009). Verificou-se que sob os diferentes tipos de manejo do solo exerceram maior influência nos NEOSSOLOS, promovendo alterações na densidade, porosidade, macroporosidade e resistência ao penetrômetro.

Bertol *et al.* (2001) estudaram, em CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico, em Lages-SC, de maio de 1995 a novembro de 1999, as modificações em algumas propriedades físicas do solo afetadas pelo manejo. Os tratamentos foram, preparo convencional executado com uma aração+duas gradagens (PCO) e semeadura direta (SDI), ambos com quatro repetições, além de um tratamento de campo nativo pastejado (CNP), com duas repetições. Na SDI foram cultivadas ervilhaca e milho em sucessão e, no PCO, adotou-se a sucessão milho seguido de pousio. Foram avaliadas a resistência do solo ao penetrômetro e diâmetro médio ponderado de agregados (DMP), ambos nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-10,0 e 10,0-15,0 cm, e a taxa de infiltração de água no solo. O tipo de manejo não afetou o DMP na camada de 0-2,5 cm; nas demais camadas, no entanto, o CNP e SDI apresentaram valores maiores do que o PCO, não diferindo entre si. A resistência do solo ao penetrômetro foi maior na SDI do que nos demais tratamentos, na camada de 0-2,5 cm. A taxa de infiltração de água no solo, tanto inicial quanto final, foi maior no PCO do que nos demais tratamentos.

Com o objetivo de avaliar a distribuição de classes texturais e sua correlação com a infiltrabilidade de uma área aluvial, no Agreste do Pernambuco, Montenegro e Montenegro (2006) realizaram ensaios de condutividade hidráulica e granulometria. Foram encontradas altas correlações entre a condutividade hidráulica e a textura dos solos, o que permite a representações de distintos padrões para o potencial de lixiviação.

Klein e Libardi (2002) avaliaram as alterações da condutividade hidráulica de um LATOSSOLO ROXO ácrico, submetido a diferentes sistemas de uso e manejo, no município de Guaíra (SP). Os manejos realizados no solo alteraram drasticamente este atributo, em consequência do aumento da densidade, sendo que, a estrutura do solo foi afetada até a camada 0,4 m. Desta forma, as alterações na estrutura do solo, com aumento da densidade, redução da porosidade total e alteração na distribuição dos diâmetros, diminuíram a condutividade hidráulica dos solos estudados.

Outra importante característica do solo é a cor, podendo ser utilizada para identificar e descrever solos no campo, além de ser um atributo de diferenciação entre muitas classes de solos (DALMOLIN *et al.*, 2005). Segundo Campos e Demattê (2004) a cor do solo é um dos atributos melhores para caracterização dos solos, além de ser importante fonte de informações pedológicas. A variação de cor ocorre principalmente pela presença de óxidos de ferro e matéria orgânica, além de ser influenciada por outros fatores como: umidade e distribuição do tamanho das partículas (FERNANDEZ e SCHULZE, 1992). De acordo com Almeida, Torrent

e Barrón (2003) a distinção da cor é importante, pois reflete o teor de hematita e goethita, permitindo inferências sobre drenagem e comportamentos físico e químico do solo.

Campos (2001) utilizou o parâmetro cor do solo na predição dos teores de hematita, desenvolvendo modelos de correlação que possibilitaram o estabelecimento de relações entre os dois parâmetros. O autor calculou os teores de hematita e os índices de avermelhamento para cada amostra, encontrando alta correlação, demonstrando a viabilidade da predição de hematita por meio da identificação da cor do solo.

Canellas *et al.* (2003) estudaram as correlações entre as frações de matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no Estado do Rio de Janeiro. Foi encontrada alta influência da concentração de matéria orgânica sobre a cor dos solos, principalmente devido à fração de humina.

3.3 Atributos Químicos de Qualidade do Solo

A retirada da vegetação nativa para a instalação de cultivos repercute sobre sistemas biológicos complexos, multiestruturados, diversificados e estáveis. A sua substituição por sistemas simples e instáveis provoca variações difíceis de quantificar no ciclo dos elementos necessários ao crescimento das plantas, ocasionando na diminuição da fertilidade do solo (CANELLAS *et al.*, 2003).

A condutividade elétrica é a habilidade que um material tem de transmitir (conduzir) corrente elétrica. O solo pode conduzir corrente elétrica por meio da água intersticial, que contém eletrólitos dissolvidos, assim como por cátions trocáveis que residem perto da superfície de partículas de solo carregadas e são eletricamente móveis em vários níveis (NADLER & FRENKEL, 1980 *apud* CASTRO & MOLIN, 2006). Como o potencial osmótico é um componente do potencial total da água do solo e reconhecendo que as plantas são sensíveis a níveis elevados de salinidade (> 3 dS/m), esse atributo tem sido usado também para caracterizar substratos (TAVARES *et al.*, 2008).

Segundo Sanchez (1976), sob condições naturais o solo encontra-se em estado estável, com cobertura vegetal nativa e equilíbrio nas taxas de entrada e saída de carbono. De acordo com Gonçalves e Ceretta (1999) o uso do solo para fins agrícolas rompe o estado de equilíbrio, podendo levar ao comprometimento dos níveis de carbono orgânico no solo. Desta forma, em sistemas de cultivo com revolvimento do solo as perdas de carbono orgânico são maiores, se comparados a pastagens ou sistemas sem revolvimento (Carvalho, 1984).

Moreira e Costa (2004) avaliaram a fertilidade do solo e a dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana no reflorestamento de clareiras com diferentes idades, na região amazônica, município de Coari (AM). Os reflorestamentos ocasionaram diminuição gradativa nos valores do pH, que mesmo com a presença de matéria orgânica, que possui ação tamponamento do solo, manteve a tendência de queda. O que foi justificado pelos autores como conseqüências de processos anteriores, como uso da queima para o desmatamento, o que aumenta significativa o pH dos solos.

As variações de pH com o tempo de uso de pastagens, de um LATOSSOLO AMARELO da Amazônia Central, foram avaliados por Correa e Reichardt (1995). Os resultados obtidos mostraram que o pH dos solos sob pastagens de 4, 6 e 10 anos apresentam valores mais baixos, e que ao serem acrescidos de cinzas de queimadas de florestas elevou o pH de todas as áreas.

Oliveira *et al.* (2002a) avaliaram o comportamento do carbono orgânico, condutividade elétrica e pH, em LATOSSOLO AMARELO distrófico com crescentes aplicações de lodo de esgoto, cultivado com cana-de-açúcar. Os resultados mostraram aumento imediato em todos os parâmetros. Além disso, os autores destacaram a grande correlação entre os resultados obtidos para a capacidade de troca catiônica (CTC) e o pH, que explicou as suas alterações melhor que as variações ocorridas no carbono orgânico.

Araújo *et al.* (2004) avaliaram as alterações químicas em ARGISSOLO AMARELO distrófico sob diferentes usos, no município de Sena Madureira (AC). Verificou-se que, sob pastagens de braquiárias o solo tem grandes perdas de suas características, quando comparado com o solo sob mata nativa, principalmente nos teores de carbono orgânico. Porém, para todos os usos estudados, o carbono orgânico e os outros nutrientes se encontravam concentrados apenas na camada superficial do solo.

A variação da quantidade de carbono e nitrogênio em solos de cerrado nativo, pastagem e diferentes manejos de cultivo, no município de Morrinhos (GO), foi avaliada por d'Andréa *et al.* (2004). Os resultados obtidos não evidenciaram grandes variações entre os sistemas estudados. Verificou-se apenas distinção para o manejo de cultivo com maiores revolvimentos de solo. Além disso, notou-se que a pastagem e o sistema de plantio com baixo revolvimento são promissores para o aumento dos estoques de carbono orgânico no solo.

3.4 Funções de Pedotransferência

Interpretações de dados obtidos em campo, análises de laboratório e a morfologia do solo podem ser utilizadas para o mapeamento quantitativo de propriedades do solo. Por meio de equações matemáticas, as chamadas funções de pedotransferência (FPTs) traduzem dados provenientes de levantamentos de solos em outras informações de difícil mensuração ou de obtenção mais cara (BUDIMAN *et al.*, 2003).

As FPTs vêm sendo usadas para o planejamento ambiental para estimar o conteúdo de água no solo e para a avaliação dos impactos oriundos da mudança na cobertura do solo. Uma vez que vários atributos, como infiltração e armazenamento de água no solo, estoque de carbono, capacidade de estocagem/filtragem de metais pesados, dentre outros, podem ser estimados por meio destas equações (SONNEVELD *et al.*, 2003).

As FPTs estão também embutidas nas equações ou modelos de erosão já elaborados, utilizadas em atividades de estimativa de perdas de solo, emprego de práticas conservacionistas e planejamento de uso da terra. Ou seja, as FPTs constituem uma alternativa para quantificar a qualidade dos solos mediante atributos físicos (NATIONAL RESEARCH CONUNCIL, 1993).

Muitas equações foram criadas e atualmente existem programas desenvolvidos que utilizam as FPTs para estimar propriedades hidráulicas de solos conforme a escolha do usuário. Exemplos: softwares SOILPAR 2.00 (ACUTIS; DONATELLI, 2003) e ROSETTA (SCHAPP, LEIJ e VAN GENUCHTEN, 2001).

Oliveira *et al.* (2002b) elaboraram funções de pedotransferência para estimar o conteúdo de água disponível no solo, a partir de dados granulométricos e de densidade do solo, no estado de Pernambuco, além de ter comparado a eficiência das equações propostas com as disponíveis na literatura. Os autores evidenciaram que as equações semelhantes encontradas na literatura apresentaram grande erro, o que restringe sua utilização para os solos de Pernambuco. Já as equações elaboradas no trabalho mostraram que a água disponível e o conteúdo de água retido a -33 e -1.500 kPa podem ser previstos a partir de dados granulométricos e da densidade dos solos.

Outros estudos, como o de Almeida *et al.* (2008) buscaram a descrição da curva de resistência do solo à penetração por meio de equações de relação com o conteúdo de água em solos de distintas granulometrias e densidades. Os resultados obtidos mostraram grande influência do conteúdo gravimétrico de água no solo para a determinação da resistência do

solo à penetração. Os autores salientaram a necessidade de ajuste da equação obtida, de acordo com as características estruturais do solo.

3.5 Avaliação Socioambiental de Áreas Rurais

Segundo Basaldi (2001) depois de 1960 foi observado um grande engajamento da população rural em atividades não-agrícolas, desenvolvidas tanto no campo quanto nas cidades. De acordo com Del Grossi (1999), no Brasil, em 1995, 26% da população rural possuía ocupação não-agrícola. Isto pode ser atribuído à incorporação no campo de modernas tecnologias que passaram a ser disponibilizadas aos agricultores.

De acordo com Rodrigues, Castro e Teixeira (2007) entre os anos de 1960 e 1992 foram transferidos, anualmente, 40% da renda do setor agrícola para outros setores, o que agravou a situação da agricultura no Brasil. Entre as décadas de 60 e 70, foi instituída a política de crédito rural, que beneficiou principalmente os grandes produtores, contribuindo pouco com a agricultura familiar, que é responsável por mais de 40% da produção agrícola do país. Visando melhorar a infra-estrutura da agricultura familiar, duas políticas nacionais foram implantadas, sendo que a Política de Estabilização de Renda tem sido uma alternativa para incentivar os produtores familiares.

Entretanto, as políticas de incentivo ao desenvolvimento não têm considerado uma premissa extremamente importante, considerando-se a atual conjuntura ambiental, que é a montagem de sistemas ambientalmente sustentáveis e economicamente rentáveis. Segundo Abramovay (1997), esse é um dos maiores desafios colocados pelos agricultores aos especialistas.

O encontro entre a questão ambiental e a produtividade se materializa por meio das estratégias que os agricultores implementam, pois tentam promover a conservação aliada à produção (VILLABERDE, 2002).

Apesar de ainda pouco expressiva no Brasil, a relevância da agricultura orgânica vem crescendo, seguindo a tendência de outros países, em especial na Europa (MAZZOLENI; NOGUEIRA, 2006). Os sistemas de plantio orgânico, assim como toda atividade antrópica, ainda proporcionam impactos ambientais negativos, porém, de maneira mais amena que a agricultura convencional. Um dos principais benefícios desse tipo de cultivo é a recuperação mais acelerada do solo, pelo fato de utilizar equipamentos menos agressivos e ausência de

produtos químicos. O que favorece a microfauna dos solos a se manter em equilíbrio (THEODORO *et al.*, 2003).

Faria *et al.* (2000) realizaram um estudo transversal entre os trabalhadores rurais da região serrana do Rio Grande do Sul, buscando conhecer as características do trabalho rural e descrever a ocorrência de patologias. Amostrando 1.479 trabalhadores, 75% lidavam com agrotóxicos, sendo que 12% destes haviam se intoxicado por estes produtos em algum momento da vida. A maioria dos entrevistados possuía jornadas de trabalho superiores a 8 horas por dia, e houve taxa considerável de transtornos psiquiátricos. A pesquisa revelou diversidade nas atividades agrícolas e nos riscos ocupacionais. Além disso, ficou evidente a necessidade de se priorizar medidas de proteção à saúde do trabalhador rural.

Rodrigues e Campanhola (2003) apresentaram um sistema integrado de avaliação de impacto ambiental, com 62 indicadores de desempenho ambiental de uma atividade econômica em um estabelecimento rural. O sistema considera cinco dimensões: ecologia de paisagem, meio físico (água, atmosfera e solo), valores sócio-culturais, valores sócio-econômicos e administração. Cada impacto aferido foi traduzido em valores, de maneira a permitir a composição de um Índice de Impacto Ambiental. Desta forma, foi exposta uma metodologia de análise integrada, abrangendo os aspectos ambientais e sociais de propriedades rurais.

Luiz e Silveira (2000) verificaram a sustentabilidade da predominância da agricultura familiar, na microbacia de Taquara Branca, Sumaré (SP). Foram avaliados os trabalhadores de cada propriedade, as práticas empregadas (plantação, criação, arrendamento, salário) e as formas de posse (irrigação, trator e pulverizadores). O principal resultado foi a baixa predominância da agricultura familiar na microbacia estudada, que, no entanto, é a categoria individualmente mais frequente. Além disso, a análise multidimensional aplicada, buscando encontrar as similaridades entre as propriedades, equacionou de maneira satisfatória as diversas variáveis. Os autores ainda destacaram a boa aplicabilidade do questionário, que pode ser empregado em outros estudos.

4 Material e Métodos

4.1 Fragilidade ambiental

4.1.1 Tratamento das variáveis espaciais e composição dos mapas temáticos

A topografia e a malha hídrica das folhas São Roque, Jurupará e Jucituba, em escala 1:50.000 (IBGE, 1984), foram vetorizadas e os limites das bacias hidrográficas foram determinados, com o auxílio do programa AutoCad Map 2000i (AUTODESK, 2000). Em seguida, utilizando a ferramenta *Topo to Raster* do Sistema de Informações Geográficas (SIG) ArcGis 9.2 (ESRI, 2006) foram gerados os mapas hipsométricos para as duas bacias. Os mapas de declividade foram gerados com o comando *Slope* do ArcGis 9.2. A declividade foi reclassificada, com o auxílio do programa Idrisi Andes (EASTMAN, 2006), em cinco classes, de acordo com o seu grau de fragilidade, atribuindo seus respectivos pesos (Tabela 1), de acordo com a metodologia proposta por Ross (1994).

Tabela 1. Grau de fragilidade das classes de declividade, para os mapas de fragilidade ambiental com apoio nas Classes de Declividade.

Valor Atribuído	Grau de Fragilidade	Classes de Declividade
1	Muito Fraca	< 6 %
2	Fraca	6 – 12 %
3	Média	12 – 20 %
4	Forte	20 – 30 %
5	Muito Forte	> 30 %

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

A análise da dissecação do relevo por meio de perfis (Ross, 1992) é, indiretamente, uma análise da sinuosidade do relevo ou da frequência de rios (Horton, 1945), sendo que considera a relação entre a superfície ondulada e a superfície plana. Os parâmetros morfométricos que descrevem a sinuosidade e a rugosidade do relevo podem ser representados por valores que expressem individualmente a feição de cada ponto ou alinhamento da superfície analisada, via índices que possibilitem a associação, ou não, das dimensões envolvidas. Desta forma, utilizando o programa ArcGis 9.2 (ESRI, 2006), elaborou-se o mapa de distribuição do índice de concentração da rugosidade (ICR), aplicando-se o modelo de densidade de Kernel, ferramenta *Kernel Density*, sobre o mapa de declividade, de acordo com a metodologia proposta por Sampaio (2009).

Os graus de fragilidade dos mapas de ICR foram determinados realizando a discretização de acordo com o referencial teórico proposto por Ross (1992), utilizando-se cinco classes, denominadas, “Muito Fraca”, “Fraca”, “Média”, “Forte” e “Muito Forte”. O critério estatístico adotado para a composição do mapa discretizou os dados a partir da análise de distribuição e frequência, evitando-se classes de dados vazias, sub ou superestimadas, obedecendo às proposições seguindo Sampaio (2009). Desta forma, após serem exportados para o SIG Idrisi Andes (EASTMAN, 2006), foi realizada a reclassificação, atribuindo-se valores de 1 a 5 para as classes de “Muito Fraca” a “Muito Forte”, respectivamente.

O mapa de solos disponível para a área de estudo é o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA *et al.*, 1999), na escala 1:500.000. Para melhorar a precisão do mapa e permitir a sua utilização nos modelos de fragilidade, foi elaborado um novo mapa de solos para a área com base na topografia, de acordo com a metodologia proposta por Hermuche *et al.* (2002), utilizando-se a morfometria como suporte. Para realçar os padrões morfométricos, com o auxílio do programa Idrisi Andes (EASTMAN, 2006), foram geradas composições coloridas utilizando-se os mapas de declividade, hipsométrico e de aspecto. Após a análise visual gerou-se os histogramas de frequência dos mapas de declividade e hipsométrico, observando os pontos de inflexão que indicam as zonas de transição das principais classes de solo. Foi elaborado o mapa pedológico para cada área após reclassificação com base nas análises estatísticas.

A classificação dos graus de fragilidade para as classes de solos foi realizada de acordo com a proposição de Ross (1994), explicitada na Tabela 2, e, segundo a metodologia de Crepani *et al.*, (1996), demonstrada na Tabela 3.

Tabela 2. Grau de fragilidade dos tipos de solos, para os mapas de fragilidade ambiental com apoio nas Classes de Declividade e nos Índices de Dissecação do Relevo.

Valor Atribuído	Grau de Fragilidade	Tipos de Solos
1	Muito Fraca	LATOSSOLOS ROXO, LATOSSOLO VERMELHO ESCURO, LATOSSOLO AMARELO textura argilosa
2	Fraca	LATOSSOLO AMARELO E VERMELHO AMARELO textura média/argilosa
3	Média	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, TERRA ROXA, TERRA BRUNA, PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO textura média/argilosa
4	Forte	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO textura arenosa, CAMBISSOLOS
5	Muito Forte	PODZOLIZADOS com Cascalhos, LITÓLICOS e AREIAS QUARTZOSAS

Fonte: Spörl (2001) – adaptado.

Tabela 3. Grau de fragilidade dos tipos de solos, para os mapas de fragilidade ambiental com apoio nas UTBs.

Vulnerabilidade	Tipos de Solos
1	LATOSSOLO
2	PODZÓLICOS, PLANOSSOLO, TERRA ROXA Estruturada, BRUNO não-cálcico, BRUNIZÉNS
2,5	CAMBISSOLOS
3	SOLOS ALUVIAIS E LITÓLICOS, ORGÂNICOS, HIDROMÓRFICOS, CONCRECIONÁRIOS LATERÍTICOS, LATERÍTA HIDROMÓFICA, AREIA Quartzosa, VERTISSOLO, REGOSSOLO, GLEI HÚMICO, GLEI POUCO HÚMICO, PLINTOSSOLO, RENDZINAS ALFORAMENTO ROCHOSO

Fonte: Spörl (2001) – adaptado.

A base de dados pluviométricos foi obtida junto ao Sistema de Informações para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH, 2009). Com estes dados foram calculadas as médias das pluviosidades anuais acumuladas para todos os postos localizados próximos à área de estudo com série histórica de 20 anos. Os dados foram espacializados e avaliou-se a possibilidade de aplicação do método da krigagem, pela análise do variograma. Como a correlação espacial obtida foi pouco significativa, optou-se pela aplicação do método do Inverso do quadrado da distância (IQD). Todos os procedimentos geoestatísticos foram operacionalizados no programa Surfer 8 (GOLDEN SOFTWARE, 2002).

Com o único posto pluviométrico, localizado na área de estudo, gerou-se um histograma, que permitiu a identificação dos períodos seco e chuvoso. Este dado subsidiou a classificação das características pluviométricas da área de estudo, de acordo com Spörl (2001), demonstrado na Tabela 4. Além disso, de acordo com Crepani *et al.* (2001), foi determinada a intensidade pluviométrica da área, classificando-a na escala de erosividade da chuva (Tabela 5).

Tabela 4. Grau de fragilidade das características pluviométricas, para os mapas de Fragilidade ambiental com apoio nas Classes de Declividade e nos Índices de Dissecação do Relevo.

Valor Atribuído	Grau de Fragilidade	Características Pluviométricas
1	Muito Fraca	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, volumes não muito superiores a 1000 mm/ano.
2	Fraca	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, volumes não muito superiores a 2000 mm/ano.
3	Média	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, período seco com 2 a 3 meses e verão com maiores intensidade de dezembro a março.
4	Forte	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, período seco com 3 a 6 meses e verão com 70 a 80 % das chuvas de novembro a abril.
5	Muito Forte	Grandes volumes anuais, ultrapassando 2500 mm/ano, ou comportamento pluviométrico irregular, com episódios de chuvas de alta intensidade e baixos volumes anuais.

Fonte: Spörl (2001) – adaptado.

Tabela 5. Grau de fragilidade das Intensidades Pluviométricas, para os mapas de Fragilidade ambiental com apoio nas UTBs.

Vulnerabilidade	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)
1,0	< 50	2,1	275 – 300
1,1	50 – 75	2,2	325 – 350
1,2	75 – 100	2,3	350 – 375
1,3	100 - 125	2,4	375 – 400
1,4	125 – 150	2,5	400 – 425
1,5	150 – 175	2,6	425 – 450
1,6	175 - 200	2,7	450 – 475
1,7	200 – 225	2,8	475 – 500
1,8	225 – 250	2,9	500 – 525
2,0	250 – 275	3,0	> 525

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

O mapa de cobertura do solo foi elaborado a partir de classificação supervisionada baseada na Máxima Verossimilhança de imagens TM Landsat de abril de 2009 (INPE, 2009). Sua exatidão foi submetida à avaliação do índice Kappa, que é obtido mediante a adoção de uma referência para comparação dos mapeamentos produzidos. Neste caso, a análise da exatidão dos mapeamentos é obtida por matrizes de confusão ou matrizes de erro, sendo posteriormente calculado o índice Kappa de concordância (LILLESAND; KIEFER, 1994). Os tipos de uso identificados, de acordo com IBGE (2006) para as bacias hidrográficas foram: vegetação, reflorestamento, pastagem, solo exposto e cultivo temporário.

Os graus de fragilidade para as coberturas de solo identificadas foram descritos de acordo com Ross (1994), exemplificados na Tabela 6, e, segundo a metodologia de Crepani *et al.*, (1996), demonstrada na Tabela 7.

Tabela 6. Grau de fragilidade das coberturas do solo, para os mapas de Fragilidade ambiental com apoio nas Classes de Declividade e nos Índices de Dissecção do Relevô.

Valor Atribuído	Grau de Fragilidade	Tipos de Cobertura do Solo
1	Muito Fraca	Mata
2	Fraca	Reflorestamento
3	Média	Pastagem cultivada e pastos naturais
4	Forte	Cultivo Temporário
5	Muito Forte	Solo Exposto

Fonte: Ross (1994) – adaptado.

Tabela 7. Grau de fragilidade das coberturas do solo, para os mapas de Fragilidade ambiental com apoio nas UTBs.

Vulnerabilidade	Tipos de Cobertura do Solo
1	Mata e Reflorestamento
2	Pastagem
3	Cultivo Temporário e Solos Exposto

Fonte: Crepani *et al.* (2001) – adaptado.

As informações geológicas foram extraídas de IPT (1981) na escala 1:500.000, com o programa AutoCAD Map 2000i (AUTODESK, 2000). Os vetores com as informações sobre a geologia das áreas de estudo foram exportados para o SIG Idrisi Andes (EASTMAN, 2006) onde foram reclassificados, de acordo com Crepani *et al.* (2001), para a aplicação no modelo de fragilidade ambiental com apoio nas UTBs, como mostrado na Tabela 8.

Tabela 8. Grau de fragilidade da geologia, para os mapas de Fragilidade ambiental com apoio nas UTBs.

Vulnerabilidade	Litologias	Tipos de Rochas
1,0	Quartzitos ou Metaquartzitos	Metamórficas
1,1	Riólitos, Granito, Dacito	Ígneas
1,2	Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	Ígneas Intrusivas
1,3	Migmatitos e Gnaisses	Metamórficas
1,4	Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	Ígneas Intrusivas
1,5	Andesito, Diorito, Basalto	Ígneas
1,6	Anortosito, Gabro, Peridotito	Ígneas Intrusivas
1,7	Minolitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	Metamórficas
1,8	Piroxenito, Anfíbolito, Kimberlito, Dunito	Ígneas Metamórficas
1,9	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	Ígneas
2,0	Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	Metamórficas
2,1	Filito, Metassilito	Metamórficas
2,2	Ardósia, Metargilito	Metamórficas
2,3	Mármore	Metamórficas
2,4	Arenitos quartzosos	Sedimentares
2,5	Conglomerados, subgrauvacas	Sedimentares
2,6	Grauvascas, Arcózios	Sedimentares
2,7	Siltitos, Argilitos	Sedimentares
2,8	Folhelhos	Sedimentares
2,9	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	Sedimentares
3,0	Sedimentos inconsolidados	Sedimentares

Fonte: Spörl (2001).

4.1.2 Composição dos mapas síntese

Foram compostos os mapas de fragilidade potencial para os três modelos, utilizando-se os mapas pluviométrico, geomorfológico e pedológico para os modelos com apoio nas “Classes de Declividade” e nos “Índices de Dissecação do Relevo”. Para o modelo com apoio das “UTBs” foi acrescido o mapa geológico aos outros três mapas. A ponderação para as composições foi equitativa, não sendo atribuídos pesos distintos para os mapas.

Para a composição dos mapas síntese, indicando as classes de fragilidade ambiental com apoio nas “Classes de Declividade”, nos “Índices de Dissecação do Relevo” e nas “UTBs”, das duas bacias hidrográficas, utilizou-se uma adaptação da metodologia de Ross (1994), proposta por Calijuri *et al.* (2007) que utilizam um mecanismo do SIG Idrisi Andes

(EASTMAN, 2006) para realizar a comparação entre os pares de fatores em relação à sua importância relativa. A ferramenta *Weight* calcula um conjunto de pesos cuja somatória é 1. Estes pesos são denominados valores de ponderação e regulam a compensação entre os fatores. Os valores de importância relativa utilizados foram adaptados de Calijuri *et al.* (2007) e estão demonstrados na Tabela 9 e na Tabela 10.

Tabela 9. Matriz de comparação pareada entre os fatores para a Fragilidade ambiental com apoio nas Classes de Declividade e nos Índices de Dissecção do Relevo.

Fatores	Pluviosidade	Solos	Geomorfologia	Uso e Ocupação
Pluviosidade	1	-	-	-
Solos	1	1	-	-
Declividade	1	1	1	-
Uso e Ocupação	3	3	3	1

Parâmetros para comparação pareada. Menos Importante: 1/9 Extremamente, 1/7 Muito Fortemente, 1/5 Fortemente, 1/3 Moderadamente. 1 Igualmente. **Mais Importante:** 3 Moderadamente, 5 Fortemente, 7 Muito Fortemente, 9 Extremamente.

Os pesos atribuídos pelo programa para os modelos de fragilidade com apoio nas “Classes de Declividade” e nos “Índices de Dissecção do Relevo” foram: 0,1667 para os mapas pluviométrico, de solos e declividade; 0,5000 para o mapa de cobertura do solo. Para os modelos de fragilidade com apoio nas “UTBs” os pesos obtidos foram: 0,1429 para o mapa de pluviosidade, 0,1429 para o mapa geológico, 0,1429 para os mapas de declividade e de solos e 0,4286 para o mapa de uso e ocupação. O cálculo dos pesos foi validado de acordo com o Índice de Consistência, que em ambas as implementações foi de 0,00, mostrando, segundo Eastman (2006), que não havia nenhuma inconsistência a ser reconsiderada na matriz.

Tabela 10. Matriz de comparação pareada entre os fatores para a Fragilidade ambiental com apoio nas UTBs.

Fatores	Pluviosidade	Geológico	Solos	Geomorfologia	Uso e Ocupação
Pluviosidade	1	-	-	-	-
Geológico	1	1	-	-	-
Solos	1	1	1	-	-
Declividade	1	1	1	1	-
Uso e Ocupação	3	3	3	3	1

Parâmetros para comparação pareada. Menos Importante: 1/9 Extremamente, 1/7 Muito Fortemente, 1/5 Fortemente, 1/3 Moderadamente. 1 Igualmente. **Mais Importante:** 3 Moderadamente, 5 Fortemente, 7 Muito Fortemente, 9 Extremamente.

Para a composição dos mapas, utilizou-se a ferramenta *Image Calculator*, com os pesos ponderando cada mapa de acordo com os valores indicados. O mapa gerado foi reclassificado, com a opção *Reclass*, para dividir os valores dos pixels em cinco classes de

tamanho idênticos e classificados conforme a indicação de Ross (1994), demonstrado na Tabela 11.

O mapa de fragilidade potencial com apoio nas UTBs foi gerado de acordo com a metodologia de Crepani *et al.* (1996).

Por sua vez, os mapas de fragilidade potencial com apoio nas Classes de Declividade e nos Índices de Dissecação do Relevo, foram gerados seguindo a mesma proposição do mapa de fragilidade potencial com apoio nas UTBs, excluindo-se da equação o mapa geológico.

Tabela 11. Intervalos de Classe dos graus de Fragilidade ambiental para os modelos com apoio nas Classes de Declividade e nos Índices de Dissecação do Relevo.

Grau de Fragilidade	Intervalo de classe
Muito Fraca	0,0 – 1,0
Fraca	1,0 – 2,0
Média	2,0 – 3,0
Forte	3,0 – 4,0
Muito Forte	4,0 – 5,0

Fonte: Ross (1994) – adaptado.

A equação foi aplicada no Idrisi Andes (EASTMAN, 2006) com a ferramenta *Image Calculator*. O seu resultado foi reclassificado utilizando-se a ferramenta *Reclass*, com base na proposição de Crepani *et al.* (1996) adaptada por Spörl (2001), demonstrada na Tabela 12.

Tabela 12. Intervalos de Classe dos graus de Fragilidade ambiental para o modelo com apoio nas UTBs.

Grau de Fragilidade	Intervalo de classe
Muito Fraca	1 – 1,4
Fraca	1,4 – 1,8
Média	1,8 – 2,2
Forte	2,2 – 2,6
Muito Forte	2,6 – 3,0

Fonte: Spörl (2001) – adaptado.

Para permitir uma análise comparativa dos dados evidenciados pelos mapas, foram calculadas as áreas de cada classe de fragilidade para cada modelo, bem como, as porcentagens relativas.

4.1.3 Verificação dos modelos de fragilidade ambiental

De forma a permitir a definição do modelo de fragilidade ambiental mais adequado para a indicação de áreas susceptíveis a processos erosivos, na área de estudo, foi realizadas

regressões lineares multivariadas. Nesta operação, é calculada a reta de ajuste para a dispersão dos valores, pelo método dos mínimos quadrados. A correlação espacial entre as variáveis é dada pelo coeficiente de correlação linear múltipla R , e o grau de variação da variável dependente (variação residual) é dado pelo R^2 (COSTA NETO, 1977). As análises de regressão linear múltipla espacial foram validadas, pelo teste F , que estima a confiança de um modelo através da comparação com os valores da distribuição F de Snedecor. Foi adotado o intervalo de confiança de 99%, considerando quatro regressões efetuadas e infinitos eventos, por se tratar de imagens.

Foram eleitas as três variáveis que possuem maior relação com os processos erosivos: percentual de carbono, porosidade natural e resistência do solo ao penetrômetro. A média dos valores obtidos para cada variável, em cada uma das distintas coberturas de solo foi atribuída aos polígonos de cobertura do solo obtidos com a classificação supervisionada. Desta forma, foram obtidos os mapas de porosidade por cobertura do solo, percentual de carbono por cobertura do solo e resistência do solo ao penetrômetro por cobertura do solo, para cada bacia hidrográfica estudada. Sendo que, todos os solos agrícolas da bacia hidrográfica do rio Paiol foram considerados como cultivo convencional e todos os solos agrícolas da bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu foram considerados como cultivo orgânico.

Com o recurso *Multireg* do SIG Idrisi Andes (EASTMAN, 2006) a correlação, entre os mapas de fragilidade emergente gerados a partir de cada modelo e dos mapas de porosidade, resistência ao penetrômetro e percentual de carbono, foi estabelecida.

4.2 Análises dos Atributos de Solos

Para a caracterização e avaliação da qualidade dos solos das áreas de estudo, foram coletadas amostras indeformadas da camada de 0-20 cm, como em Amaral, Anghinoni e Deschamps (2004). O delineamento amostral, de acordo com Szwarcwald e Damacena (2008), foi a amostragem estratificada, pois os cinco estratos de cobertura de solo identificados nas bacias hidrográficas (cultivo temporário, vegetação, reflorestamento de pinus e eucalipto, pastagem e solo exposto) foram amostrados. Desta forma, determinou-se 10 amostras para cada cobertura de solo, por bacia hidrográfica, totalizando 50 amostras em cada. A distribuição dos pontos de amostragem é demonstrada na Figura 1.

As amostras foram coletadas com auxílio de cilindro de metal e embaladas no campo, preservando-se a umidade do solo no momento da coleta. Para a realização das análises, todas

as amostras foram completamente secas em estufa a 80° C. As umidades relativas das amostras foram aferidas por diferença de massa, antes e depois de serem secas em estufa.

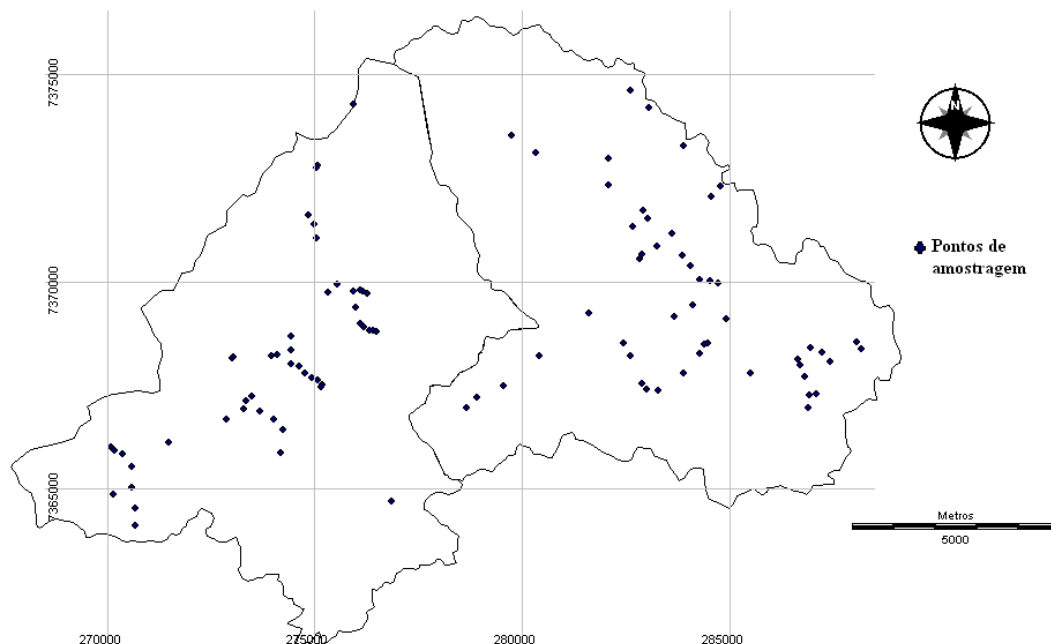


Figura 1. Distribuição dos pontos de amostragem nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabuçu.

4.2.1 Cor

De acordo com Campos e Demattê (2004) o método visual para determinação da cor envolve muitos erros, em decorrência de fatores físicos e psicofísicos, sendo um parâmetro determinado de maneira subjetiva. No entanto, ao compararem os resultados obtidos pela análise de cor em um colorímetro com os resultados obtidos pela identificação visual de pesquisadores, resultados satisfatórios para o método de identificação subjetiva. Desta forma, seguindo a metodologia utilizada por Oliveira, Costa e Cruz (1998), Teixeira, Santos-Pinto e Santana (2007) e Botelho *et al.* (2006) as cores dos solos foram determinadas por comparação com padrões contidos na Carta de Cores de Munsell (1975) em amostras secas e ligeiramente umedecidas.

4.2.2 Granulometria

Gee e Bauder (1986) definem a análise granulométrica em três etapas: aplicação de pré-tratamento para remoção de agentes cimentantes e flocculantes, dispersão da amostra de solo e quantificação das frações de solo. De acordo com os autores, a primeira etapa, que visa

a remoção de sais solúveis, carbonatos, óxidos de ferro e matéria orgânica, é pouco utilizada nas análises de rotina.

Desta forma, a textura das amostras foi determinada seguindo a metodologia adaptada de Ruiz (2005), na qual realiza-se a coleta adicional da suspensão (fração silte + fração argila) em relação ao proposto pela metodologia de Embrapa (1997), o que incrementa a exatidão do resultado.

A primeira etapa realizada foi a dispersão da amostra que constitui na individualização das partículas, a qual combina processos químicos e desagregação mecânica, uma vez que, solo natural se encontra de um modo geral floculado em maior ou menor grau. No caso da dispersão química, utilizou-se dispersante químico, 50 ml de solução de NaOH a 0,1 M acrescentada de 150 ml de água deionizada. Posteriormente foi realizado o processo físico de desagregação mecânica, utilizando-se agitadores mecânicos, com velocidade de 200 rpm, por 16 horas, assim como em Souza *et al.* (2005).

Para a separação das frações de solo a solução passou pelas peneiras de malha de 0,053, 0,210 e 0,6 mm, separando, silte e argila de areia, areia fina, areia média e areia grossa, respectivamente. A fração silte e argila foram determinadas através do método da pipeta, transferindo-se para provetas de 500 ml, completando o menisco com água deionizada. Imediatamente após agitação, coletou-se 25 ml dessa solução a altura de 10 cm em relação à base da pipeta. O material coletado foi considerado silte + argila. O restante permaneceu em repouso, considerando o tempo de sedimentação estabelecido pela Lei de Stokes (KHONKE, 1969) que considera a temperatura ambiente. Após o repouso, coletou-se mais 25 ml da solução, a altura de 5 cm superficiais, considerando esse material como argila.

Todas as frações, em solução aquosa, separadas foram secas em estufa a 80°C. As massas das frações foram aferidas em balança semi-analítica e os valores foram aplicados às Equações de 1 a 7, de acordo com Ruiz (2005), determinando-se o percentual de cada fração do solo.

$$x_{AF} = M_{AF} \times \left(\frac{1}{M_{TFSA}} \right) \quad x_{AF} = M_{AF} \times \left(\frac{1}{M_{TFSA}} \right) \quad x_{AF} = M_{AF} \times \left(\frac{1}{M_{TFSA}} \right) \quad \text{Equação 1}$$

$$x_{AM} = M_{AM} \times \left(\frac{1}{M_{TFSA}} \right) \quad \text{Equação 2}$$

$$x_{AG} = M_{AG} \times \left(\frac{1}{M_{TFSA}} \right) \times f \quad \text{Equação 3}$$

$$x_{Arg} = [M_{(Arg+D)} - M_D] \times \frac{V_T}{V_C} \times \left(\frac{1}{M_{TFSA}} \right) \times f \quad \text{Equação 4}$$

$$x_{(S+Arg)} = [M_{(S+Arg+D)} - M_D] \times \frac{V_T}{V_C} \times \left(\frac{1}{M_{TFSA}} \right) \times f \quad \text{Equação 5}$$

$$x_S = x_{(S+Arg)} - x_{Arg} \quad \text{Equação 6}$$

$$f = \left(\frac{M_{TFSA}}{M_{TFSE}} \right) \mathbf{f} = \left(\frac{M_{TFSA}}{M_{TFSE}} \right) \quad \text{Equação 7}$$

Onde,

x_{AF} , x_{AM} , x_{AG} , x_{Arg} , $x_{(S+Arg)}$, x_S são respectivamente as proporções de areia fina, areia média, areia grossa, argila, silte+argila e silte.

M_{AF} , M_{AM} , M_{AG} , M_{Arg} , $M_{(S+Arg)}$, $M_{(S+Arg+D)}$, $M_{(Arg+D)}$, M_S , M_{TFSA} , M_{TFSE} , M_D são respectivamente as massa de areia fina, areia média, areia grossa, argila, silte+argila, silte+argila+defloculante, argila+defloculante, silte, terra fina seca ao ar, terra fina seca em estufa e dispersante.

V_T é o volume total da dispersão (ml).

V_C é o volume coletado (ml).

f é o fator que permite a correção das determinações para terra fina seca em estufa, tendo sido considerado 1.

Assim, os solos foram classificados com base no triângulo de grupamento textural (Figura 2), preconizado por Embrapa (2006) e de acordo com Chicati *et al.* (2008).

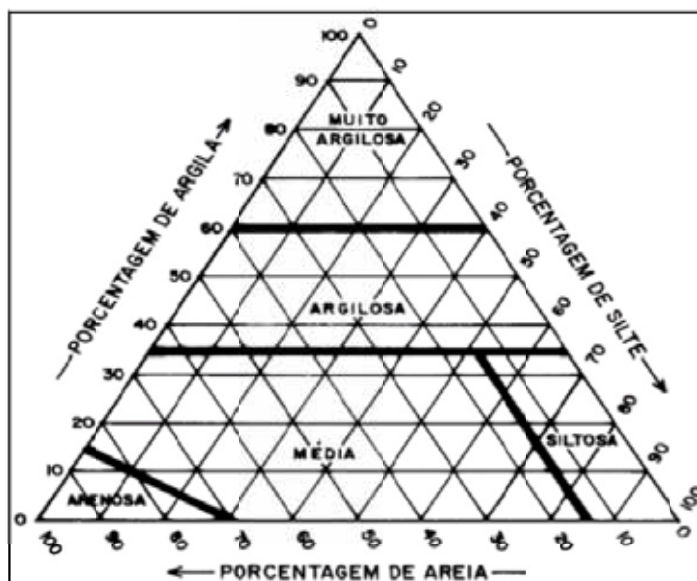


Figura 2. Triângulo de Grupos Texturais – classificação brasileira. Fonte: Embrapa (2006).

4.2.3 Densidade Aparente, Real e Porosidade

Uma das formas de determinação da porosidade natural é pela relação matemática entre as densidades real e aparente. Determinou-se a densidade aparente pelo método do anel volumétrico, seguindo metodologia adaptada de Santos *et al.* (2005). As amostras foram coletadas em anéis metálicos de volume conhecido, secas em estufa à 80°C e aferidas em balança semi-analítica. A razão entre a massa do solo coletado e o volume do anel cilindro forneceu a densidade aparente.

A densidade real foi determinada pelo método do balão volumétrico, adaptado de Embrapa (1997). Em um balão volumétrico de 50 ml, foram colocados 10g de solo seco em estufa, com os torrões já totalmente desmanchados e com eventuais raízes retiradas. O volume do balão foi paulatinamente completado com água deionizada, de forma a permitir que eventuais bolhas de ar fossem liberadas para a atmosfera. Este volume de água utilizada foi anotado. A diferença do volume total e do volume gasto de água para completar o volume do balão indica o volume do solo. Assim, a razão entre a massa de solo empregada e o volume de solo encontrado resulta na densidade das partículas (densidade real).

Com isso, calculou-se a porosidade a partir da Equação 8 (Vieira, 1988):

$$P_{nat} = 100 - \left[\left(\frac{D_a}{D_r} \right) \times 100 \right] \quad P_{nat} = 100 - \left[\left(\frac{D_a}{D_r} \right) \times 100 \right]$$

Equação 8

Onde,

P_{nat} é a porosidade.

D_a é a densidade aparente.

D_r é a densidade real.

4.2.4 Compactação

A compactação do solo foi avaliada em campo através da quantificação de sua resistência à penetração, utilizando-se um penetrômetro de impacto adaptado de Stolf (1991), como mostra a Figura 3. Foram realizados cinco ensaios em todos os pontos de coleta de solo, tendo sido extraídas as médias do número de golpes para que o aparelho atingisse 10 cm de profundidade.

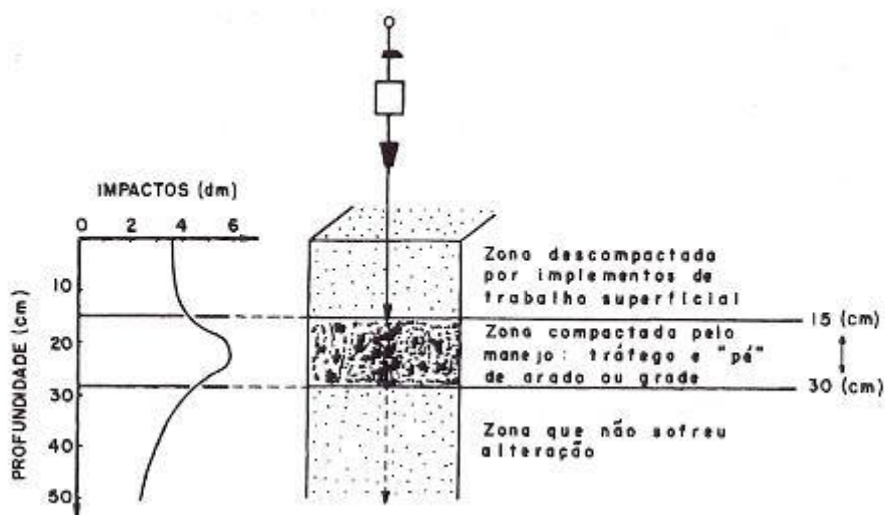


Figura 3. Representação gráfica do penetrômetro de impacto e correspondente perfil amostrado. Fonte: Stolf, (1987).

A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em resistência à penetração foi realizada de acordo com Stolf (1991), mostrada na Equação 9.

$$F = (M + m) \times g + \left(\frac{M}{M+m} \right) \times \left(\frac{M \times g \times h}{x} \right) \quad F = (M + m) \times g + \left(\frac{M}{M + m} \right) \times \left(\frac{M \times g \times h}{x} \right) \quad \text{Equação 9}$$

Onde,

M é a massa do êmbolo (kg).

m é a massa do aparelho sem êmbolo.

h é a altura de queda do êmbolo.

x é a penetração da haste do aparelho.

g é a aceleração da gravidade.

Em cada ponto foram feitos três ensaios de penetração em regiões próximas entre si, anotados os resultados e computadas as médias.

4.2.5 Atributos Químicos

As determinações da condutividade elétrica nas amostras de solo foram efetuadas em extrato solo-água na proporção 1:1 (volume) em condutivímetro com célula de 1 cm, como em Oliveira *et al.* (2002a).

O pH foi determinado de acordo com Benites e Mendonça (1998) em H₂O e em solução de KCl 1 mol/L, na proporção 1:2,5 v/v de solo:extrator. O ponto de carga zero (PCZ) foi calculado a partir da Equação 10, proposta por Keng e Uehara (1974).

$$PCZ = (2 \times pH_{KCl}) - pH_{\text{água}} \quad PCZ = (2 \times pH_{KCl}) - pH_{H_2O} \quad \text{Equação 10}$$

Onde,

PCZ é o ponto de carga zero.

pH_{KCl} é o valor do pH em solução de KCL.

pH_{H₂O} é o valor do pH em H₂O.

Os teores de carbono e nitrogênio foram realizados no Centro e Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP), em Piracicaba-SP, seguindo metodologias utilizadas por Neu *et al.* (2005), Bolson (2006) e Nogueira *et al.* (2005). Após a pesagem em balança analítica, utilizou-se o analisador Shimadzu, modelo TOC 5000 A, Além disso, foi calculada a relação Carbono-Nitrogênio.

4.2.6 Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica dos solos foi aferida com o auxílio de uma adaptação do permeâmetro de Guelph, feita com base em Baumgartner, Elrick e Bradshaw (1987) e García-Sinovas *et al.* (2001), seguindo o princípio básico da “Garrafa de Mariotte”. Desta forma, com material de baixo custo, foi possível construir um modelo de permeâmetro, semelhante ao original, que forneceu os valores de condutividade hidráulica para os tipos de uso do solo encontrados nas áreas de estudo.

Os ensaios de condutividade hidráulica foram realizados em triplicata, tendo sido escolhidos pontos representativos de cada uso do solo encontrado em cada bacia estudada, totalizando dez pontos de amostragem.

Utilizou-se um anel de 25 cm de diâmetro, enterrado a 15 cm de profundidade, para aferir a condutividade hidráulica superficial. As medições foram realizadas, com carga hidráulica de 5 cm efetuando-se as leituras a cada 30 segundos, encerrando-se o ensaio ao se completar cinco leituras consecutivas iguais, de acordo com Vieira (1998). Desta forma, obteve-se a taxa constante de infiltração e calculou-se a condutividade hidráulica do solo saturado para cada uso (Equação 11), de acordo com Eguchi, Silva e Oliveira (2003).

$$K = \frac{c \times Q}{\left(2\pi H^2 + \pi A^2 c + \frac{2\pi H}{\alpha}\right)} \quad Q = \left(\frac{2\pi H^2}{c} + \pi a^2\right) \times K_0 + \left(\frac{2\pi H}{c}\right) \times \varphi_m \quad \text{Equação 11}$$

Onde,

K é a condutividade hidráulica

Q é a vazão necessária para manter a altura da coluna d’água constante.

H é a altura da coluna d’água.

C é o coeficiente de forma, que considera a textura do solo.

A é o raio de amostragem do solo.

α é um parâmetro de descrição da macroporosidade do solo.

4.3 Análise Estatística

Os atributos dos solos analisados foram tabulados com auxílio do programa Microsoft Office Excel 2007 (MICROSOFT, 2006), o que permitiu a organização dos dados, de acordo com a cobertura do solo e com a bacia hidrográfica. Para facilitar a análise e a compreensão

dos fenômenos ambientais, os dados foram separados de acordo com o uso, independente da bacia hidrográfica, destacando: vegetação, reflorestamento, pastagem, cultivo orgânico e cultivo convencional. Desta forma, os dados foram exportados para o programa Statistica 5.0 (STATSOFT, 1999), onde foi extraída a estatística descritiva com significância de 95% (média, desvio-padrão, variância, curtose, erro padrão, assimetria, coeficiente de variação e valores máximo e mínimo) para cada atributo do solo, agrupados de acordo com a cobertura do solo (Carvalho, Takeda e Freddi, 2003).

As análises das informações de estatística descritiva permitiram a identificação da distribuição dos dados das amostras, indicando a viabilidade de aplicação de testes paramétricos.

Além disso, foi executada, com o auxílio do suplemento XLStat 4.05 (ADDINSOFT, 2010) para o programa Microsoft Office Excel 2007 (MICROSOFT, 2006), uma análise de similaridade, para evidenciar as coberturas de solo mais semelhantes entre si, de acordo com os atributos de solo analisados.

4.4 Análise Espacial

Os dados tabulados, contendo a informação geográfica no sistema de coordenadas UTM, foram importados no programa de análise geoestatística Surfer 8.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2002), que permitiu a análise da variância espacial dos dados, com vistas a subsidiar a análise da distribuição espacial de cada atributo do solo estudado. Foram gerados variogramas, para cada atributo, que evidenciaram o grau de dependência espacial entre as amostras. Os resultados obtidos nos variogramas foram analisados de acordo com Landim (2003), avaliando-se a viabilidade de aplicação do método geoestatístico “krigagem” de interpolação, ou a utilização de superfícies de tendências por meio de regressões polinomiais de primeira ordem. A aplicação do método geoestatístico exige a elaboração do mapa de desvio-padrão, para a análise da precisão da interpolação.

Por sua vez, as superfícies de tendências exigem a análise de seus resíduos, que são as diferenças entre os dados e o modelo de tendência criado. Para a elaboração dos mapas de resíduos, são calculadas as diferenças, com a ferramenta *Residual* do programa Surfer 8.0. As interpolações são realizadas utilizando-se os valores residuais, pelo método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD).

A regressão linear ajustada à reta foi determinada conforme a dispersão dos valores

pelo método dos mínimos quadrados, que adota a reta que torna mínima a soma dos quadrados das distâncias da reta aos pontos experimentais, medidas no sentido da variação aleatória. Para medir a variação em torno da reta de ajuste obtida pelo método dos quadrados mínimos é calculada a variação residual, ou, R^2 . Esse valor mostra quanto da variação da variável dependente é “explicada” pela reta de mínimos quadrados. Assim, quanto mais próximo de 1 o valor de R^2 estiver, melhor o ajuste realizado (COSTA NETO, 2002). A validação do modelo proposto foi feita pelo Idrisi Andes utilizando o teste F , que calcula a confiança de um modelo por meio da comparação com os valores da distribuição f de Snedecor. O intervalo de confiança adotado foi de 99,5% e o número de eventos foi infinito, devido à regressão ter sido efetuada com imagens.

4.5 Funções de pedotransferência

Buscou-se identificar funções específicas para a área de estudo, realizando-se a modelagem dos dados, com o auxílio do suplemento estatístico XLSTAT 4.05 (ADDINSOFT, 2010) utilizado no programa Microsoft Office Excel 2007 (MICROSOFT, 2006).

4.6 Avaliação Socioambiental das Práticas Agrícolas.

Visando complementar as informações ambientais adquiridas com as análises de solo, cobertura de solos, clima, geomorfologia, geologia e pedologia, foram aplicados questionários em 30 propriedades rurais (15 em cada bacia hidrográfica) onde a principal atividade econômica fosse a horticultura. Além de traçar o perfil dos produtores rurais de cada bacia hidrográfica estudada, foram levantados os principais diferenciais entre os tratos culturais empregados no cultivo convencional (bacia hidrográfica do rio Paiol) e no cultivo orgânico (bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu). A elaboração do questionário baseou-se nos trabalhos de Rodrigues e Campanhola (2003), Luiz e Silveira (2000), Villaberde (2002), Lemos e Guerra (2004), Lira *et al.* (2006) e Gabriel e Silva (2005). Os critérios adotados pelos autores originaram um questionário semi-estruturado, que buscou explorar as informações expostas na Tabela 13.

Para facilitar a interpretação das informações obtidas através da aplicação dos questionários, não foi feita discriminação por bacia hidrográfica, tendo sido extraídas a

porcentagem e a estatística descritiva para as informações de perguntas fechadas. As demais informações e observações foram consideradas para a compreensão holística de cada caso.

Tabela 13. Descrição dos temas e dos questionamentos abordados.

Temas Abordados	Questionamentos
Identificação, informações gerais e dados sobre o cultivo	Bacia Hidrográfica
	Principal cobertura do solo
	Forma de Produção
	Empregados
	Famílias na propriedade
	Ocupação dos moradores
	Pessoas que trabalham fora da propriedade
	Beneficiamento e comercialização de produtos
Recursos Naturais	Condições de acesso à propriedade
	Número de Cursos d'água e nascentes
	Cobertura do solo nas APPs
	Origem da água de uso doméstico
	Fontes de poluição
	Presença de Açudes
	Irrigação
	Erosões aparentes
Tratos culturais	Práticas conservacionistas
	Práticas não conservacionistas
	Uso de defensivos agrícolas
	Presença de pragas / doenças
	Adubo utilizado
	Acompanhamento Técnico
	Preparo do solo (uso de máquinas)
Saneamento Básico	Lavagem e destinação das embalagens de agrotóxicos
	Criação de animais
	Esgoto
Histórico e postura frente a questões ambientais	Resíduos Sólidos
	Coleta seletiva
	Histórico de ocupação
	Relevância dos recursos naturais
	Uso de práticas menos impactantes

4.7 Subsídios ao planejamento ambiental das bacias hidrográficas

Para sintetizar os resultados gerados e prover mapas que subsidiem o planejamento ambiental das bacias hidrográficas estudadas, facilitando o seu processo de zoneamento, foram gerados mapas para indicar as áreas prioritárias para recuperação e as áreas adequadas ao manejo agrícola. Uma vez que os mapas de fragilidade emergente indicam as áreas onde há maior susceptibilidade a processos erosivos, mas não indicam o tipo de cobertura de solo existente.

Desta forma, adaptou-se a metodologia proposta por Rosa (1996) para o zoneamento de bacias hidrográficas. Foram elaborados mapas de prioridade de recuperação por meio da sobreposição dos mapas de cobertura do solo e de fragilidade potencial. Todas as áreas de

vegetação e todas as áreas de fragilidade potencial “Muito Fraca” foram consideradas como “Baixa” prioridade de recuperação. As áreas de reflorestamento que se encontravam em áreas de fragilidade potencial “Média” e “Forte” foram consideradas como “Média” prioridade de recuperação; as áreas localizadas sobre fragilidade potencial “Muito Forte” foram consideradas “Alta” prioridade de recuperação.

Todas as áreas de pastagem, cultivo e solos exposto, localizadas sobre áreas de fragilidade potencial “Média”, “Forte” e “Muito Forte” foram consideradas com prioridade de recuperação “Alta”. As áreas de solos exposto e cultivo foram consideradas sobre fragilidade “Fraca” foram classificadas como “Alta” prioridade de recuperação. As demais combinações se enquadraram na classe “Média” prioridade de recuperação.

As áreas adequadas para manejo também são resultantes da combinação dos mapas de cobertura do solo e fragilidade potencial. Considerando a necessidade de conservação da vegetação existente, as áreas de vegetação nativa e água foram excluídas das áreas de manejo agrícola. Desta forma, todas as áreas de fragilidade potencial “Fraca” que não estavam sob solo de vegetação, foram consideradas áreas ideais para o manejo agrícola. E, todas as áreas com fragilidade potencial “Média”, “Forte” e “Muito Forte” foram consideradas áreas destinadas a outros tipos de manejo de solo.

5 Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, pertencentes à região do alto rio Sorocaba, município de Ibiúna – SP (Figura 4). As duas bacias hidrográficas se localizam a montante da represa de Itupararanga, importante manancial que abastece as cidades da região (COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, 2006). O município de Ibiúna (23°39’23’’S, 47°13’21’’W) possui população predominantemente rural, sendo que, de acordo com os dados da Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo e a fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2008) o município possui 77.985 habitantes, sendo 66,4% deles residentes na zona rural.

As duas bacias hidrográficas estudadas localizam-se totalmente na zona rural, com predominância de usos agrícolas, destacando-se a horticultura. Na bacia hidrográfica do rio Paiol, são praticados cultivos convencionais, enquanto que na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu são praticados cultivos orgânicos.

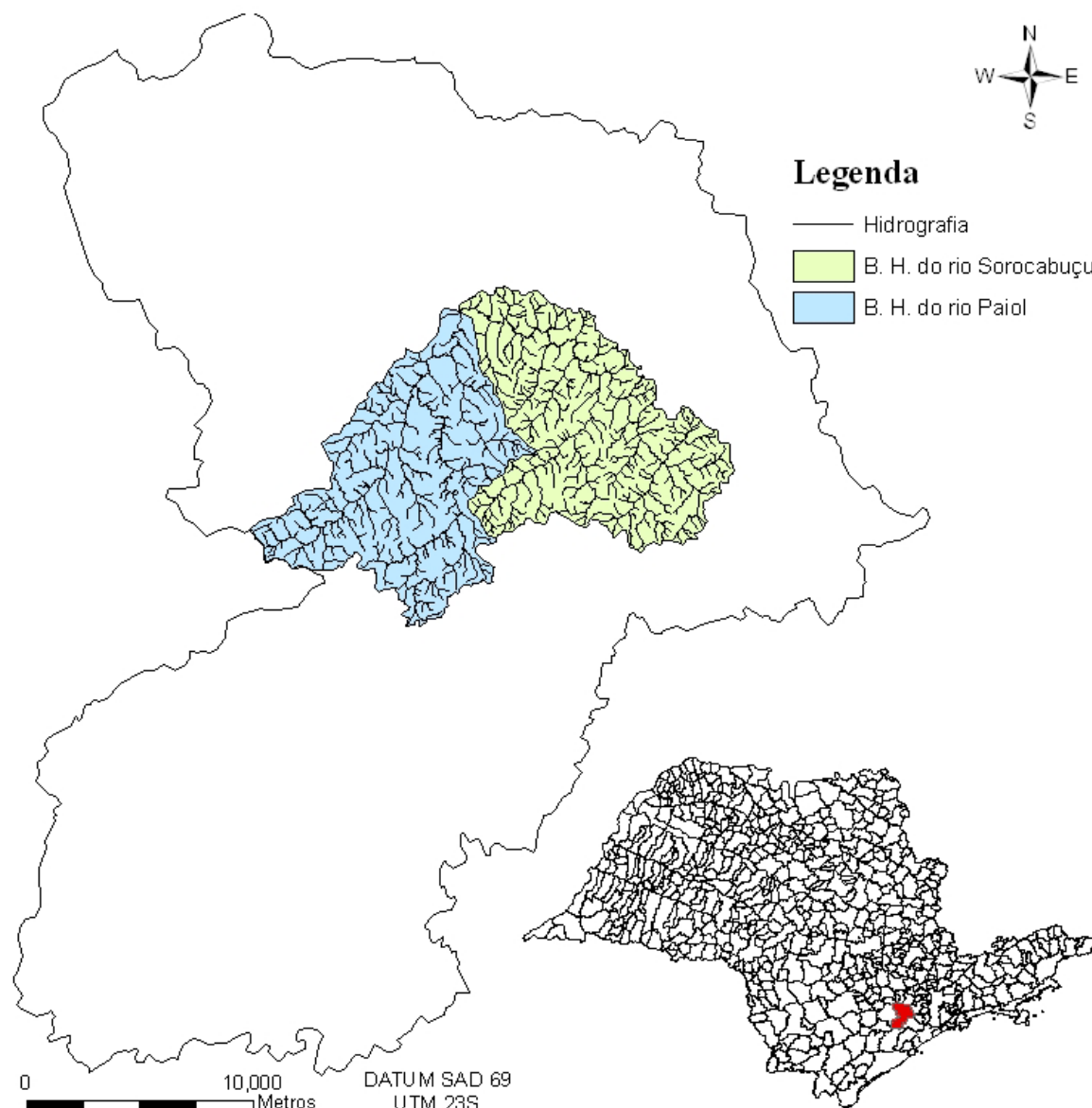


Figura 4. Localização do município de Ibiúna, SP e das bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabuçu.

As bacias hidrográficas estão inseridas na Serra de Paranapiacaba, cujo clima é predominantemente temperado quente e úmido, de acordo com Köppen (1948). A temperatura média anual é $19,3^{\circ}\text{C}$ e a altura pluviométrica anual é 1.428 mm (EMBRAPA, 2003).

O embasamento geológico é essencialmente cristalino, datado do período pré-cambriano a paleozóica (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL, 2008). O solo da região é principalmente composto por ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS, LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS e

CAMBISSOLOS (ROSS e MOROZ, 1997) e a vegetação original é ombrófila densa montana (VELOSO, RANGEL FILHO e LIMA, 1991).

As Figuras 5 e 6 mostram a classificação litológica encontrada nas bacias estudadas. Observa-se que, ao longo dos cursos d'água principais, ocorrem “Aluviões de Planície e Terraço”.

A Figura 5 mostra quatro tipos litológicos para a bacia hidrográfica do rio Paiol. Na qual ocorrem Granitos e Granodioritos do Complexo Ibiúna e do Complexo Caucaia, Gnaisses Migmáticos do Complexo Embu e Aluviões de Planícies e Terraços (IPT, 1981).

Na Figura 6, observa-se cinco classes litológicas distintas para a bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu. Ocorrem Rochas com Textura Milonítica, Granitos e Granodioritos do Complexo Ibiúna e do Complexo Caucaia, Gnaisses Migmáticos do Complexo Embu e Aluviões de Planícies e Terraços (IPT, 1981).

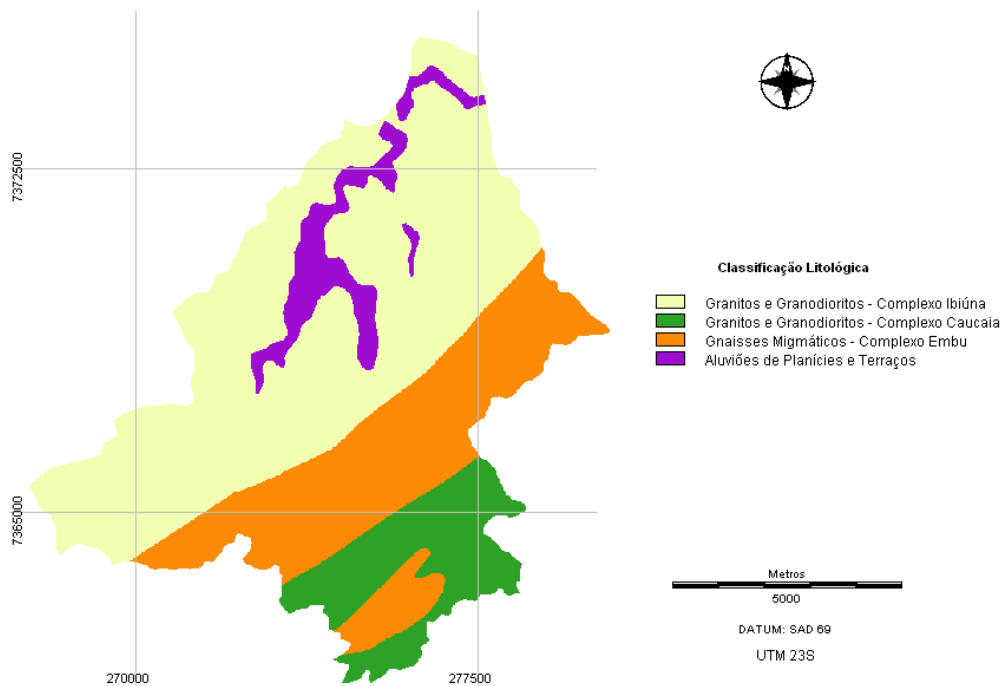


Figura 5. Mapa litológico da bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

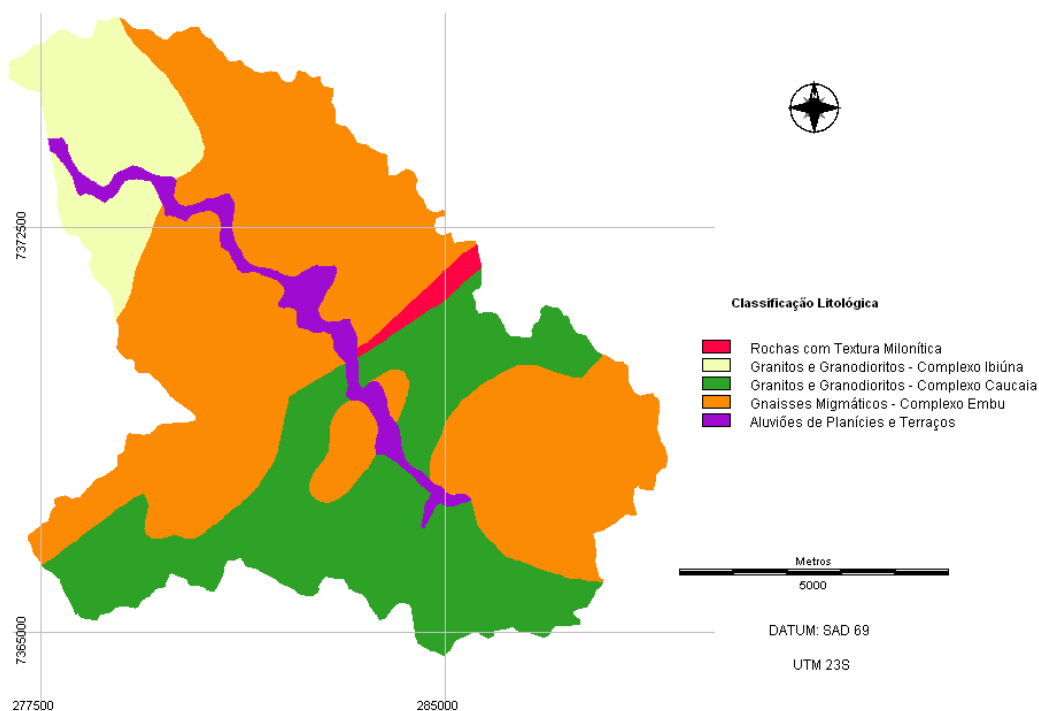


Figura 6. Mapa litológico da bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

Observa-se pela Tabela 14, observa-se que há grande diferença na composição litológica nas duas bacias, sendo que, na bacia do Alto rio Sorocabaçu, a predominância é de “Gnaisses Migmatíticos” e na bacia do rio Paiol é de “Granitos e Granodioritos”. O que resulta em diferença na classificação quanto aos graus de vulnerabilidade, que, no entanto, se restringe a “0,1” da escala adotada.

Tabela 14. Percentual das Classes Litológicas nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

Classificação Litológica	Paiol	Sorocabaçu
Aluviões de Planícies e Terraços	6,45 %	4,51 %
Rochas com Textura Milonítica	0 %	1,07 %
Granitos e Granodioritos – Complexo Ibiúna	54,87 %	11,22 %
Granitos e Granodioritos – Complexo Caucaia	12,29 %	28,81 %
Gnaisses Migmáticos – Complexo Embu	26,39 %	54,39 %

O aspecto atual mostra alguns padrões de alteração na paisagem, com a derrubada da floresta nativa para consumo de madeira, produção de carvão vegetal e estabelecimento de práticas agrícolas. A vegetação natural remanescente é secundária, com distintos estágios sucessionais. Conservando grande parte de suas espécies florestais originais, a área está inserida na Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da cidade de São Paulo (VIDAL *et al.*, 2007).

Manfré *et al.* (2010) estudaram a morfometria das bacias hidrográficas do Alto rio Sorocabaçu e do rio Paiol, encontrando predominância de vertentes côncavas e baixo risco de enchentes e deslizamentos. As duas bacias hidrográficas foram classificadas como ordem 5 na hierarquia fluvial, sendo que a bacia hidrográfica do rio Paiol apresentou área de aproximadamente 82 km² e a bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu 83 km². A maior diferença encontrada entre as duas bacias foi para os parâmetros morfométricos relacionados à densidade de drenagem, que revelam maior grau de desenvolvimento no entalhamento do relevo para a bacia do Alto rio Sorocabaçu.

6 Resultados e Discussão

6.1 Fragilidade ambiental

Após o tratamento de todas as variáveis, foi possível descrever o tipo de cobertura e as classes dos solos, os aspectos geomorfológicos, geológicos e climatológicos. Além disso, pode-se avaliar a classificação da fragilidade de cada variável, de acordo com as metodologias de Ross (1994) e de Crepani *et al.* (1996). Os mapas hipsométricos e a distribuição percentual das classes de altitude das duas bacias hidrográficas são mostrados nas Figuras 7 e 8 e na Tabela 15.

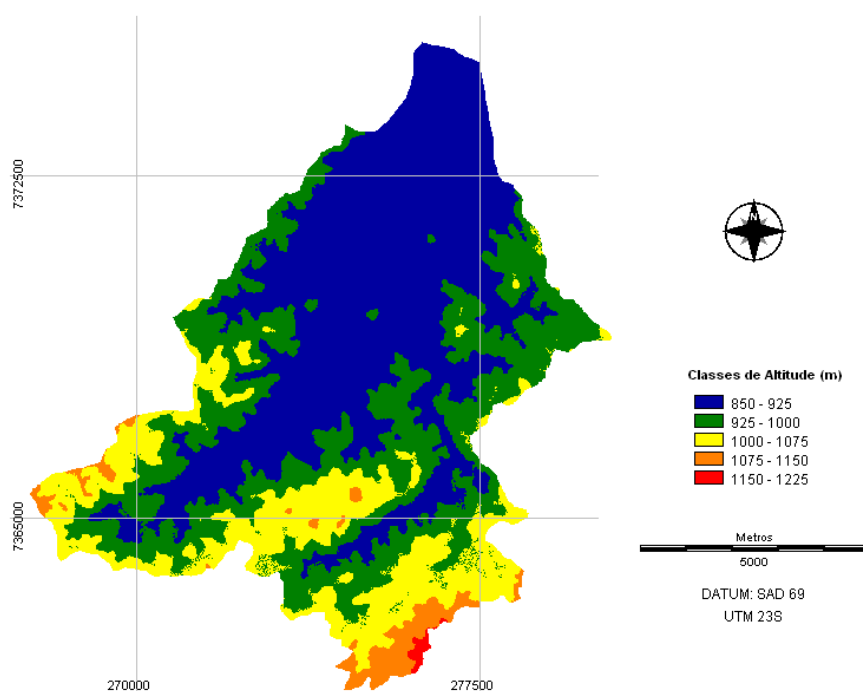


Figura 7. Mapa das Classes de Altitude na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

A análise do mapa da Figura 7 permite a identificação espacial das classes de altitude na bacia hidrográfica do rio Paiol. Observa-se que as maiores altitudes localizam-se nos limites da bacia hidrográfica, principalmente a Sudeste. Destaca-se que as bacias estudadas localizam-se no alto Sorocaba, sendo que, os limites a sul separam as bacias hidrográficas do rio Sorocaba e do rio Ribeira, constituindo uma área muito importante para os recursos hídricos do Estado de São Paulo.

Analisando a Figura 8, observa-se basicamente quatro classes de altitude, sendo uma delas limitada a uma pequena porção localizada a Sudoeste da bacia. Comparativamente com a bacia do rio Paiol, a bacia hidrográfica do rio Sorocabuçu apresenta ampla área com altitude entre 850 e 925 m, e pouca área relativa à classe de altitude “1000 – 1075 m”.

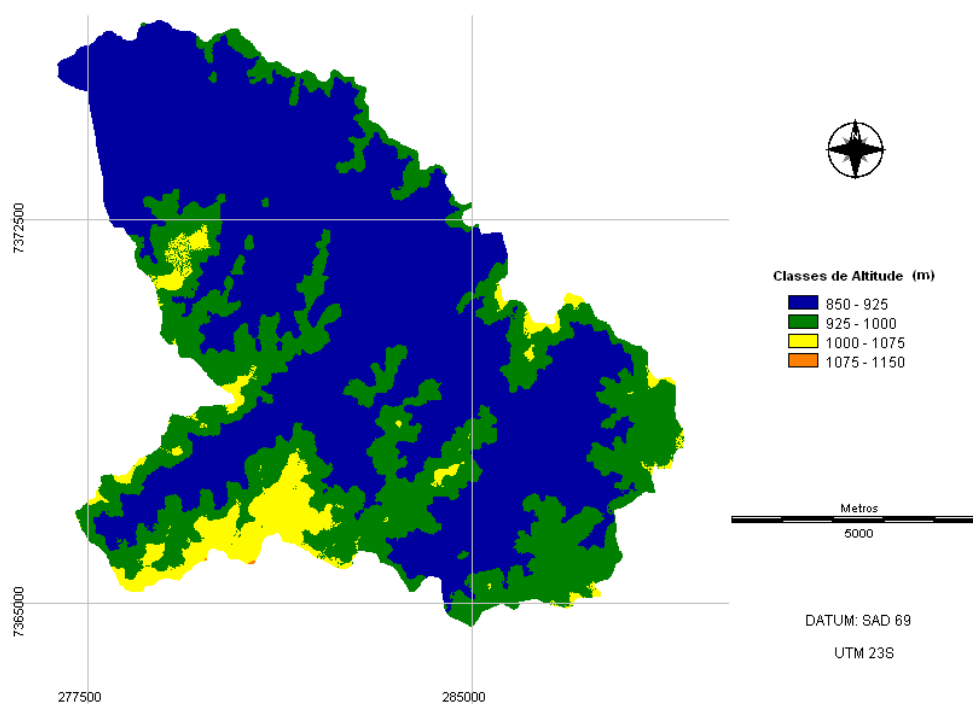


Figura 8. Mapa das Classes de Altitude na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Nota-se ainda que, a bacia do rio Paiol possui uma classe de altitude a mais, sendo esta representada por uma porção mais alta localizada na Serra do Paranapiacaba. Além disso, pode-se observar que a classe de altitude, de “1075 a 1050 m”, é praticamente inexistente na bacia do Alto rio Sorocabuçu, correspondendo a apenas 0,01 % de sua área total, evidenciando a ocorrência de maiores altitudes na bacia do rio Paiol. Destaca-se que a maior parte da área das duas bacias está na classe de “850 a 925 m”, correspondente à planície aluvionar dos seus principais rios.

Tabela 15. Percentual das classes de altitude para as bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Classes de Altitude (m)	Paiol	Sorocabuçu
850 – 925	46,02 %	62,11 %
925 – 1000	32,33 %	32,09 %
1000 – 1075	18,21 %	5,79 %
1075 – 1150	3,15 %	0,01 %
1150 – 1225	0,29 %	-

Desta forma, como destacado por Manfré *et al.* (2010), apesar das bacias serem vizinhas, existem diferenças importantes em sua morfometria, que implicam em distintas dinâmicas hidrosedimentares.

A Tabela 16 mostra o percentual de área para as classes de declividade em cada uma das bacias hidrográficas estudadas. Observa-se que a maior parte das bacias possui declividade entre 0 e 15%, o que permite a ampla utilização do solo para fins agrícolas. Além disso, nota-se que a bacia hidrográfica do rio Paiol, possui maior percentual de área com declividades superiores a 30%. Tal fato dificulta o uso do solo para o cultivo e favorece a ação da erosão. No entanto, a declividade média das duas bacias, apontada por Manfré *et al.* (2010) é 21,51%.

Tabela 16. Percentual das Classes de Declividade para as bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Classes de Declividade (%)	Paiol	Sorocabuçu
Até 15	54,90 %	56,10 %
15-30	21,74 %	22,83 %
30-45	16,70 %	15,82 %
45-60	5,30 %	4,03 %
Acima de 60	1,36 %	1,22 %

Fonte: Manfré *et al.* (2010).

As Figuras 9 e 10 mostram a distribuição espacial das classes de declividade para as bacias hidrográficas estudadas, evidenciando a concentração de altas declividades em alguns locais. Na bacia do rio Paiol, nota-se que há grande concentração de declividades mais elevadas à Leste, Sudeste e Centro-Sul, e algumas áreas à Oeste. Já na bacia do Alto rio Sorocabuçu, as declividades mais elevadas se distribuem mais, havendo uma pequena concentração à Centro-Sul, devido à presença da Serra do Paranapiacaba. Nas duas bacias nota-se uma vasta área com declividade até 15%, que corresponde aos principais rios das duas bacias hidrográficas.

A Figura 9 mostra a espacialização das classes de declividade na bacia do rio Paiol, nota-se uma área com declividade de até 15%, relativa à área de várzea dos principais rios da bacia. Observou-se em *in-situ* intensa ocupação antrópica nessa região, que pela baixa declividade facilita o trato da terra para o cultivo de hortaliças. No entanto, também observou-se *in-situ* grande ocupação nas áreas mais declivosas, o que favorece a ocorrência de processos erosivos, principalmente devido ao tipo de ocupação, pastagens ou cultivos.

A Figura 10 apresenta as classes de declividade para a bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, onde há também uma faixa contínua com declividade até 15%, onde há a existência de uma importante via de acesso aos bairros localizados na bacia hidrográfica. As classes de declividade favorecem a ocupação humana, que se concentra em atividades agrícolas. No entanto, a ocupação não é restringida pela declividade, ocorrendo mesmo nas áreas com inclinação mais acentuada.

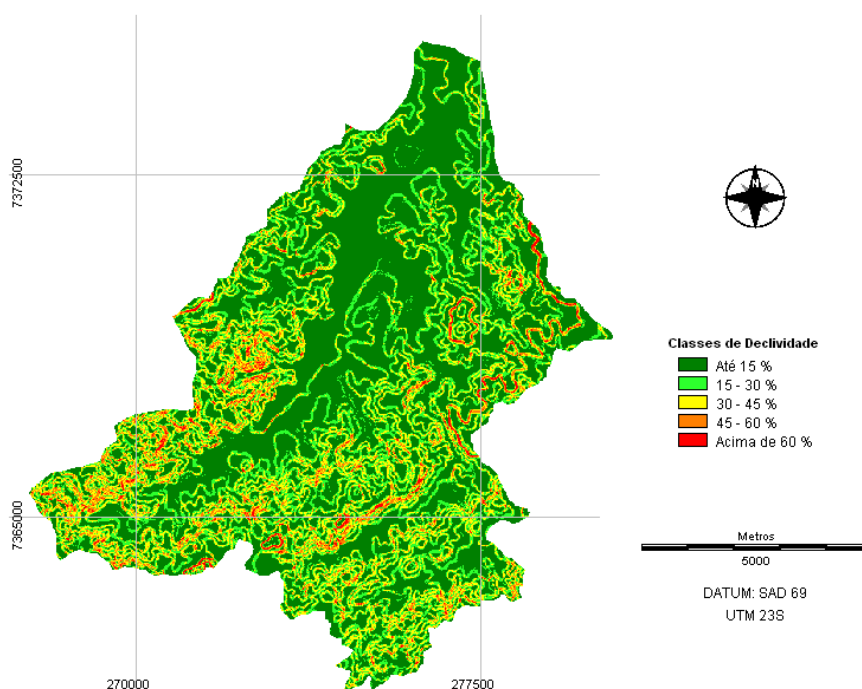


Figura 9. Mapa das Classes de Declividade na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

As classes de fragilidade para as duas bacias hidrográficas são apresentadas nas Figuras 11 e 12 e as informações numéricas na Tabela 17. A análise dos mapas e dos percentuais das áreas ocupadas por cada classe de fragilidade evidencia que, as duas bacias possuem mais de 20% de sua área com declividade classificada como “Muito Forte” e que a maior parte das áreas classificadas como “Muito Fraca” são localizadas nas várzeas dos rios principais de cada bacia. Além disso, a bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, apesar de

possuir menor amplitude altimétrica, possui percentual de áreas com classificação de fragilidade “Forte” ou “Muito Forte” bem próximo aos valores encontrados para a bacia do rio Paiol.

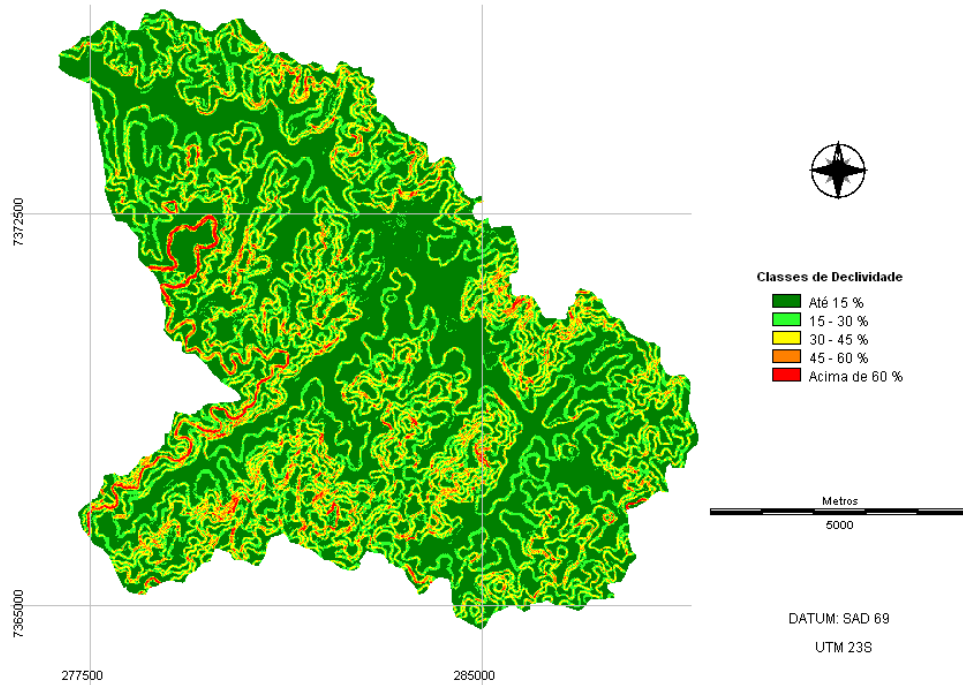


Figura 10. Mapa das Classes de Declividade na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

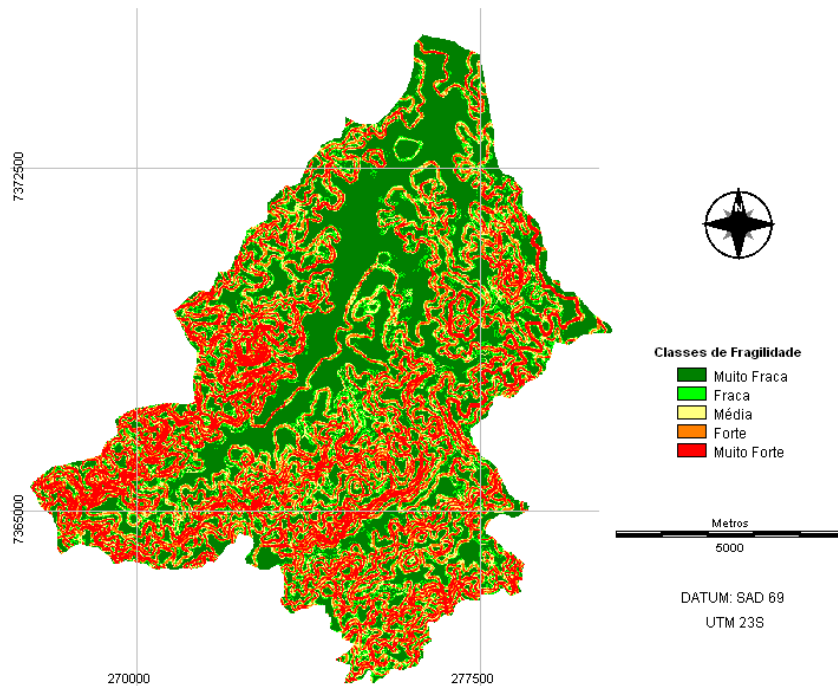


Figura 11. Mapa das Classes de Fragilidade da Declividade na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

A análise da Figura 11 permite a identificação das áreas de características geomorfológicas mais frágeis, evidenciando locais que prioritárias para a recuperação, devido ao risco de ocorrência de perdas de solo. Além disso, o mapa evidencia que a bacia hidrográfica do rio Paiol possui, de maneira geral, geomorfologia frágil, devendo o uso e ocupação da região ser muito bem planejado, para evitar alterações drásticas na dinâmica ecológica da bacia do Alto Sorocaba, de maneira geral.

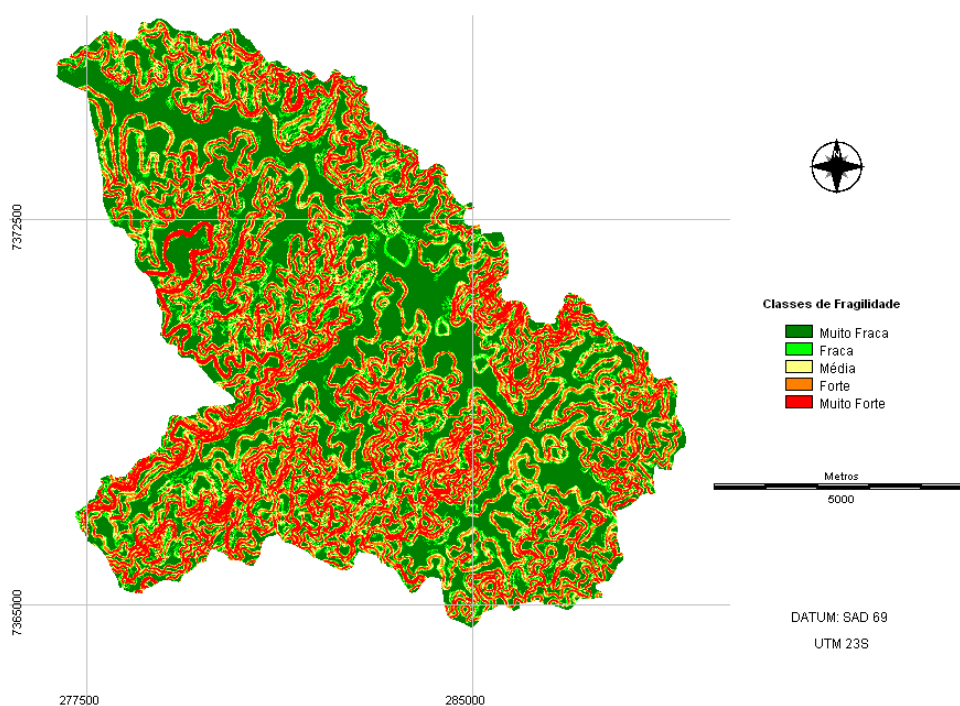


Figura 12. Mapa das Classes de Fragilidade da Declividade na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

A Figura 12 evidencia presença de áreas de declividade com fragilidade classificada como “Muito Forte” ao longo de toda a bacia hidrográfica. A exemplo da bacia hidrográfica do rio Paiol, a bacia do Alto rio Sorocabuçu possui, de maneira geral, geomorfologia frágil, sendo uma área onde a ocupação e o manejo do solo deve ser planejado, para minimizar a ação dos processos erosivos, e evitar a ocorrências de depreciação na qualidade e quantidade dos recursos solo e água. O que poderia afetar a bacia do Alto Sorocaba inteira e não apenas a área de estudo.

Tabela 17. Percentual das Classes de Fragilidade da Declividade nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Classes de Fragilidade	Paiol	Sorocabuçu
Muito Fraca	37,73 %	37,49 %
Fraca	12,35 %	13,36 %
Média	12,24 %	13,15 %
Forte	14,32 %	14,93 %
Muito Forte	23,36 %	21,07 %

Nas Figuras 13 e 14, observa-se os mapas da “Concentração da Rugosidade”, para as bacias hidrográficas do rio Paiol e Sorocabuçu, respectivamente. Assim como no mapa de declividade, nota-se classificação “Alta” nas áreas localizadas na Serra do Paranapiacaba e nos divisores de águas entre as bacias. Além disso, expõe a mesma diferença na distribuição do relevo, sendo que, a bacia do rio Paiol possui um agrupamento regional para as classes “Alta”, localizadas principalmente nas áreas mais altas da bacia, e “Baixa”, expressa em um contínuo que se segue até o exutório da bacia.

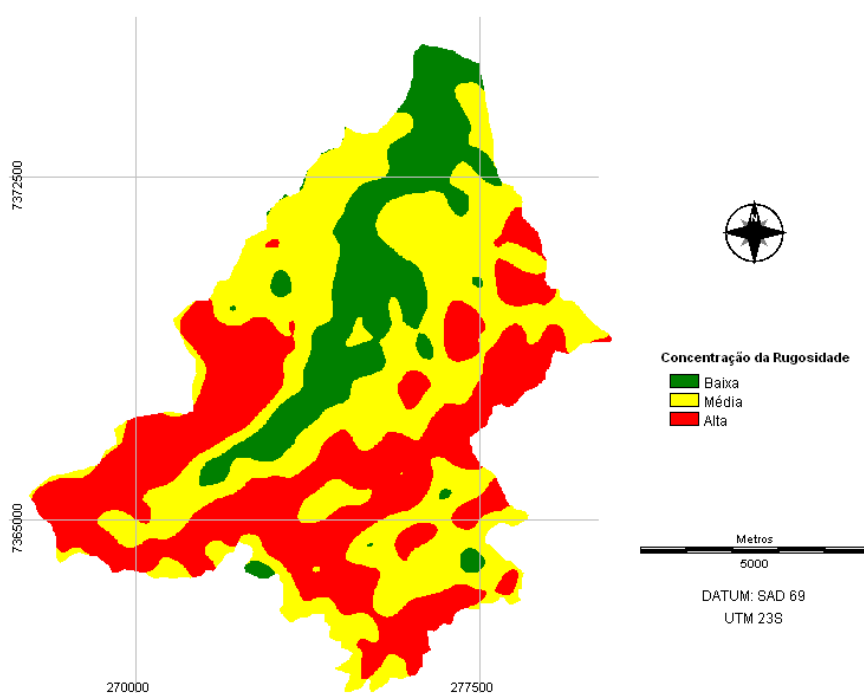


Figura 13. Mapa de Concentração da Rugosidade na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

A análise da Figura 13 permite a identificação das áreas com relevo menos acidentado da bacia hidrográfica do rio Paiol, que se localizam na área de várzea dos principais rios. Infere-se que nessas áreas os processos erosivos ocorrem de maneira menos acentuada, em comparação com as áreas classificadas como “Média” e “Alta”.

Além disso, é possível identificar as áreas onde ocorrem índices de concentração da rugosidade classificadas como “Muito forte”, que são áreas de alta densidade de drenagem (Manfré *et al.*, 2010), sendo que o entalhamento do relevo é fortemente influenciado pelos canais de drenagem perenes.

Analisando a Tabela 18, nota-se que a bacia do rio Paiol possui maior percentual de áreas com Concentração da Rugosidade classificada como “Média” ou “Alta”, na comparação com a bacia do Alto rio Sorocabuçu.

Observando a Figura 14 identificam-se as áreas da bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, com maiores índices de concentração da rugosidade, localizados principalmente na região do divisor de águas com a bacia hidrográfica do rio Paiol. Desta forma, a bacia do rio Paiol apresenta um relevo mais heterogêneo, devido à maior presença de áreas classificadas como Concentração da Rugosidade “Alta”. O que reafirma o exposto por Manfré *et al.* (2010).

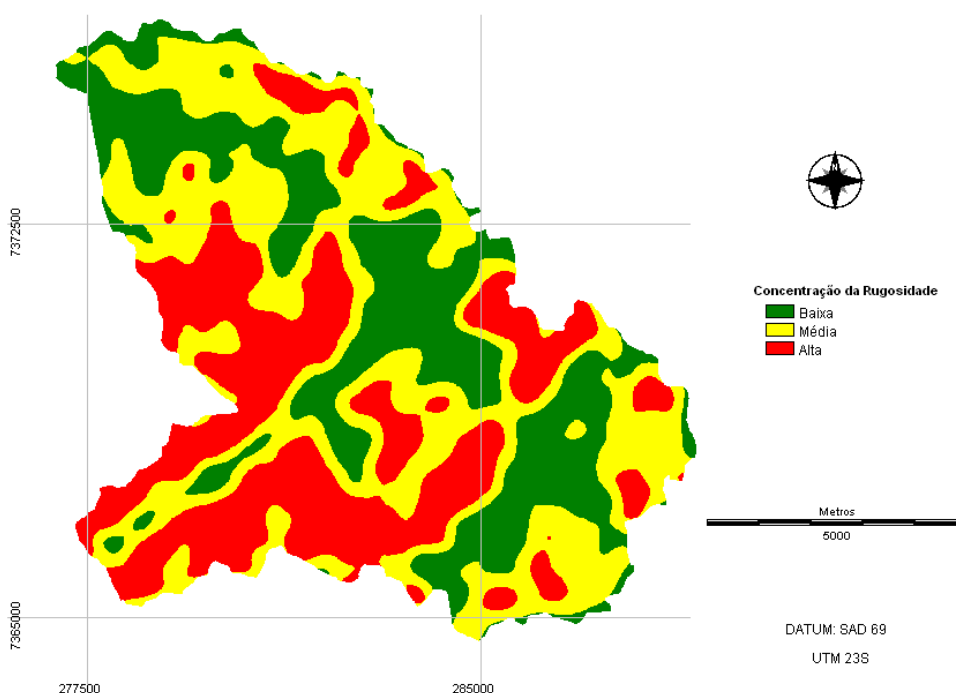


Figura 14. Mapa de Concentração da Rugosidade na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Observando as Tabelas 18 e 19 e as Figuras 12, 13, 14 e 15 nota-se que a aplicação das classes de fragilidade ao mapa de Concentração da Rugosidade fragmenta as unidades de classe e destaca as áreas com maior potencial de ocorrência de erosão, devido à grande presença de vertentes declivosas. Os graus de vulnerabilidade, apesar de expressar apenas três

classes, evidenciam as áreas críticas, com maior Concentração da Rugosidade. A bacia do rio Paiol apresentou maiores percentuais de áreas para as Classes de Fragilidade e Vulnerabilidade. Destaca-se que os locais classificados como mais vulneráveis, ou frágeis, não se localizam somente nos limites das bacias, mas principalmente nos divisores de águas das sub-bacias.

Tabela 18. Percentual da Concentração da Rugosidade nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Concentração da Rugosidade	Paiol	Sorocabuçu
Baixa	17,20 %	28,95 %
Média	44,67 %	38,98 %
Alta	38,13 %	32,07 %

Tabela 19. Percentual das Classes de Fragilidade da Concentração da Rugosidade nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Classes de Fragilidade	Paiol	Sorocabuçu
Muito Fraca	24,21 %	24,22 %
Fraca	29,84 %	37,19 %
Média	32,10 %	31,96 %
Forte	11,68 %	6,23 %
Muito Forte	2,17 %	0,40 %

Analisando os dados expostos na Tabela 19, observa-se grande diferença para os percentuais das bacias hidrográficas. A bacia do Alto rio Sorocabuçu apresenta 37,19% de sua área classificada como Fragilidade “Fraca” quanto ao índice de concentração de rugosidade, enquanto a bacia do rio Paiol apresenta apenas 29,84%. No entanto, a bacia do rio Paiol apresenta 13,85% de sua área classificada como “Forte” e “Muito Forte” e a bacia do Alto rio Sorocabuçu apenas 6,63% de suas áreas são classificadas dessa forma.

A Figura 15 apresenta a distribuição espacial das áreas descritas na Tabela 19 e evidencia que a maior das áreas classificadas como “Muito Forte” localizam-se a Leste na bacia hidrográfica do Paiol. Além disso, as áreas classificadas como “Muito Fraca” e “Fraca” se localizam nas áreas de várzea dos principais rios da bacia.

Pela análise da Figura 16, observa-se que as áreas com índice de concentração da rugosidade classificadas como “Muito Frágil” e “Frágil” se localizam ao longo de toda a bacia. Nota-se a presença de pequenas áreas, distribuídas pela bacia, que estão classificadas como “Muito Forte” e Forte.

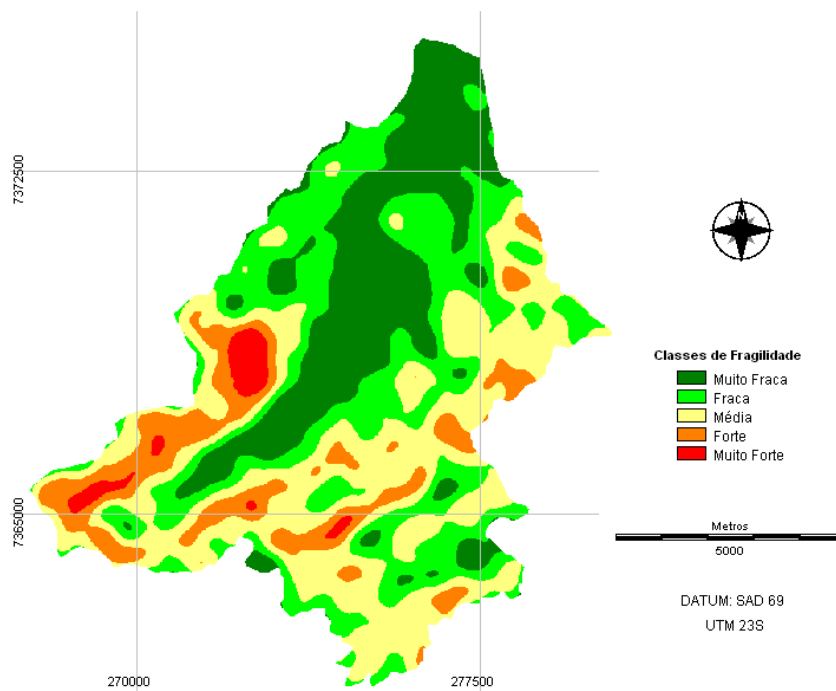


Figura 15. Mapa das Classes de Fragilidade da Concentração da Rugosidade na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

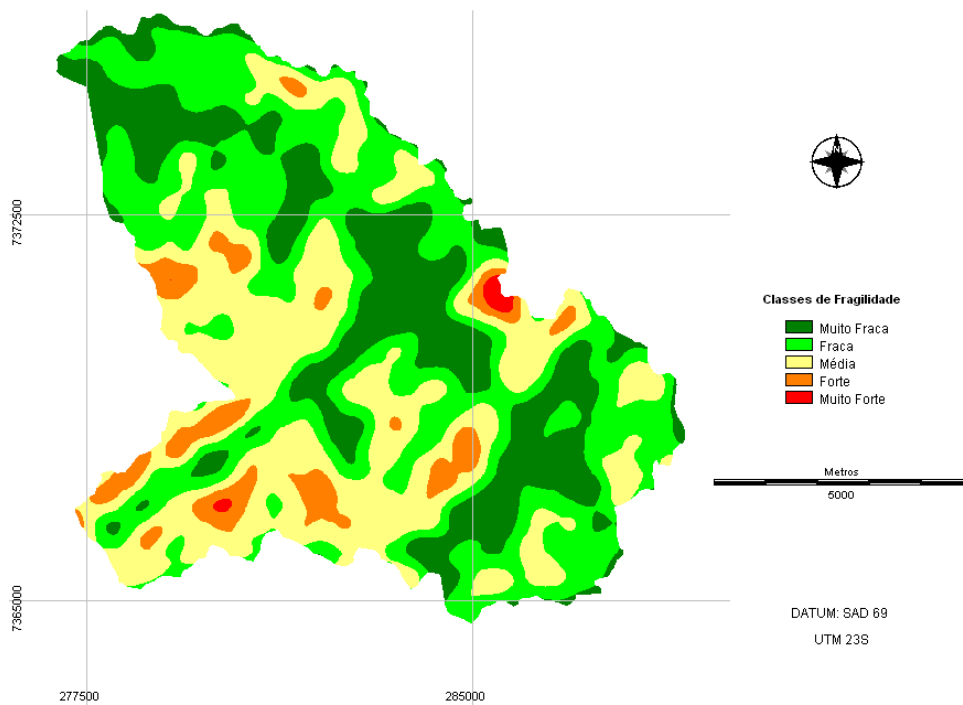


Figura 16. Mapa das Classes de Fragilidade da Concentração da Rugosidade na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

A Tabela 20 apresenta os percentuais das áreas das duas bacias hidrográficas classificadas de acordo com os graus de vulnerabilidade. Nota-se que, a exemplo da

classificação quanto à fragilidade e de acordo com Ross (1994), a classificação quanto à vulnerabilidade, segundo Crepani *et al.* (1996) evidencia que o relevo da bacia do rio Paiol é mais susceptível à ação de processos erosivos.

Tabela 20. Percentual dos Graus de Vulnerabilidade da Concentração da Rugosidade nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Graus de Vulnerabilidade	Paiol	Sorocabuçu
1	54,05 %	61,41 %
2	43,78 %	38,19 %
3	2,17 %	0,40 %

A Figura 17 expõe a distribuição dos graus de vulnerabilidade dos índices de concentração da rugosidade na bacia do rio Paiol. O resultado expõe apenas três classes, havendo um aumento no tamanho da área com classificação mais, na comparação com a Figura 15.

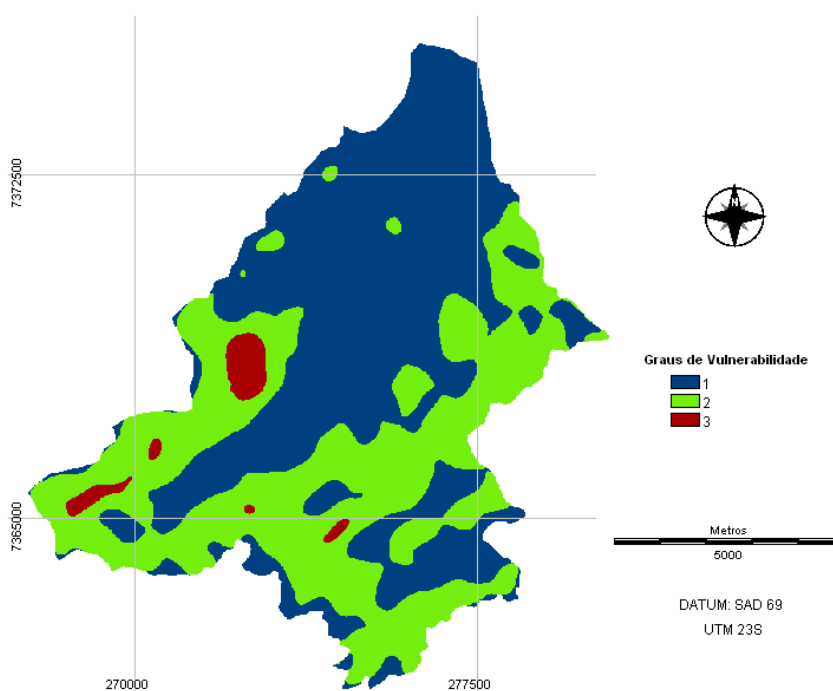


Figura 17. Mapa dos Graus de Vulnerabilidade da Concentração da Rugosidade na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

A Figura 18 mostra espacialização na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu dos graus de vulnerabilidade para o mapa de concentração da rugosidade. Nota-se predominância das classes “1” e “2”, sendo que a primeira forma uma grande área contínua. Assim como o

ocorrida para a bacia do rio Paiol, na comparação com o resultado mostrado na Figura 16, houve maior generalizando das classes, diminuindo o detalhamento das áreas estudadas.

Considerando que os mapas de índices de concentração da rugosidade e os mapas de classes declividade são os representantes geomorfológicos para a elaboração dos mapas de fragilidade, é importante que se destaque diferenças entre os resultados obtidos. Os mapas de índice de concentração da rugosidade provêm um resultado com áreas amplas, generalizando detalhes do relevo, expressos nos mapas de classes de declividade. Desta forma, para o detalhamento mais preciso das características geomorfológicas, os mapas de classes de declividade expõem dados mais adequados.

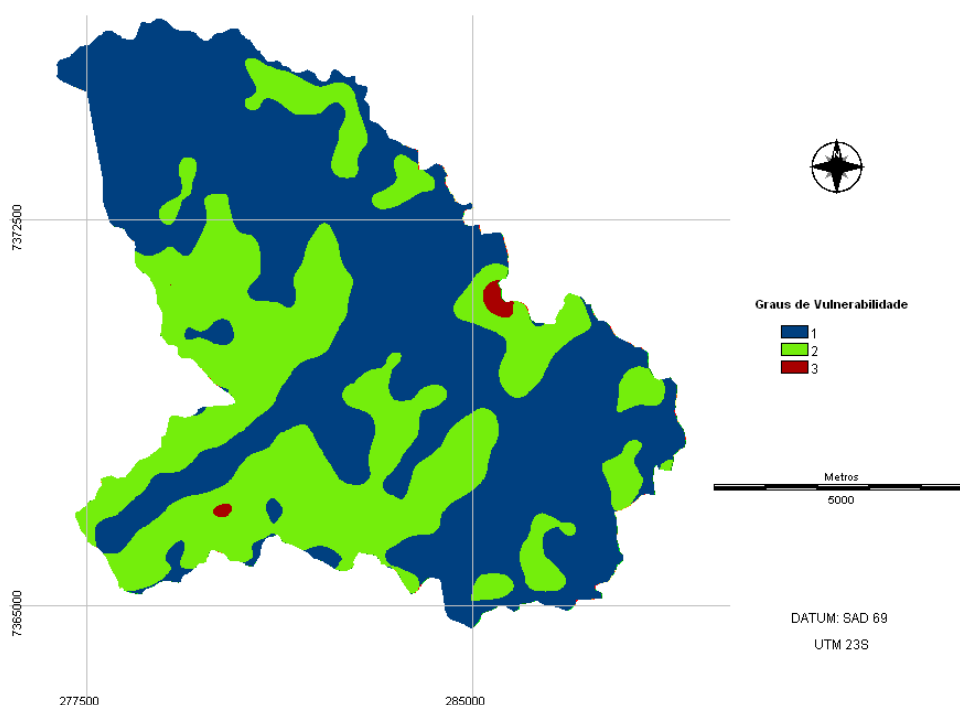


Figura 18. Mapa dos Graus de Vulnerabilidade da Concentração da Rugosidade na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

As Figuras 19 e 20 mostram as classes de solo que foram identificadas pela declividade e hipsometria. De acordo com a metodologia de Hermuche *et al.* (2002), as áreas de maior declividade, separadas por análise estatística, são CAMBISSOLOS, as demais áreas são classificadas de acordo com a análise dos dados hipsométricos. Desta forma, nota-se que os locais de maior altitude, foram classificados como NEOSSOLOS. Como a bacia do Alto rio Sorocabaçu possui altitudes menores que 1100 metros, não houve ocorrência de NEOSSOLOS.

As demais classes de solos identificadas foram o LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO e o LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO. O limite dessas classes também foi identificado de acordo com a distribuição estatística das altitudes.

Pela análise da Figura 16, observa-se que os NEOSSOLOS, ocorreram na bacia do rio Paiol, em locais próximos aos seus divisores de água. As áreas de várzea dos principais rios foram classificadas como LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO, com algumas ocorrências de CAMBISSOLOS, devido à maior declividade. Houve ainda a identificação de LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS, que ocorrem nas áreas menos declivosas e com altitude intermediária na bacia.

A Figura 17 mostra as classes de solo que ocorrem na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, evidenciando, assim como na bacia do rio Paiol, a presença de LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO nas áreas de várzea dos principais rios e CAMBISSOLOS nas áreas de maior declividade. As áreas de maior altitude foram classificadas como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO.

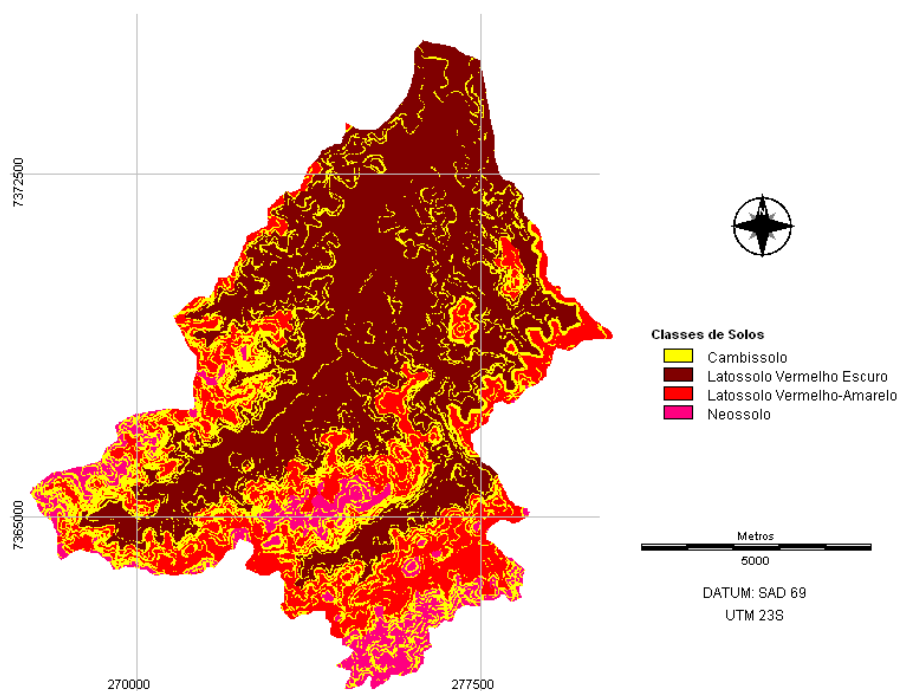


Figura 19. Mapa das Classes de Solos na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

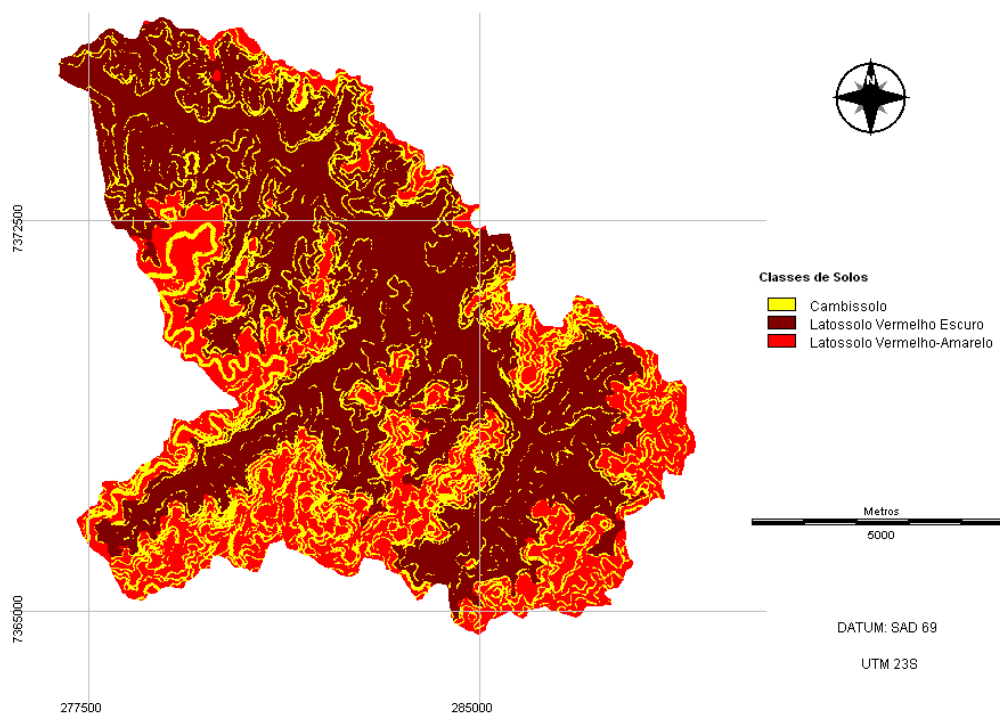


Figura 20. Mapa das Classes de Solos da bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

Os mapas gerados, mostrados nas Figuras 19 e 20 proveram resultados com maior detalhamento que o mapa disponível para as bacias hidrográficas estudadas. Uma vez que, o mapa de Oliveira *et al.* (1999) classifica a área total das duas bacias como LATOSSOLOS.

Assim, analisando a Tabela 21, o solo predominante nas duas bacias é o LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO, que ocupa mais da metade de suas áreas.

Tabela 21. Percentual das Classes de Solos nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

Classes de Solos	Paiol	Sorocabaçu
CAMBISSOLOS	23,36 %	21,08 %
LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO	50,65 %	53,57 %
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO	19,49 %	25,35 %
NEOSSOLOS	6,51 %	0 %

Nota-se, pela análise cruzada das Tabelas 22 e 23, que maior parte da área das bacias hidrográficas foi classificada como fragilidade “Muito Fraca” e grau de vulnerabilidade “1”. Além disso, nota-se que os NEOSSOLOS são classificados com fragilidade “Forte” e vulnerabilidade “3”, e os CAMBISSOLOS são enquadrados na classe “Forte” de fragilidade e “2,5” de vulnerabilidade.

Bertol *et al.* (2002) estudaram a erodibilidade de um CAMBISSOLO HÚMICO, encontrando, através do método de regressão linear simples, o valor de $0,0151 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$. Entretanto, Silva *et al.* (2009) encontrou valores da ordem de $0,0355 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ para CAMBISSOLOS da região do município de Lavras (MG). Silva *et al.* (1994) avaliaram a erodibilidade de LATOSSOLOS VERMELHO-ESCUROS e de LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS, encontrando valores da ordem de $0,004 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ e $0,008 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, respectivamente. Prado e Nóbrega (2005) encontraram valores de erodibilidade iguais a $0,0368 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, para NEOSSOLOS, na região Noroeste do Estado do Paraná.

Tabela 22. Percentual das Classes de Fragilidade nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Classes de Fragilidade	Paiol	Sorocabuçu
Muito Fraca	50,65 %	53,57 %
Média	19,49 %	25,36 %
Forte	29,86 %	21,07 %

De acordo com Silva e Alvares (2005), valores até $0,0153 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ são classificados como erodibilidade baixa, entre $0,0153$ e $0,0306 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, erodibilidade média e acima de $0,0306 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, erodibilidade alta.

Desta forma, as classificações propostas por Crepani *et al.* (1996) e Ross (1994) são generalizações das potenciais erosivos das classes e podendo ser ajustadas, caso haja conhecimento específico sobre os valores da área que se pretende estudar.

Tabela 23. Percentual dos Graus de Vulnerabilidade nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Graus de Vulnerabilidade	Paiol	Sorocabuçu
1	70,14 %	78,93 %
2.5	23,36 %	21,07 %
3	6,50 %	0 %

A análise da distribuição espacial das classes de fragilidade (Figura 21 e Figura 22) e dos graus de vulnerabilidade (Figura 23 e Figura 24) mostra a aglomeração de classes mais frágeis ou vulneráveis nas áreas mais altas da bacia, onde se concentram as nascentes dos principais cursos d'água, na região da Serra do Paranapiacaba e dos divisores de águas entre as bacias estudadas.

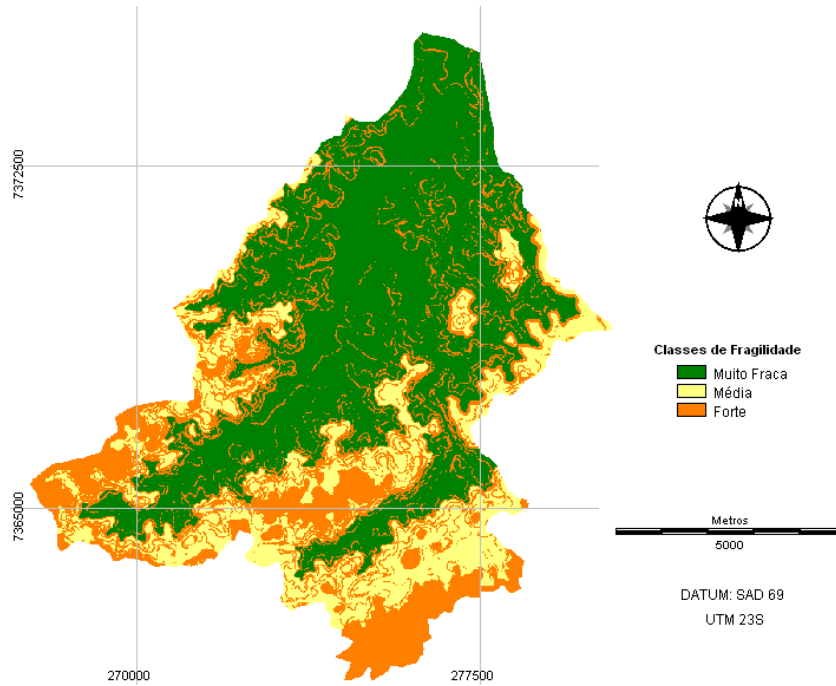


Figura 21. Mapa das Classes de Fragilidade das classes de solos na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

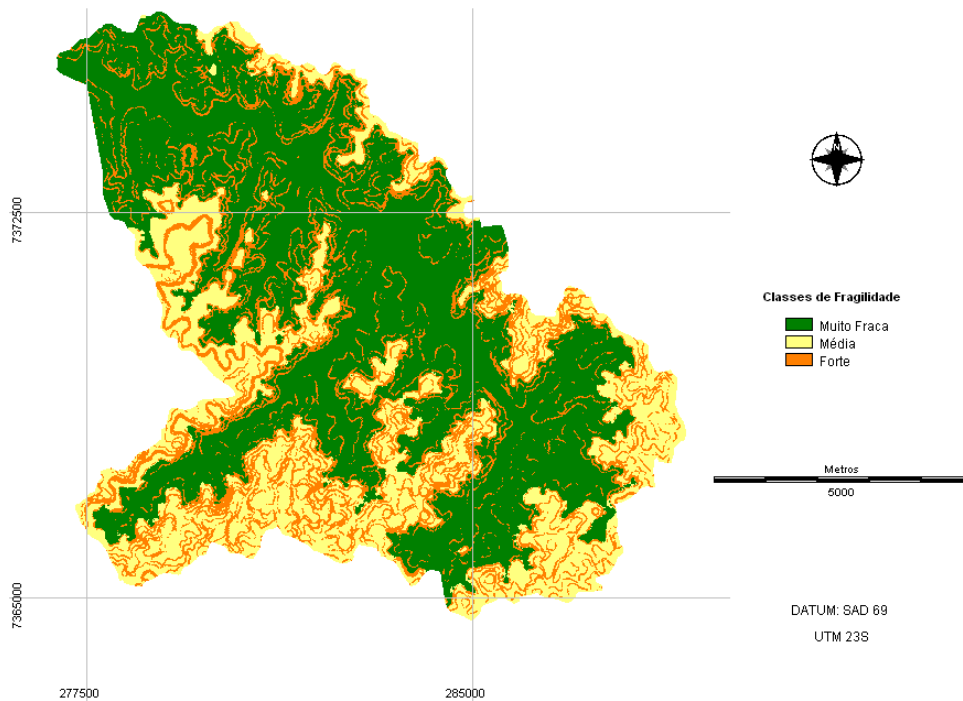


Figura 22. Mapa das Classes de Fragilidade das classes de solos na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Analisando a Figura 21, observa-se a existência de áreas classificadas como de fragilidade “Forte” principalmente nas áreas mais altas da bacia hidrográfica do rio Paiol, correspondentes às classes NEOSSOLOS e CAMBISSOLOS. Observa-se que os LATOSSOLOS VERMELHO-ESCUROS foram classificados como “Muito Fraca” e os LATOSSOLOS AMARELOS como fragilidade “Média”.

Observa-se na Figura 22, que as classes de fragilidade “Forte” se restringiram às áreas de maior declividade, ou aos CAMBISSOLOS. A exemplo da classificação da fragilidade da Figura 21, as classes de fragilidade “Muito Fraca” e “Média” correspondem aos LATOSSOLOS VERMELHO-ESCURO e LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS, respectivamente.

A Figura 23 mostra a classificação da vulnerabilidade dos solos para a bacia hidrográfica do rio Paiol. Nota-se que os NEOSSOLOS, obtiveram a classificação máxima, dentre os graus de vulnerabilidade. Os LATOSSOLOS foram classificados com o grau mínimo. E, os CAMBISSOLOS receberam classificação intermediária, com proximidade maior do valor máximo.

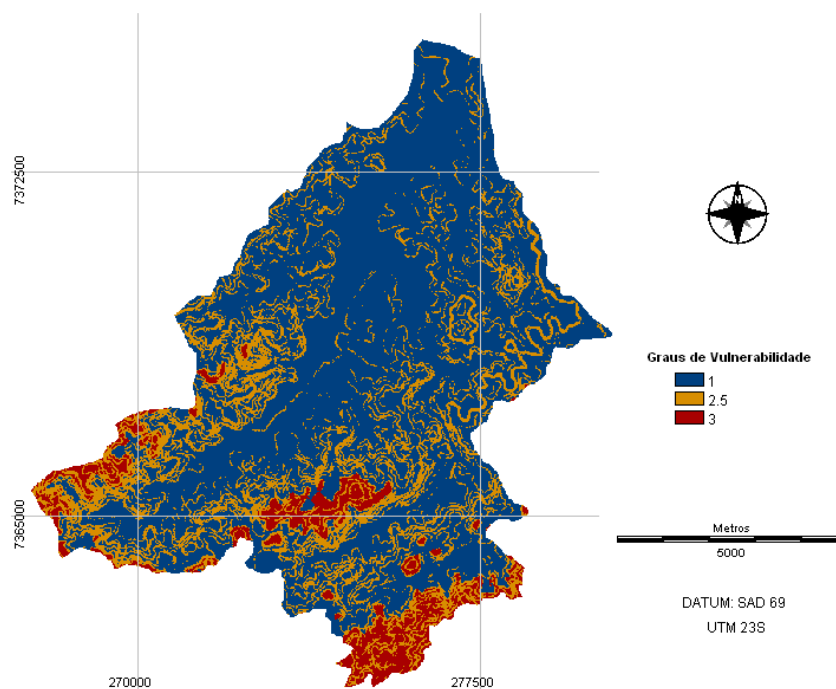


Figura 23. Mapa dos Graus de Vulnerabilidade das classes de solos na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

Na Figura 24, observa-se a distribuição espacial do grau de vulnerabilidade dos solos na bacia do Alto rio Sorocabuçu. São observadas duas classes, uma que corresponde aos LATOSSOLOS e outra que corresponde aos CAMBISSOLOS.

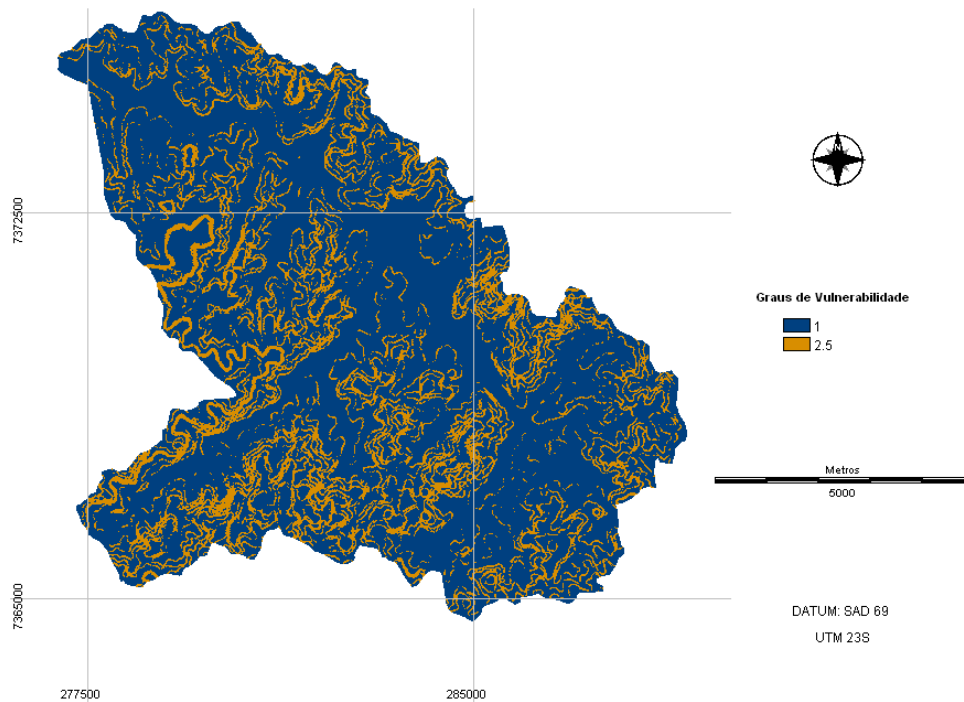


Figura 24. Mapa dos Graus de Vulnerabilidade das classes de solos na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

A Figura 25 mostra a distribuição média das chuvas ao longo do ano, evidenciando dois períodos distintos: um chuvoso, com mais de 70% das chuvas do ano entre os meses de outubro e março e outro seco, entre abril e setembro. Desta forma, define-se o período chuvoso para as áreas de estudo e pode-se calcular o potencial de erosividade da chuva, de acordo com Crepani *et al.* (2001), dividindo-se a chuva anual acumulada pelo número de meses que compõem o período chuvoso.

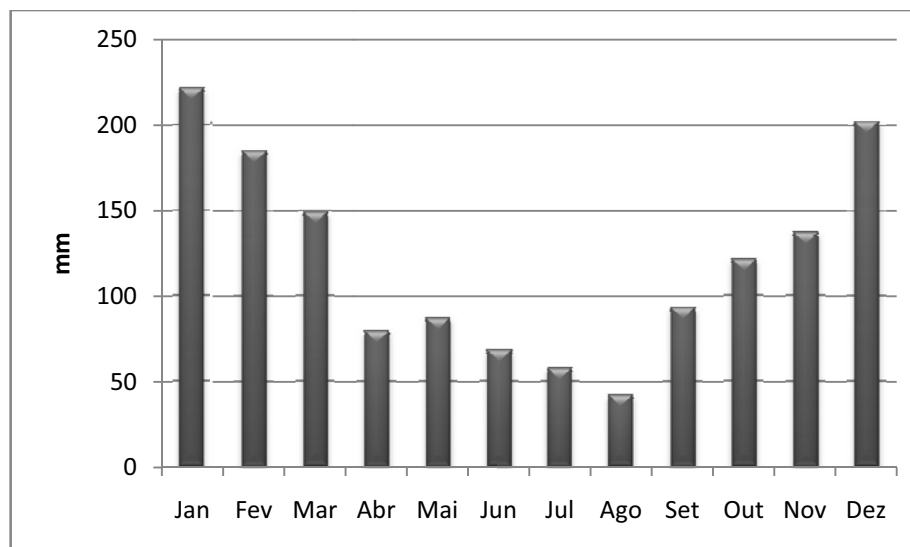


Figura 25. Média dos Totais Mensais de Precipitação para o posto E4-138, localizado próxima ao divisor de águas das duas bacias estudadas, para os anos entre 1973 e 2000.

A interpolação dos dados climatológicos resultou nos mapas das Figuras 26 e 27, que mostram a distribuição das chuvas ao longo das bacias. Nota-se que a pluviosidade aumenta gradualmente no sentido Norte-Sul, ou, de jusante para montante, ocorrendo com maior intensidade na Serra do Paranapiacaba, constituindo um típico caso de chuvas orográficas.

Por meio da comparação dos mapas e da análise da Tabela 24 observa-se que, segundo o resultado da interpolação, na bacia hidrográfica do rio Paiol ocorrem maiores precipitações, sendo que, em mais de 10% do território da bacia do Alto rio Sorocabaçu, a pluviosidade atinge valores que não ocorrem na bacia do rio Paiol.

Tabela 24. Percentual da Pluviosidade Anual Média nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

Pluviosidade Anual Média (mm)	Paiol	Sorocabaçu
1420-1440	0 %	12,24 %
1440-1460	30,22 %	27,10 %
1460-1480	24,13 %	21,28 %
1480-1500	17,09 %	26,02 %
1500-1520	20,21 %	11,08 %
1520-1540	6,10 %	1,39 %
1540-1560	1,35 %	0 %

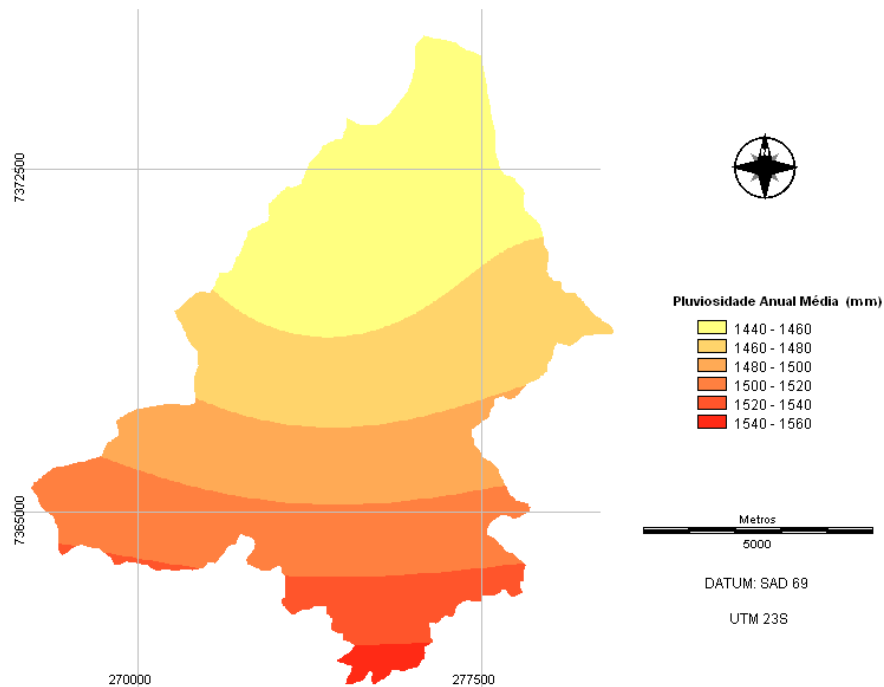


Figura 26. Isoietas de Chuva Anual Média na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

Na análise da Figura 26, nota-se que o maior volume de chuvas coincide com as áreas de solos mais frágeis. Comparando as Figuras 26 e 27, observa-se que ocorre volume de chuvas de até 40 mm na bacia hidrográfica do rio Paiol.

No entanto, as duas bacias obtiveram classe de fragilidade e grau de vulnerabilidade igual, pois as diferenças são muito pequenas, variando em apenas 20 mm. Desta forma, considerando a pequena amplitude pluviométrica encontrada ao longo das duas bacias e levando em consideração a análise do gráfico em barras da Figura 25, ambas as bacias foram classificadas integralmente como fragilidade “Média” e grau de vulnerabilidade “1,8”.

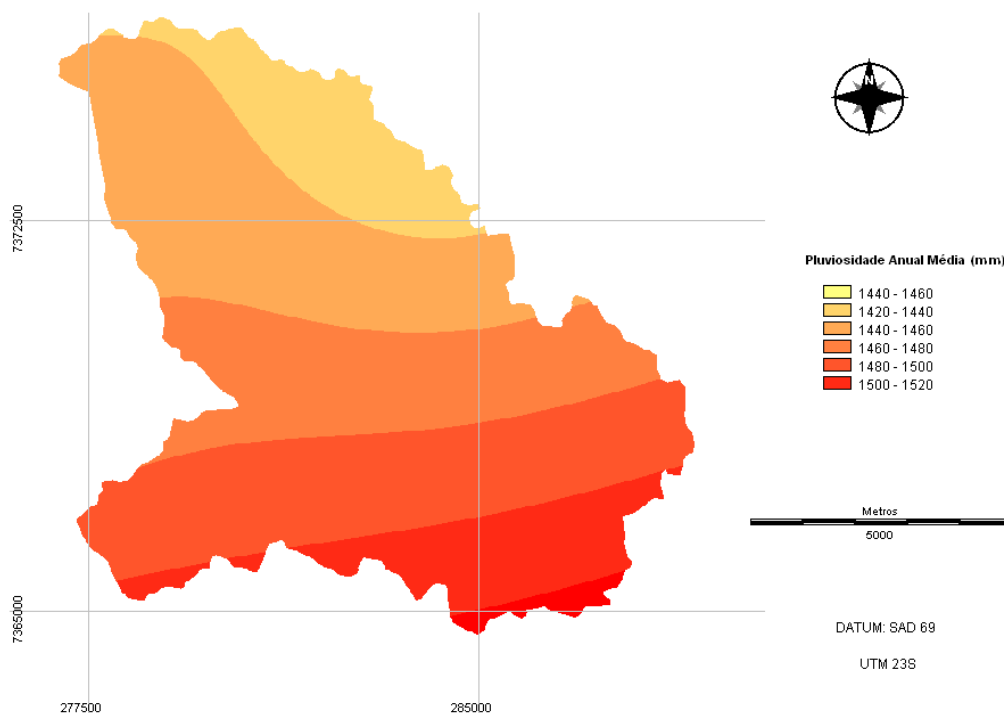


Figura 27. Isoietas de Chuva Anual Média na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

As Figuras 28 e 29 mostram a distribuição espacial das coberturas do solo nas duas bacias hidrográficas estudadas. Nota-se grande fragmentação da paisagem, sobretudo a Norte e ao longo dos principais cursos d'água de ambas as bacias. Nessas regiões ocorrem grande parte das atividades agrícolas e seu desenvolvimento nesses locais pode ser atribuído ao relevo menos acidentado, à proximidade de vias principais e à proximidade do centro urbano.

Analisando a Figura 28, observa-se a presença de vegetação nativa nos locais de maior pluviosidade e solos mais frágeis. Essa configuração é importante para a manutenção do equilíbrio dinâmico da bacia hidrográfica, principalmente por estar localizado na região de suas principais nascentes. Além disso, observa-se grande ocupação antrópica, distribuída por toda a bacia hidrográfica, composta principalmente por pastagens, solos exposto e cultivo.

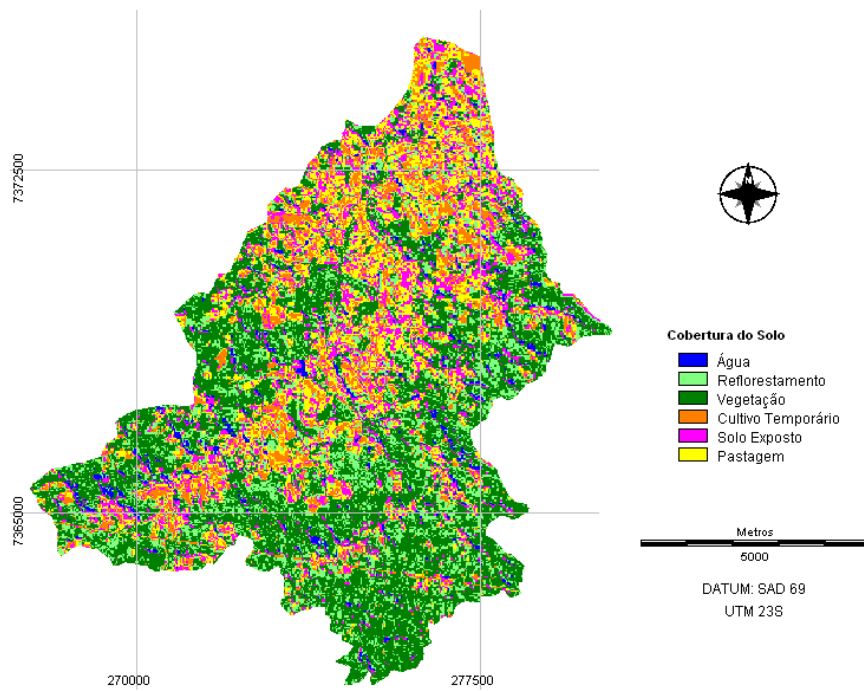


Figura 28. Mapa da Cobertura do Solo na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

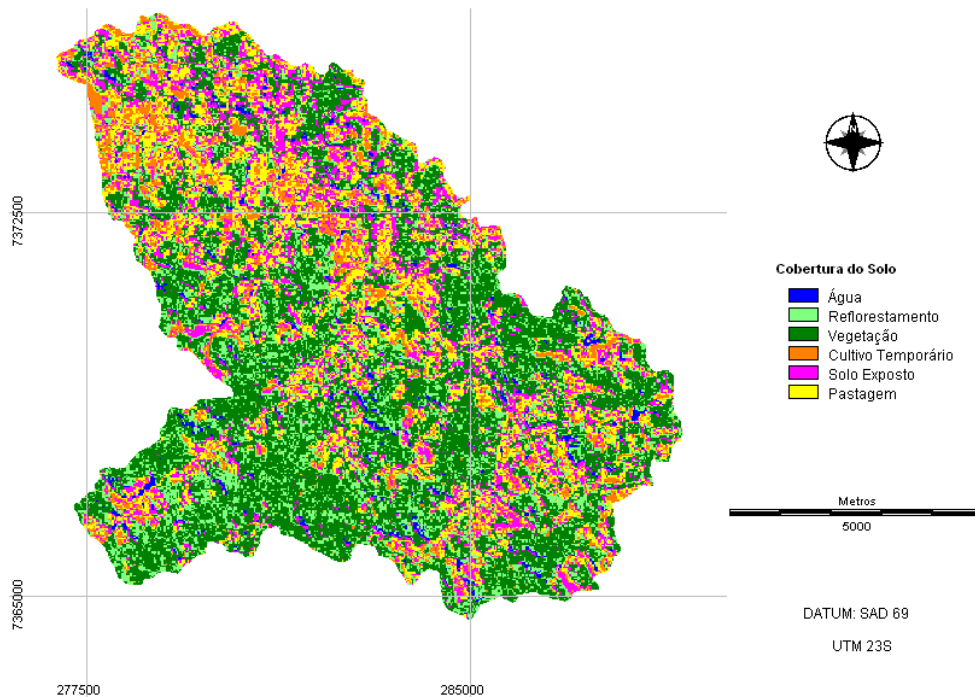


Figura 29. Mapa da Cobertura do Solo na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

A Tabela 25 mostra os percentuais de cobertura do solo na área de cada bacia, evidenciando grande predominância de vegetação e grande parcela de áreas cobertas por reflorestamento. As coberturas agropastoris se dividem, sendo que os cultivos correspondem

às menores frações. A baixa área ocupada pela cobertura de cultivo pode ser atribuída à grande rotatividade das culturas temporárias, que são expressas na quase totalidade dos solos expostos.

A distribuição espacial das classes de fragilidade das coberturas do solo para as duas bacias hidrográficas (Figura 30 e Figura 31) mostra áreas classificadas como “Muito Fraca” e “Fraca” localizadas principalmente a sul e próximo aos divisores de águas das bacias. Isso favorece a proteção das áreas com geomorfologia e solos mais frágeis.

A Figura 29 expõe a distribuição espacial da cobertura do solo na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu. Observa-se que na região onde a fragilidade do relevo é mais forte, ocorre vegetação nativa. Também se observa-se que a ocupação se concentra nas áreas adjacentes às principais vias de acesso que cruzam a bacia hidrográfica. Destaca-se na Figura 29 a presença marcante de coberturas de solo agropastoris. Além disso, ocorre ampla distribuição de reflorestamentos.

Tabela 25. Percentual de Coberturas do Solo nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Ato Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

Cobertura do Solo	Paiol	Sorocabaçu
Água	2,49 %	2,18 %
Reflorestamento	19,25 %	18,58 %
Vegetação	38,85 %	38,52 %
Cultivo Temporário	10,00 %	8,66 %
Solo Exposto	14,01 %	15,64 %
Pastagem	15,40 %	16,42 %

De acordo com a Tabela 26, mais de 60% do território da bacia hidrográfica do rio Paiol, e quase 60% do território da bacia do Alto rio Sorocabaçu, possuem fragilidade de cobertura dos solos “Muito Fraca” e “Fraca”, representando áreas menos suscetíveis à ação de processos erosivos.

Tabela 26. Percentual das Classes de Fragilidade da Cobertura do Solo nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

Classes de Fragilidade	Paiol	Sorocabaçu
Muito Fraca	41,34 %	40,69 %
Fraca	19,25 %	18,58 %
Média	15,40 %	16,42 %
Forte	10,00 %	8,66 %
Muito Forte	14,01 %	15,65 %

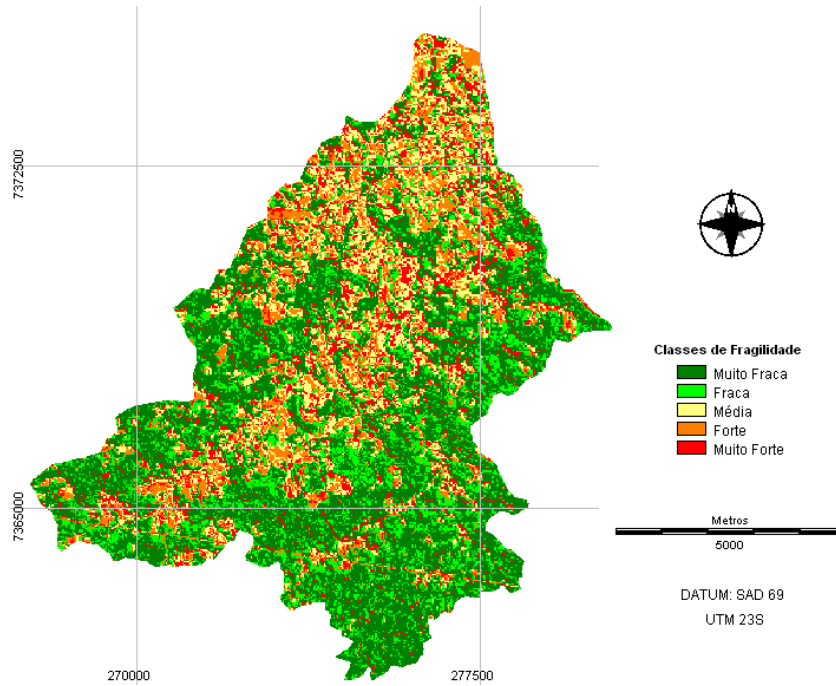


Figura 30. Mapa das Classes de Fragilidade da Cobertura do Solo na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

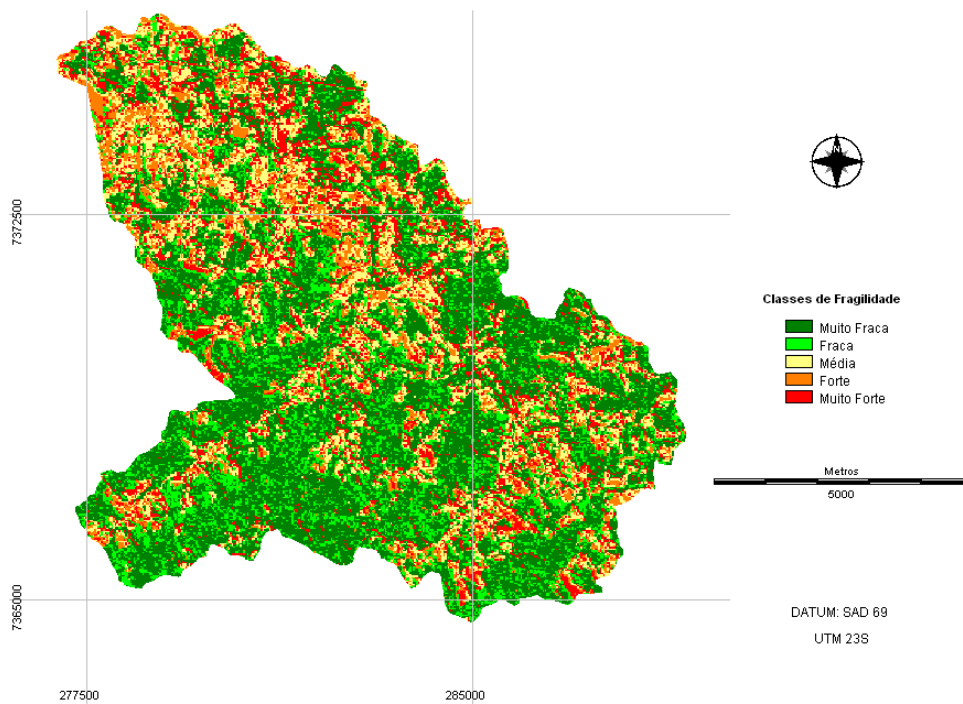


Figura 31. Mapa das Classes de Fragilidade da Cobertura do Solo na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu.

A Figura 32 mostra a distribuição espacial dos graus de vulnerabilidade da cobertura do solo, na bacia hidrográfica do rio Paiol. Nota-se que houve grande generalização o resultado, tendo ocorrido a classificação de solos sob cobertura de vegetação nativa e solos sob reflorestamento, com o mesmo grau de vulnerabilidade. Bem como, a classificação de solos exposto e solos de cultivo. Desta forma, obteve-se apenas três classes resultantes.

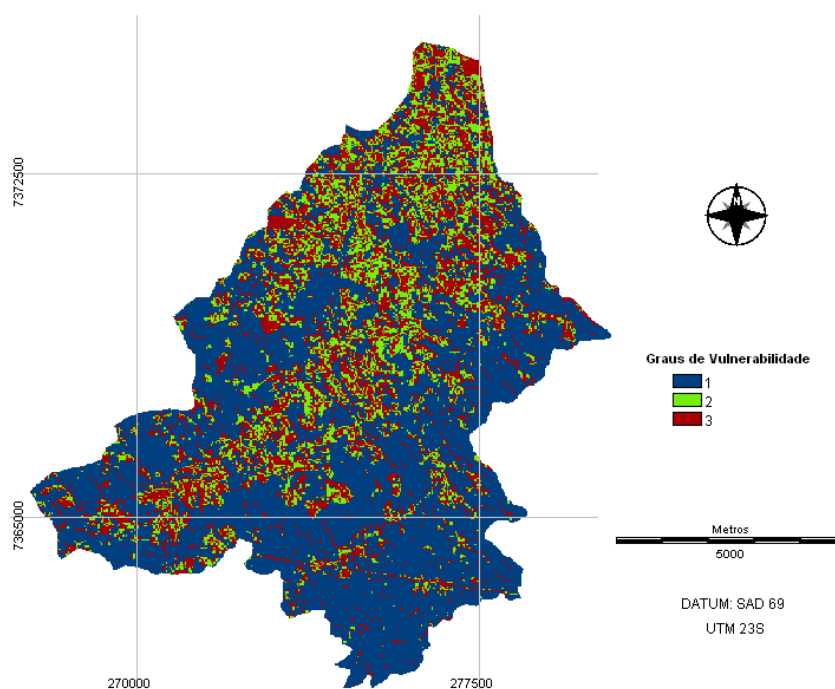


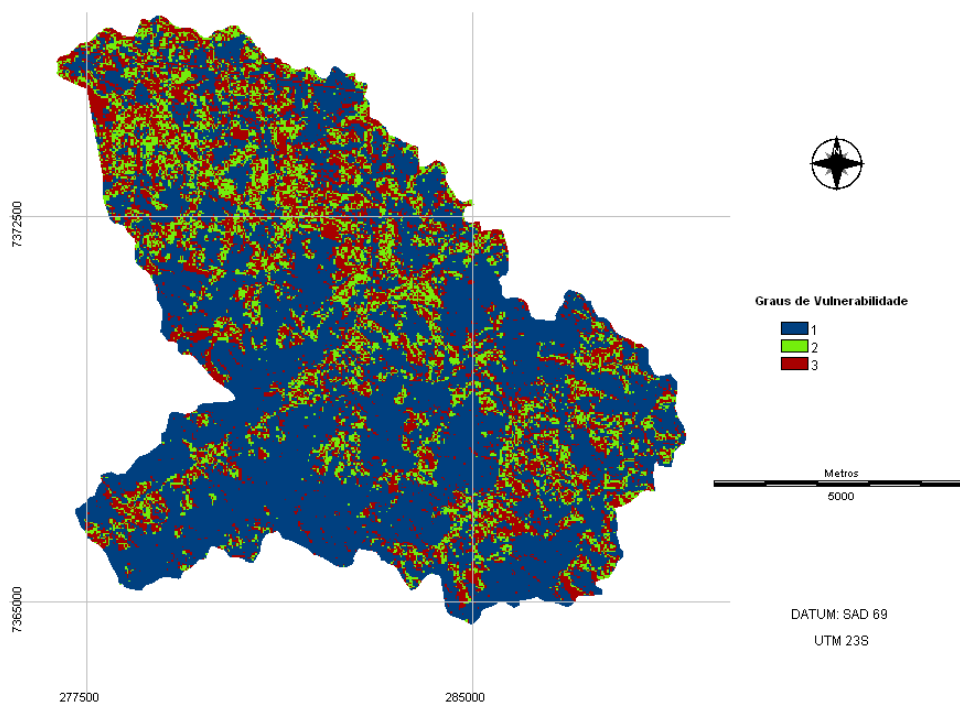
Figura 32. Mapa dos Graus de Vulnerabilidade da Cobertura do Solo na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

Observando a Figura 33, é possível avaliar a distribuição espacial dos graus de vulnerabilidade da cobertura do solo na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu. Percebe-se a formação de três classes, que indicam graus de vulnerabilidade, para os diferentes tipos de cobertura de solo identificados na bacia. Nota-se menor fragmentação que a observada na Figura 31 e concentração dos graus de vulnerabilidade “2” e “3” na região mais baixa da bacia hidrográfica.

A Tabela 27 mostra os percentuais de área de cada grau de vulnerabilidade, para as bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu. Nota-se grande semelhança entre os resultados obtidos para as duas bacias.

Tabela 27. Percentual dos Graus de Vulnerabilidade da Cobertura do Solo nas bacias hidrográficas estudadas.

Graus de Vulnerabilidade	Paiol	Sorocabuçu
1	60,59 %	59,27 %
2	15,40 %	16,42 %
3	24,01 %	24,31 %

**Figura 33.** Mapa dos Graus de Vulnerabilidade da Cobertura do Solo na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Comparando-se as Figuras 30 e 31 com os mapas das Figuras 32 e 33 e analisando a Tabela 27, observa-se que os graus de vulnerabilidade atribuídos diminuem o mosaico da cobertura do solo, uma vez que, este considera reflorestamento e vegetação com o mesmo grau de vulnerabilidade. O mesmo ocorre com solo exposto e cobertos por cultivo temporário, classificados como grau “3”.

A Tabela 28 apresenta os percentuais de área para as bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, classificados quanto ao grau de vulnerabilidade da geologia.

Tabela 28. Percentual dos Graus de Vulnerabilidade nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Alto Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Graus de Vulnerabilidade	Paiol	Sorocabuçu
1,2	67,16 %	40,03 %
1,3	26,39 %	54,39 %
1,7	-	1,07 %
3	6,45 %	4,51 %

A partir da análise das Tabelas 14 e 28, nota-se que os “Aluviões de planícies e terraço” são os responsáveis por áreas mais vulneráveis. Porém, possuem baixa representatividade nas bacias, correspondendo a 6,45% na bacia do rio Paiol e 4,51% na bacia do Alto rio Sorocabuçu.

A Figura 34 mostra a distribuição espacial dos graus de vulnerabilidade da litologia na bacia hidrográfica do rio Paiol. Foram estabelecidos três graus de vulnerabilidade, sendo dois deles próximos ao valor mínimo, enquanto que, a classificação dos Aluviões de Planícies e Terraços recebeu a classificação máxima.

A Figura 35 mostra a espacialização dos graus de vulnerabilidade da geologia na bacia do Alto rio Sorocabuçu. Foram estabelecidos quatro graus distintos de vulnerabilidade, sendo que dois deles se aproximam do valor mínimo. As Rochas com Textura Milonítica foram classificadas com grau de vulnerabilidade “1,7”.

Os mapas síntese de fragilidade potencial foram gerados com a combinação de alguns dos produtos cartográficos expostos acima, como ilustram as Figuras de 36 a 41. Houve grande diferença entre os resultados providos por cada método, onde se verificou uma grande fragmentação das áreas no modelo com apoio nas “Classes de Declividade”, ao contrário do que é observado nos modelos com apoio nas “Unidades Territoriais Básicas” e nos “Índices de Dissecação do Relevo”. Isto ocorre devido à utilização de um produto cartográfico que representa a geomorfologia de maneira generalizada (Concentração da Rugosidade). Além disso, as classes de solos mais frágeis favoreceram o aumento da área de classes de fragilidade mais elevada, nos modelos com apoio nos “Índices de Dissecação do Relevo” e nas “UTBs”.

A Figura 36 mostra as classes de fragilidade potencial com apoio nas classes de declividade, obtidas para a bacia hidrográfica do rio Paiol. Nota-se que não ocorre a classe “Muito Fraca”. Entretanto, observa-se vasta área com classificação “Fraca”, localizadas principalmente nas áreas de várzea dos principais rios da bacia. Ocorre grande concentração de áreas fragilidade “Muito Forte” e “Forte” próximo aos limites da bacia.

A Figura 37 apresenta o mapa da fragilidade potencial com apoio nas classes de declividade para a bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu. Assim como ocorre na Figura 36, observa-se ausência da classe “Muito Fraca” e distribuição da classe “Fraca” ao longo das áreas de várzea dos principais rios da bacia.

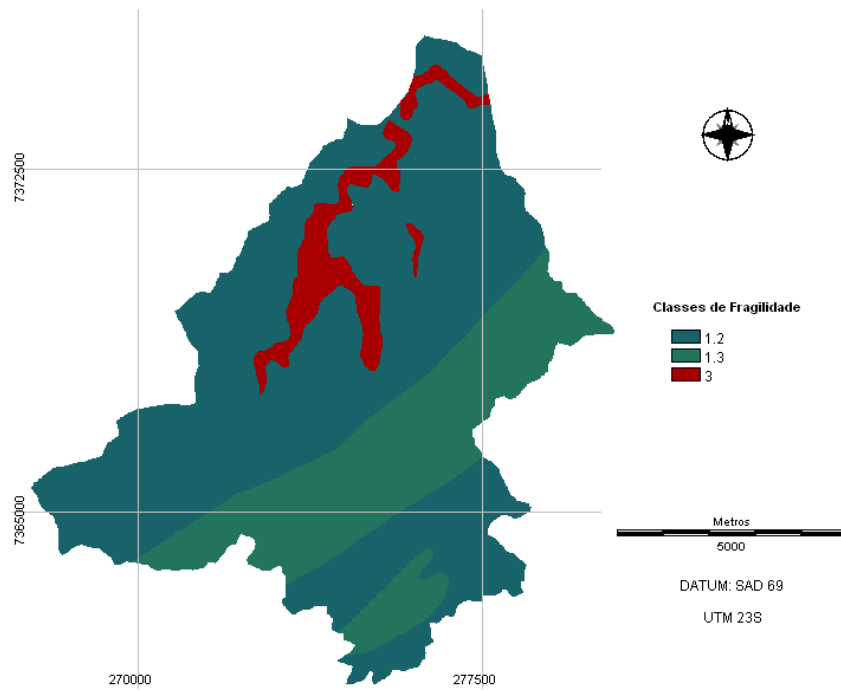


Figura 34. Mapa dos Graus de Fragilidade da Geologia na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

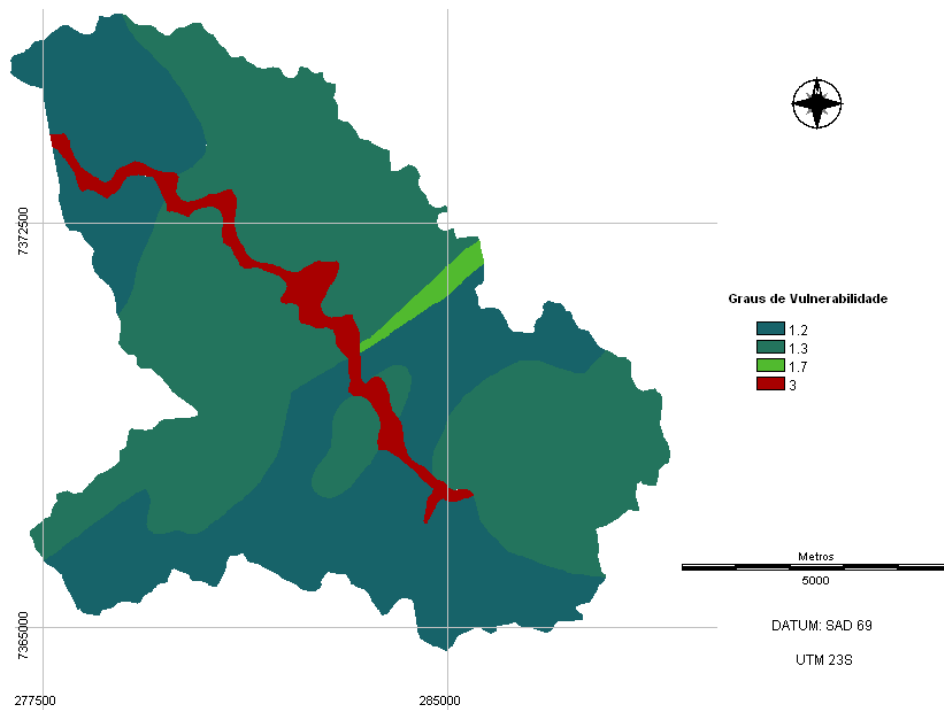


Figura 35. Mapa dos Graus de Fragilidade da Geologia na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

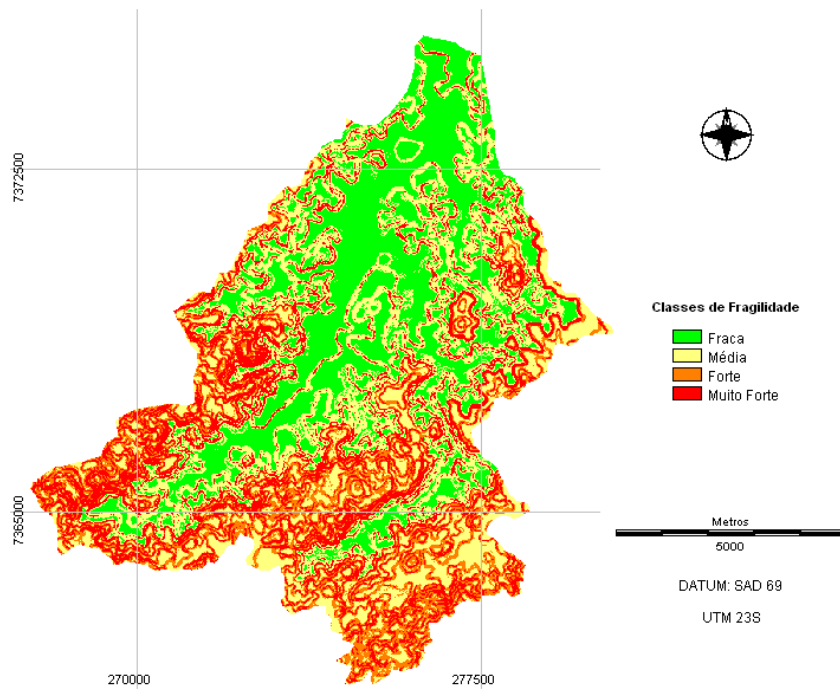


Figura 36. Mapa das Classes de Fragilidade Potencial com apoio nas Classes de Declividade, na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

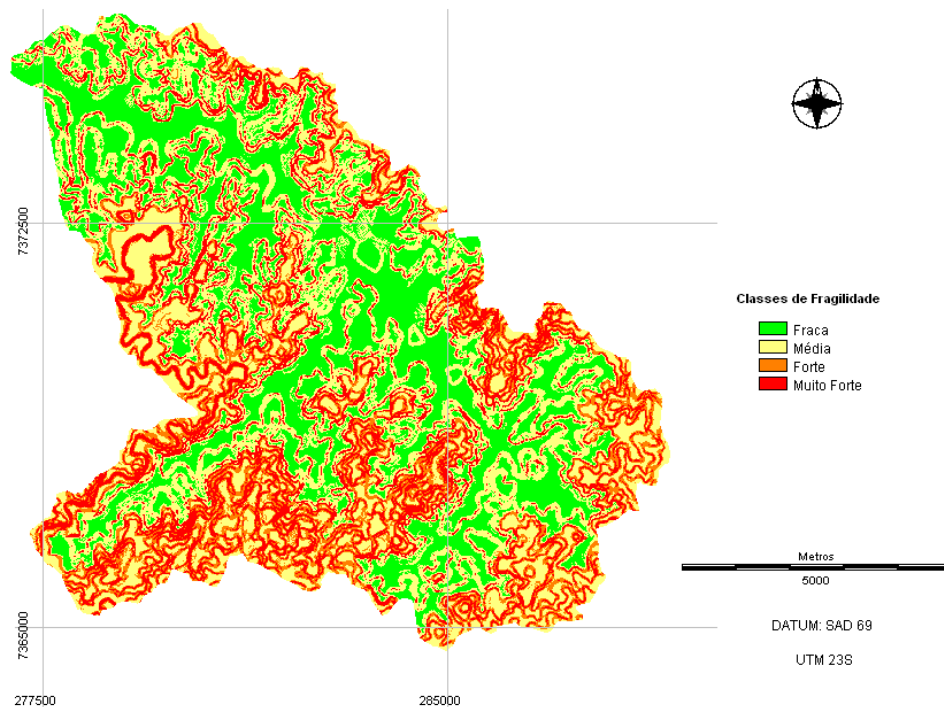


Figura 37. Mapa das Classes de Fragilidade Potencial com apoio nas Classes de Declividade, na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

A Figura 38 apresenta o mapa de fragilidade potencial com apoio nos índices de dissecação do relevo, para a bacia hidrográfica do rio Paiol. A exemplo do resultado obtido na Figura 36 observa-se a ausência da classe de fragilidade “Muito Fraca”. Percebe-se que a distribuição espacial das classes ocorre com nível de fragmentação muito menor que o observado na Figura 36.

Nota-se que, de acordo com a fragilidade potencial com apoio nos índices de dissecação do relevo, a bacia hidrográfica do rio Paiol apresenta áreas, localizadas próximas ao divisor de águas com classificação “Forte”. Ocorre ainda a presença de áreas classificadas como “Muito Forte” em locais isolados da bacia e áreas classificadas como “Média” espalhadas de forma mais homogênea.

A Figura 39 mostra a fragilidade potencial com apoio nos índices de dissecação do relevo para a bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu. Não ocorre a classe “Muito Fraca” e a classe “Fraca” se distribui ao longo da bacia. Obteve-se apenas duas regiões isoladas com fragilidade “Muito Forte”. As áreas de fragilidade “Forte” encontram-se principalmente na região dos divisores de água da bacia. A classe de fragilidade “Média” se distribui de forma homogênea.

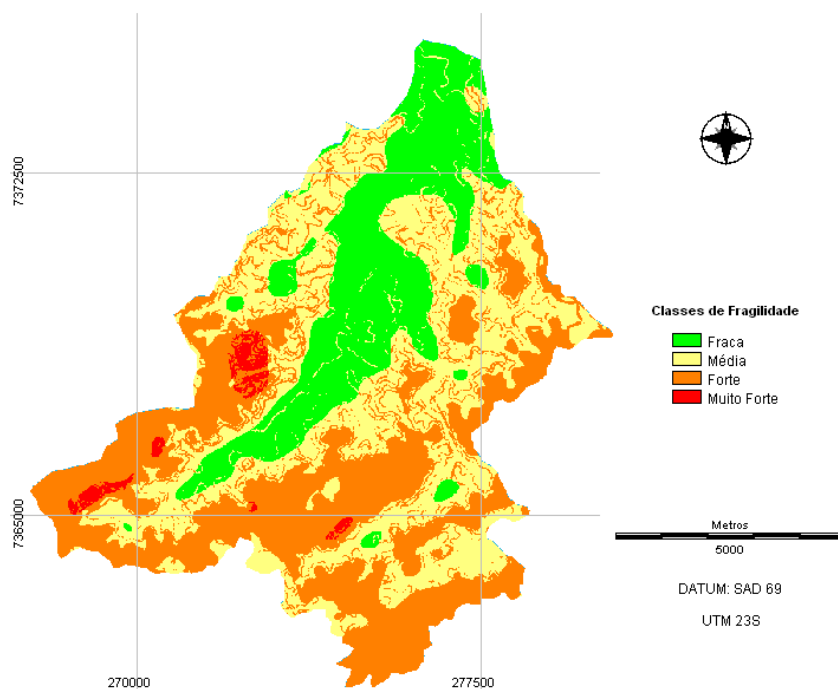


Figura 38. Mapa das Classes de Fragilidade Potencial com apoio nos Índices de Dissecação do Relevo, na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

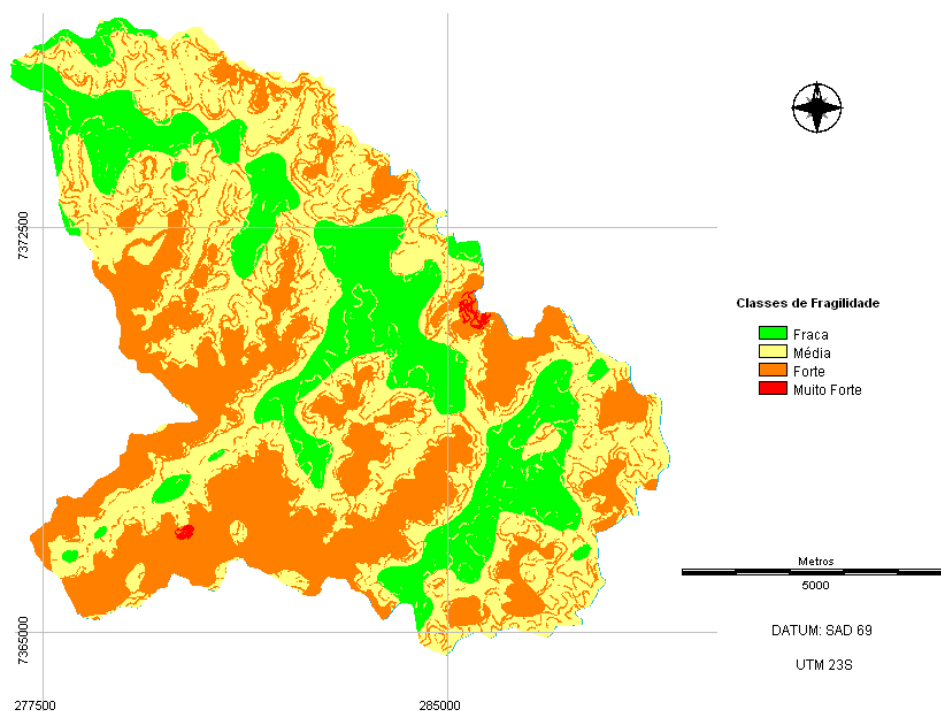


Figura 39. Mapa das Classes de Fragilidade Potencial com apoio nos Índices de Dissecação do Relevo, na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

A Figura 40 apresenta a distribuição espacial das classes de fragilidade potencial com apoio nas unidades territoriais básicas (UTBs) para a bacia hidrográfica do rio Paiol e evidencia grande quantidade de áreas, distribuídas ao longo de toda a bacia, classificadas como “Muito Fraca” e “Fraca”. Observa-se a ausência da classe de fragilidade “Muito Forte” e a baixa ocorrência das classes “Forte” e “Média”.

A Figura 41 mostra a distribuição espacial das classes de fragilidade potencial com apoio nas unidades territoriais básicas (UTBs) para a bacia hidrográfica do rio Paiol. Observa-se predominância das classes de fragilidade “Muito Fraca” e “Fraca” em toda a bacia hidrográfica. Não se observa a classe “Muito Forte” e as classes “Média” e “Forte” se restringem a pequenas áreas.

Com a elaboração dos mapas de fragilidade potencial nos três modelos foi obtida diferença nas classes de fragilidade resultantes. Os mapas gerados com apoio nas “UTBs” resultou em um intervalo de classes de “Muito Fraca” a “Forte”, enquanto que os outros dois modelos resultaram em um intervalo de “Fraca” a “Muito Forte”. Pela análise da Tabela 29, observa-se grande diferença nos percentuais de área, entre os modelos, para cada classe de fragilidade. No modelo com apoio nas “UTBs” foi encontrado maior percentual de áreas classificadas como “Muito Fraca”, o que pode ser atribuído à inserção do mapa litológico, que

foi classificado com graus de vulnerabilidade mais baixo, e ao mapa de Concentração da Rugosidade, que teve grande parte dos territórios das bacias classificado com o grau de vulnerabilidade mais baixo.

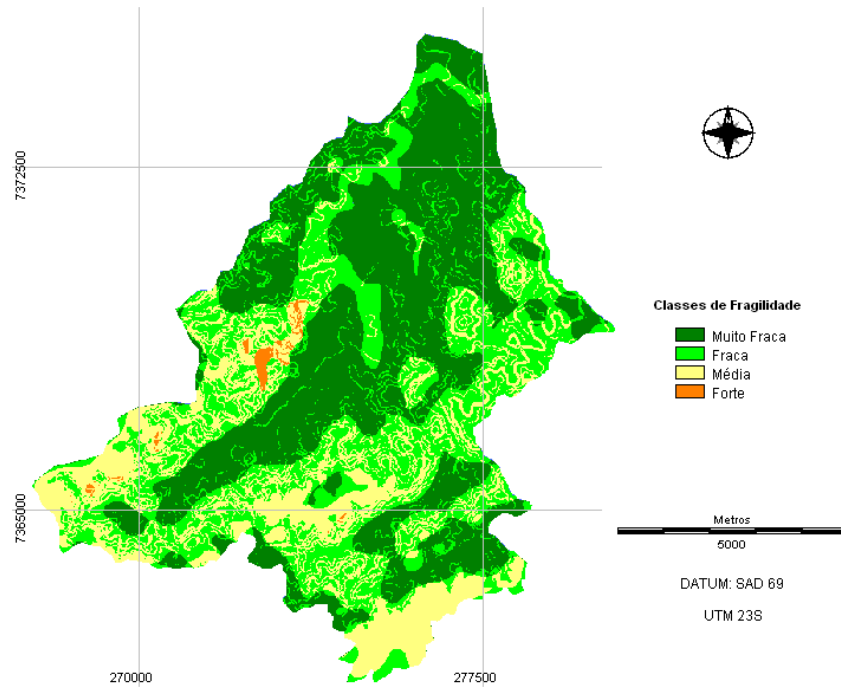


Figura 40. Mapa das Classes de Fragilidade Potencial com apoio nas Unidades Territoriais Básicas, na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

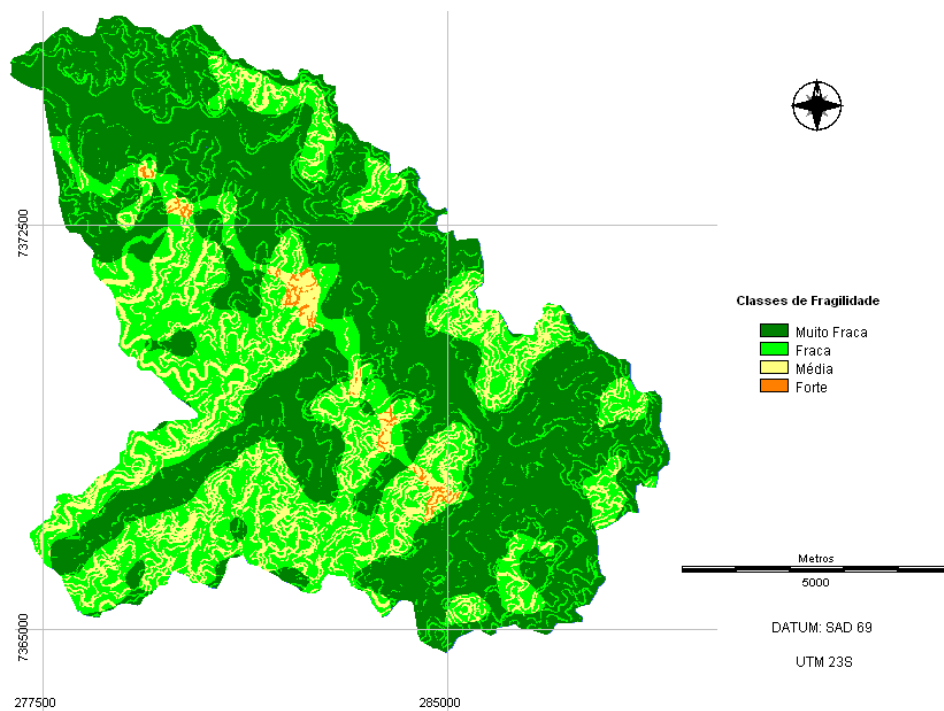


Figura 41. Mapa das Classes de Fragilidade Potencial com apoio nas Unidades Territoriais Básicas, na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

Tabela 29. Percentual das Classes de Fragilidade Potencial nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

Classes de Fragilidade	Classes de Declividade		Índices de Dissecação do Relevo		UTBs	
	Paiol	Sorocabaçu	Paiol	Sorocabaçu	Paiol	Sorocabaçu
Muito Fraca	-	-	-	-	41,87 %	51,35 %
Fraca	28,48 %	28,17 %	22,06 %	22,21 %	34,42 %	33,61 %
Média	34,97 %	39,37 %	35,88 %	40,61 %	23,10 %	14,54
Forte	13,19 %	11,39 %	40,51 %	36,93 %	0,61 %	0,50 %
Muito Forte	23,36 %	21,07 %	1,55 %	0,25 %	-	-

Os dois modelos propostos por Ross (1994) também apresentaram diferenças significativas, principalmente quando comparadas as classes de fragilidade “Forte” e “Muito Forte”. A generalização dos elementos do relevo, obtida no mapa de Concentração da Rugosidade, atenuou a fragmentação dos mapas gerados com apoio nos “Índices de Dissecação do Relevo”. Nota-se, ainda, que as áreas classificadas como “Muito Forte” são derivadas da classificação advinda do mapa de Concentração da Rugosidade. Nos mapas gerados utilizando as classes de declividade, observou-se grande quantidade de áreas classificadas como “Muito Forte”, destacando principalmente os locais inseridos na Serra do Paranapiacaba.

Em comparação com Freitas *et al.* (2008) que estudaram a fragilidade ambiental da Área de Proteção Ambiental (APA) de Itupararanga, que engloba a área das duas bacias hidrográficas, os resultados também foram bastante divergentes. De acordo com os autores, a fragilidade potencial da bacia hidrográfica do rio Paiol seria praticamente toda classificada como “Forte”, com pequenas áreas classificadas como “Muito Fraca” e “Muito Forte”. Já para a bacia do Alto rio Sorocabaçu, a fragilidade seria predominantemente “Forte”, com algumas áreas classificadas como “Média” e uma pequena faixa classificada como “Muito Forte”.

Os resultados divergentes obtidos pelos autores e os demonstrados neste trabalho podem ser explicados pela diferença de escala trabalhada, tendo em vista que o objetivo dos autores foi o mapeamento da fragilidade ambiental de toda a APA de Itupararanga. Além disso, destaca-se a não utilização da variante pedológica.

De maneira geral, a bacia hidrográfica do rio Paiol possui maior quantidade de áreas mais frágeis, o que é consequência das classificações obtidas em cada um dos produtos cartográficos que originaram os mapas de fragilidade potencial.

Os mapas de fragilidade potencial destacam as áreas onde a cobertura do solo deve prover maior grau de proteção, minimizando o potencial de ação dos processos erosivos. Desta forma, esses mapas são importantes ferramentas para subsidiar o planejamento para a ocupação do solo, indicando as áreas que devem possuir cobertura vegetal que permita a sua proteção do solo.

Com o acréscimo dos mapas de cobertura do solo aos mapas e fragilidade potencial, obteve-se os mapas de fragilidade emergente. As Figuras de 42 a 47 apresentam os mapas de fragilidade emergente para as duas bacias hidrográficas estudadas, com base nos três modelos. O resultado para as duas bacias foi bastante semelhante nos modelos propostos por Ross (1994). De acordo com Tabela 30, os percentuais de áreas correspondentes, a cada classe de fragilidade são muito próximas entre as duas bacias. No entanto, destaca-se o menor percentual de áreas mais frágeis na bacia do rio Paiol, diferentemente do observado para a fragilidade potencial. Isso pode ser atribuído à grande quantidade de áreas com cobertura de solo que proporcionam maior proteção. Já para o modelo com apoio nas UTBs, observou-se diferenças significativas entre as duas bacias, principalmente nas classificações “Muito Fraca” e “Fraca”.

A Figura 42 mostra o mapa da fragilidade emergente com apoio nas classes de declividade para a bacia hidrográfica do rio Paiol. Observa-se grande fragmentação da bacia, composta com quatro classes de fragilidade. Destaca-se a ausência da classe “Muito Fraca”, assim como observado na Figura 36.

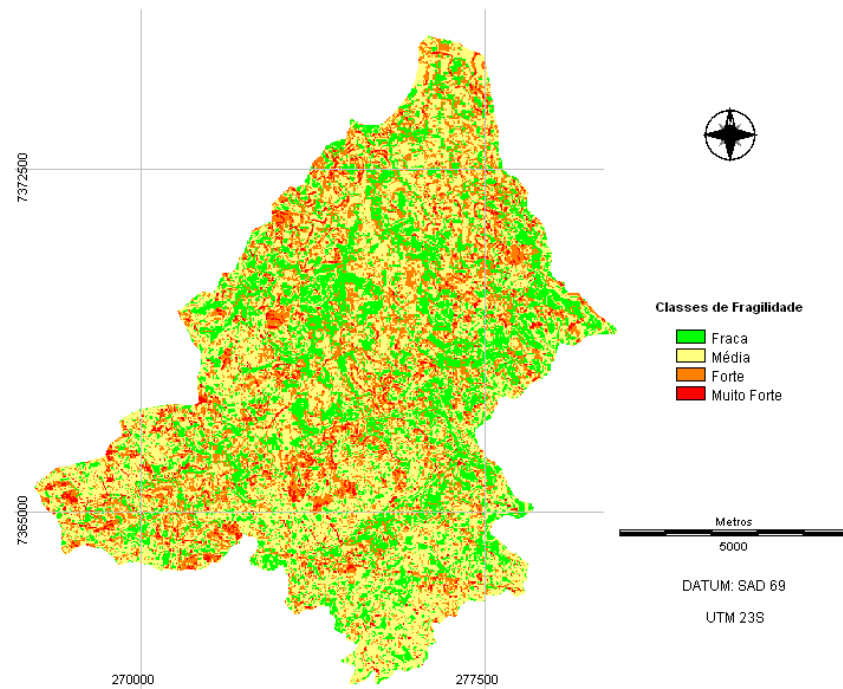


Figura 42. Mapa das Classes de Fragilidade Emergente com apoio nas Classes de Declividade, na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

A Figura 43 apresenta a distribuição espacial das classes de fragilidade emergente com apoio nas classes de declividade para a bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu.

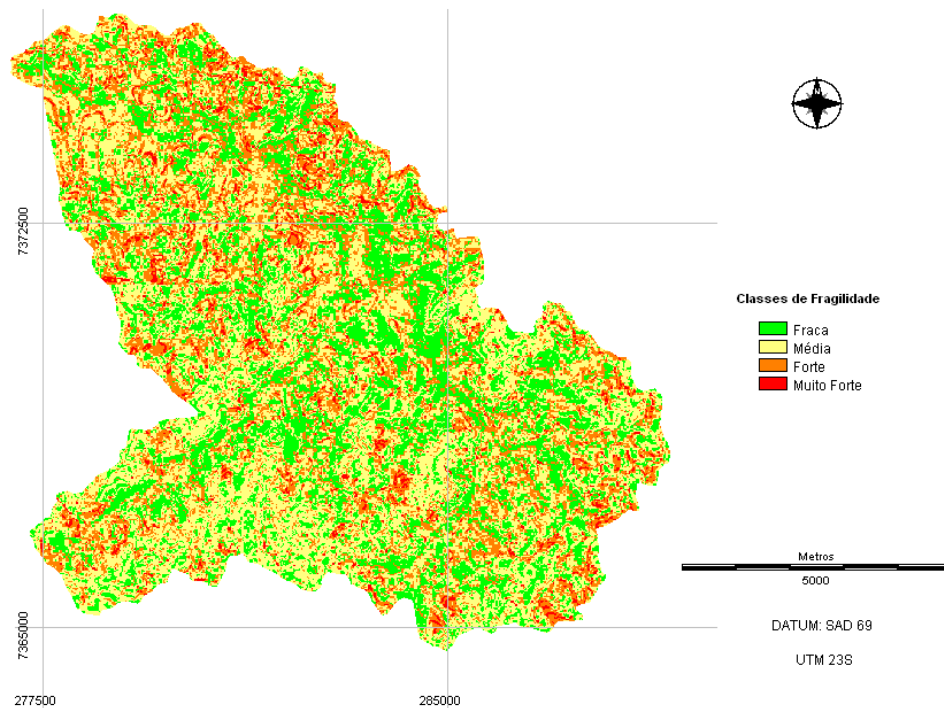


Figura 43. Mapa das Classes de Fragilidade Emergente com apoio nas Classes de Declividade, na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Assim como observado para a bacia do rio Paiol, ocorre grande fragmentação da bacia, com ausência da classe de fragilidade “Muito Fraca”, o que pode ser atribuído ao resultado obtido no mapa de fragilidade potencial.

A Figura 44 apresenta a distribuição espacial das classes de fragilidade emergente com apoio nos índices de dissecação do relevo para a bacia hidrográfica do rio Paiol. Destaca-se a grande ocorrência de áreas classificadas como “Média” e ausência da classe de fragilidade “Muito Fraca”. Além disso, observa-se a baixa ocorrência de áreas classificadas como “Muito Forte”.

Para a bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, o mapa das classes de fragilidade emergentes com apoio nos índices de dissecação do relevo, mostrados na Figura 45, obedecem ao mesmo padrão encontrado para a bacia do rio Paiol. Não ocorrem áreas classificadas como “Muito Fraca”, alta ocorrência de áreas “Média” e “Fraca” e baixa ocorrência de áreas classificadas como “Forte” e “Muito Forte”.

A Figura 46 apresenta o mapa de distribuição espacial das classes de fragilidade emergente com apoio nas UTBs para a bacia hidrográfica do rio Paiol. Observam-se resultados muito distintos dos obtidos para os outros dois modelos. Ocorrem áreas muito pequenas com fragilidade “Muito Forte” e “Forte” e a predominância da área da bacia é classificada como “Muito Fraca” e “Fraca”.

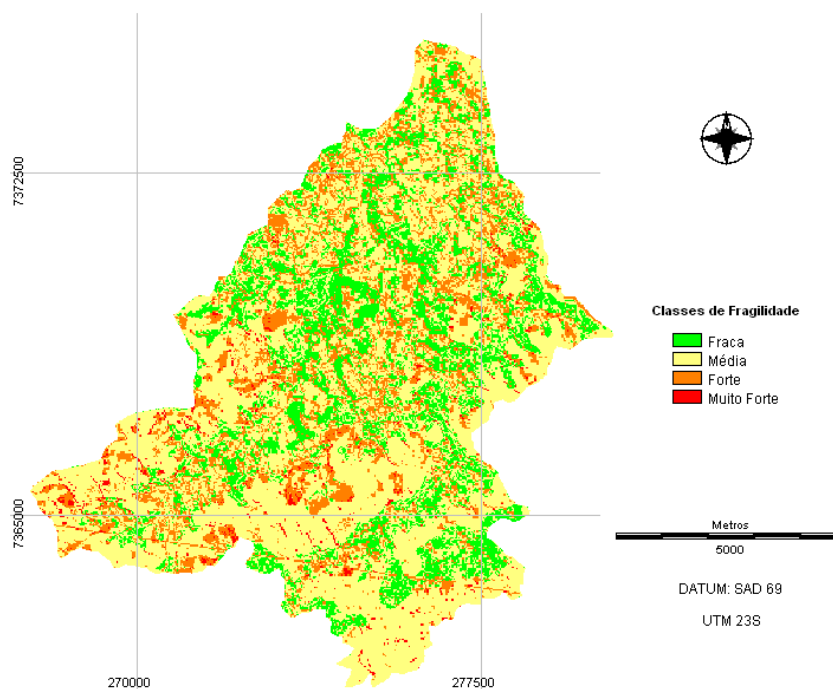


Figura 44. Mapa das Classes de Fragilidade Emergente com apoio nos Índices de Dissecação do Relevo, na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

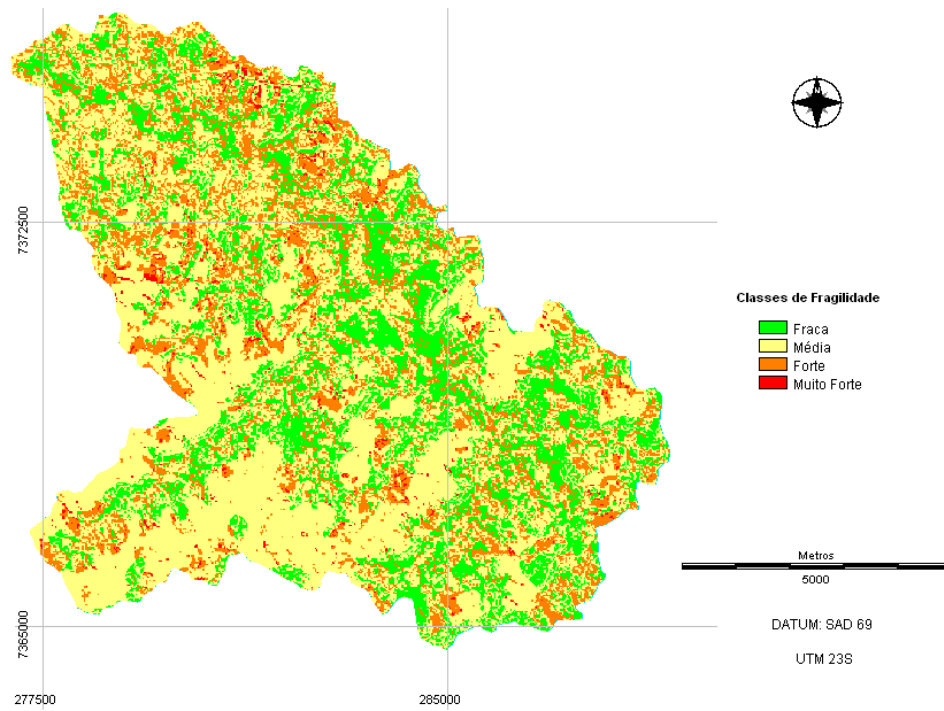


Figura 45. Mapa das Classes de Fragilidade Emergente com apoio nos Índices de Dissecação do Relevo, na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

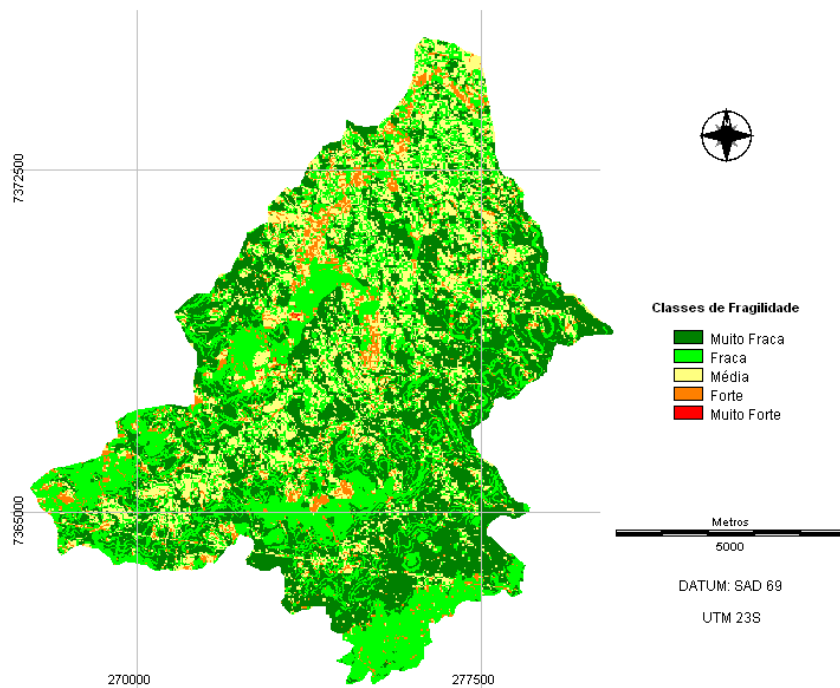


Figura 46. Mapa das Classes de Fragilidade Emergente com apoio nas Unidades Territoriais Básicas, na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

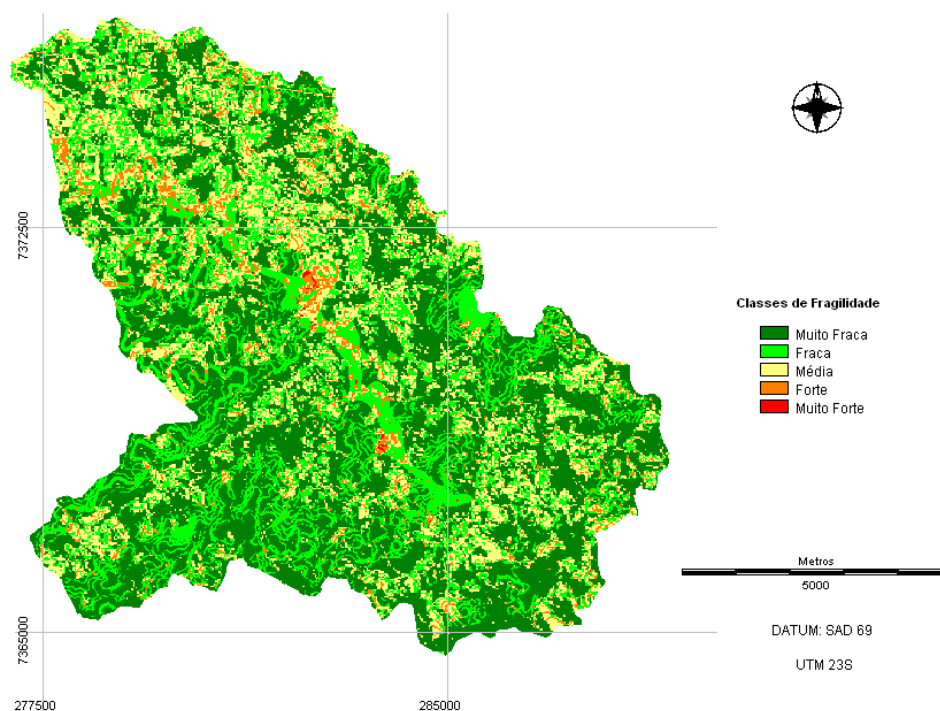


Figura 47. Mapa das Classes de Fragilidade Emergente com apoio nas Unidades Territoriais Básicas, na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

Na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, o mapa de fragilidade emergente com apoio nas UTBs, apresenta a mesma configuração que o mapa resultante para a bacia do rio Paiol (Figura 47). Predominância de áreas classificadas como “Muito Fraca” e “Fraca” e pequenas áreas classificadas como “Média”, “Forte” e “Muito Forte”.

Na comparação entre os modelos, observou-se menor fragmentação das bacias hidrográficas nos modelos que utilizam a Concentração da Rugosidade como elemento representante do relevo. Assim como nos mapas de fragilidade potencial, nota-se grande divergência entre os resultados dos modelos propostos por Ross (1994) e do modelo proposto por Crepani *et al.* (1996).

A principal diferença encontrada, ao se analisar a Tabela 30, é a predominância de áreas com fragilidade “Muito Fraca” e “Fraca”, o que pode ser atribuído à definição de valores mais baixos para as classes de solos, coberturas do solo e às classes de concentração da rugosidade. Os mapas de fragilidade emergente mostram as áreas que estão desprotegidas, favorecendo a ocorrência de processos erosivos acelerados. Desta forma, serve como indicador para áreas prioritárias para recuperação.

É importante que se avalie os modelos de fragilidade ambiental de maneira a subsidiar o planejamento de ocupação, sobretudo em bacias de manancial, como é o caso das bacias

hidrográficas estudadas. No entanto, a divergência dos resultados entre os métodos impõe a necessidade de verificação das informações geradas.

Tabela 30. Percentual das Classes de Fragilidade Emergente nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Classes de Fragilidade	Classes de Declividade		Índices de Dissecação do Relevo		UTBs	
	Paiol	Sorocabuçu	Paiol	Sorocabuçu	Paiol	Sorocabuçu
Muito Fraca	-	-	-	-	37,45 %	46,39 %
Fraca	25,69 %	28,30 %	20,89 %	23,78 %	35,55 %	26,62 %
Média	46,95 %	43,30 %	57,92 %	53,77 %	20,82 %	22,20 %
Forte	22,87 %	24,04 %	19,40 %	21,17 %	6,18 %	4,79 %
Muito Forte	4,49 %	4,36 %	1,78 %	1,28 %	0,04 %	0,10 %

Comparando os resultados obtidos pelos três modelos, com os resultados da fragilidade emergente mostrados em Freitas *et al.* (2008), observa-se novamente grande divergência. Para a área correspondente às bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu foram obtidas classes de fragilidade idênticas às da fragilidade potencial, à exceção de áreas localizadas na bacia do rio Paiol, que deixaram de ser classificadas como “Muito Fraca” e passaram a ser classificadas como “Média”.

Essa divergência pode ser atribuída à aplicação de pesos diferentes entre os dois trabalhos, além da utilização da variante pedológica e da escala de trabalho.

Os resultados da regressão linear multivariada entre os modelos de fragilidade e os mapas dos atributos do solo com maior influência sobre os processos erosivos, estão demonstrados na Tabela 31. Nota-se que o modelo com a apoio nas classes de declividade apresentou parâmetros que indicaram correlação mais forte com os atributos de solo.

Tabela 31. Tabela com os parâmetros da regressão linear multivariada para os modelos de fragilidade ambiental nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Modelos	Coeficiente de Correlação de Pearson	
	Paiol	Sorocabuçu
Classes de Declividade	0,7262	0,7623
Índices de Dissecação do Relevo	0,0061	0,0866
UTBs	0,0077	0,0122

Desta forma, de posse dos resultados demonstrados, pode-se afirmar que os mapas de fragilidade emergentes com apoio nas classes de declividade são os mais adequados para a

análise da dinâmica dos processos erosivos nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu.

Os melhores resultados obtidos pelo modelo com apoio nas classes de declividade podem ser atribuídos ao maior detalhamento da variável geomorfológica, através do uso do mapa de classes de declividade. O que não foi obtido com os modelos que utilizaram o mapa dos índices de concentração da rugosidade, que generalizou a explicação das feições geomorfológicas existentes nas bacias hidrográficas estudadas.

6.2 Atributos de Qualidade do Solo

Nas Tabelas de 32 a 36 as análises dos atributos do solo são demonstrados separadamente, de acordo com a classe de cobertura do solo, permitindo a comparação entre as classes: cultivo orgânico (B.H. do Alto rio Sorocabuçu) na Tabela 32, cultivo convencional (B.H. do rio Paiol) na Tabela 33, reflorestamento na Tabela 34, vegetação na Tabela 35 e pastagem na Tabela 36. A partir da análise das estimativas intervalares foi possível avaliar se houve diferença entre os usos para os atributos analisados.

Desta forma, observa-se que para os dados de Densidade Aparente (DA) dos solos de reflorestamento, cultivo convencional e cultivo orgânico, sugerem não haver diferença estatisticamente significativa, pois seus intervalos de confiança se sobrepõem. A Densidade Aparente dos solos de vegetação é menor e de acordo com a análise estatística, a DA dos solos de pastagem é igual a dos solos de cultivo orgânico e convencional. A análise do Coeficiente de Variação mostrou baixa variação em torno da média, ou seja, a representatividade das análises da estimativa intervalar foi alta.

A similaridade estatística entre os resultados dos solos de cultivo (convencional e orgânico) e de pastagem pode ser explicada pela ausência de espécies vegetais de grande influência radicular, como ocorre em áreas de vegetação nativa e reflorestamento. Além disso, no preparo do solo, realizado nas áreas de cultivo, são utilizados tratores, que favorecem a semelhança aos resultados obtidos nas áreas de pastagem, onde há pisoteio do gado. Araújo, Goedert e Lacerda (2007), Streck *et al.* (2004) e Bertol e Santos (1995) encontraram grande semelhança entre a densidade aparente de solos sob pastagem natural e áreas de cultivo. O que, segundo Roque *et al.* (2003) pode ser atribuído à ação de pisoteio do gado e ao trânsito de maquinário pesado nas áreas de cultivo.

Tabela 32. Estatística descritiva dos atributos de qualidade do solo em áreas de cultivo orgânico, da bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

Atributos do solo	Média e Estimativa Intervalar	Valor		EP	ASS	VAR	CUR	CV
		Máx.	Mín.					
DA	0,95 (0,88 – 1,02)	0,75	1,24	0,03	0,64	0,02	-0,58	0,16
DR	2,24 (2,17 – 2,32)	1,92	2,44	0,04	-0,49	0,02	-0,78	0,07
UR	24,99 (23,13 – 26,84)	15,84	32,23	0,89	-0,28	15,68	0,24	0,16
DAU	0,43 (0,39 -0,46)	0,32	0,55	0,02	0,26	0,01	-1,05	0,17
PNAT	57,22 (53,77 – 60,68)	45,41	68,44	1,65	-0,26	54,53	-1,05	0,13
RP	10,78 (7,48 – 14,07)	6,27	39,14	1,57	3,77	49,56	15,54	0,43
CE	147,34 (105,35 – 189,32)	21,80	412,0	20,06	1,52	8045,87	2,88	0,61
C	2,27 (1,82 – 2,72)	0,21	4,33	0,22	0,11	0,93	0,25	0,43
N	0,16 (0,13 – 0,19)	0,01	0,30	0,02	0,13	0,00*	0,83	0,42
C/N	13,50 (11,87 – 15,14)	0,00*	17,47	0,78	-3,22	12,24	12,69	0,26
pH _{água}	6,16 (5,90 – 6,42)	5,20	7,51	0,12	0,50	0,31	0,41	0,10
pH KCL	6,19 (5,85 – 6,52)	4,15	7,55	0,16	-0,73	0,52	2,55	0,12
PCZ	6,22 (5,57 – 6,86)	2,66	8,30	0,31	-0,52	1,91	0,82	0,22
FAF	16,06 (13,66 – 18,46)	7,86	26,90	1,15	0,26	26,33	0,21	0,32
FAM	25,68 (22,99 – 28,37)	13,21	34,59	1,29	-0,43	33,00	-0,19	0,22
FAG	13,50 (9,71 – 17,29)	4,32	32,46	1,81	1,19	65,74	0,51	0,60
FARG	29,16 (25,73 – 32,58)	17,42	42,69	1,64	0,13	53,48	-0,70	0,25
FS	15,60 (12,44 – 18,76)	2,26	29,58	1,51	0,30	45,60	0,02	0,43

DA= Densidade Aparente (g/cm³); DR= Densidade Real (g/cm³); DAU= Densidade Aparente Úmida (g/cm³); UR= Umidade Relativa (%); PNAT= Porosidade Natural; RP= Resistência ao Penetrômetro (kPa); CE= Condutividade Elétrica (Ω⁻¹.m⁻¹); C= Carbono (%); N= Nitrogênio (%); C/N= Relação Carbono-Nitrogênio; PCZ= Ponto de Carga Zero; FAF= Fração de Areia Fina (%); FAM= Fração de Areia Média (%); FAG= Fração de Areia Grossa (%); FARG= Fração de Argila (%); FS= Fração de Silte (%); EP= Erro Padrão; ASS= Assimetria; VAR= Variância; CUR= Curtose; CV= Coeficiente de Variação.

* Valores inferiores a 0,01.

A Figura 48 mostra o dendrograma para a densidade aparente do solo, evidenciando a grande dissimilaridade, para este atributo, entre os solos de vegetação e os demais solos estudados. Observa-se a formação de sub-grupos, que mostram maior similaridade entre os solos de cultivo orgânico, cultivo convencional e de pastagem. Entretanto, a similaridade apresentada entre os usos do solo, para os dados não pode ser considerada significativa, uma vez que, os nós ocorrem com valores abaixo de 0,2 na correlação de Pearson.

A Densidade Real (DR) apresentou igualdade estatística entre os solos de vegetação e cultivo convencional e entre os solos de cultivo convencional, cultivo orgânico, pastagem e reflorestamento. A distribuição normal dos dados foi homogênea e o coeficiente de variação demonstra que a variação em torno da média foi baixa.

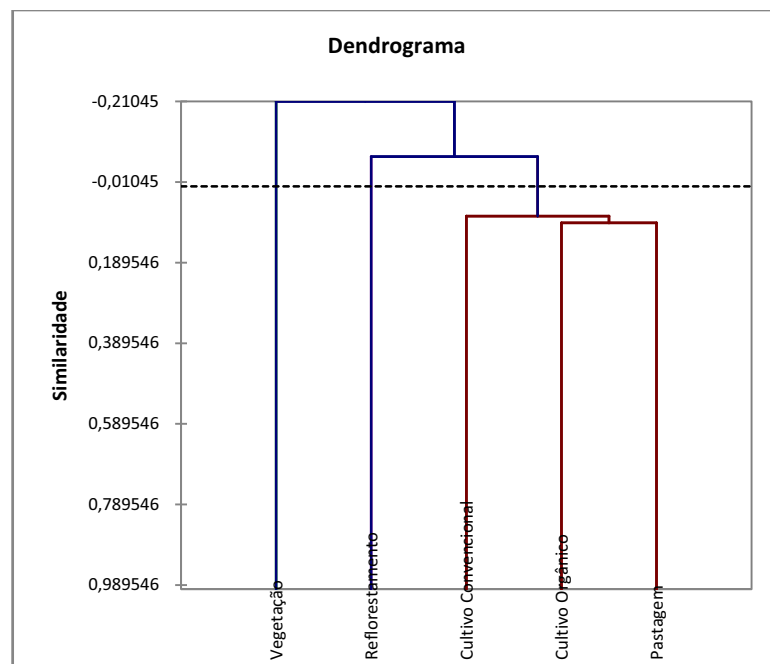


Figura 48. Dendrograma da Análise de Similaridade da Densidade Aparente entre as coberturas de solo analisadas.

A Figura 49 mostra o dendrograma de similaridade para a densidade real de acordo com os usos de solo. Nota-se a formação de três subgrupos, que evidenciam a similaridade da densidade real entre os solos de reflorestamento e de vegetação, dos solos sob cultivo convencional e pastagem e um baixo índice de similaridade para entre os solos de cultivo orgânico e o subgrupo composto pelos solos de pastagem e cultivo convencional.

O dendrograma da Figura 49 mostra correlação de Pearson em torno de 0,30 para os solos dois subgrupos mais similares. Desta forma, mostra-se maior semelhança da densidade das partículas nos solos de vegetação e reflorestamento.

A porosidade dos solos de vegetação mostrou-se mais elevada, sendo maior que os valores dos outros usos. Os valores das pastagens, cultivos orgânicos e cultivos convencionais foram bastante similares. Os valores para o reflorestamento se sobrepuseram aos valores de cultivo orgânico e convencional, sendo maiores que os valores das pastagens. Os resultados mostraram que os solos de vegetação, devido à grande quantidade de vazios e à baixa compactação possuem maior porosidade.

De acordo com Cavenage *et al.* (1999) as áreas de vegetação possuem maiores valores de porosidade, pois, as espécies florestais, em longo prazo, interagem com o solo e proporcionam a melhoria de condições para o seu desenvolvimento.

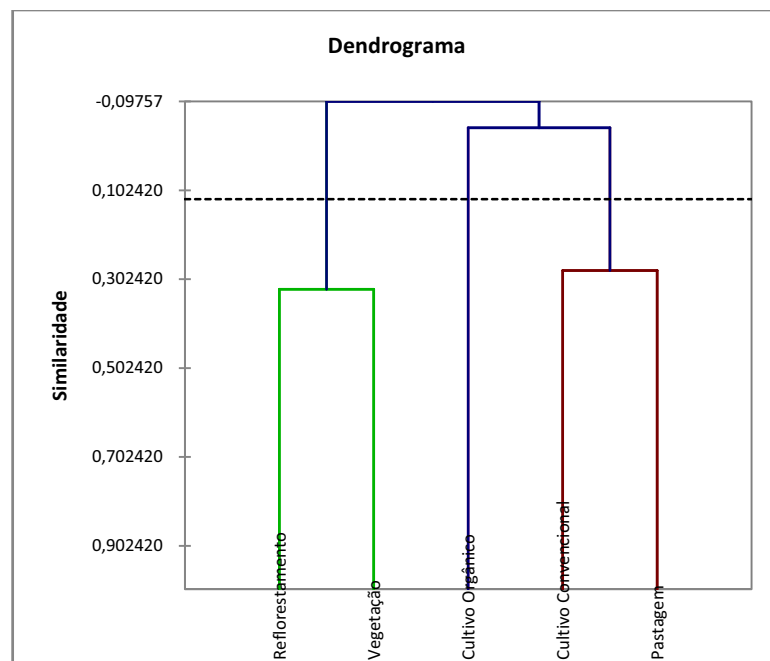


Figura 49. Dendrograma da Análise de Similaridade da Densidade Real entre as coberturas de solo analisadas.

É importante destacar que, apesar da baixa porosidade, as áreas agrícolas (solo exposto e cultivo temporário), são os principais usos que originam a erosão hídrica superficial na área de estudo. Isso ocorre, pois o solo dessas áreas possui pouca proteção vegetal, portanto, mais suscetíveis à ação das águas pluviais. Roth, Castro Filho e Medeiros (1991) mostraram que solos descobertos diminuem a estabilidade de agregados, ocasionando diminuição na infiltração de água e induzindo enxurradas e erosão.

A Figura 50 mostra o dendrograma de similaridade da porosidade natural para os usos de solos estudados. Percebe-se a formação de um subgrupo, com nó em de 0,1, formado pelo cultivo convencional e pelo reflorestamento e outro subgrupo, também com nó em torno de 0,1, formado por cultivo orgânico e pastagem. Como as correlações de Pearson não foram significativas, a principal inferência que se pode extrair deste dendrograma é a dissimilaridade dos solos de vegetação com os demais usos.

Os resultados dos ensaios de resistência ao penetrômetro mostraram maiores valores para os solos de pastagem em comparação com os resultados dos outros usos. Os solos de reflorestamento, cultivo convencional e vegetação, de acordo com a análise estatística, apresentaram sobreposição de intervalos de confiança. Já valores obtidos em solos com cultivo orgânico diferiram dos solos de pastagem e dos solos de reflorestamento, apresentando valores menores. Estes resultados refletem o impacto das pastagens sobre a qualidade dos solos. Porém, deve-se discutir que os resultados obtidos para os solos de vegetação não foram

condizentes com os valores obtidos para a porosidade. Isso pode ser atribuído à grande quantidade de raízes presentes nos solos de vegetação, uma vez que a maioria das áreas amostradas apresentava-se em estágios iniciais ou intermediários de sucessão, com grande quantidade de vegetação arbustiva com raízes superficiais.

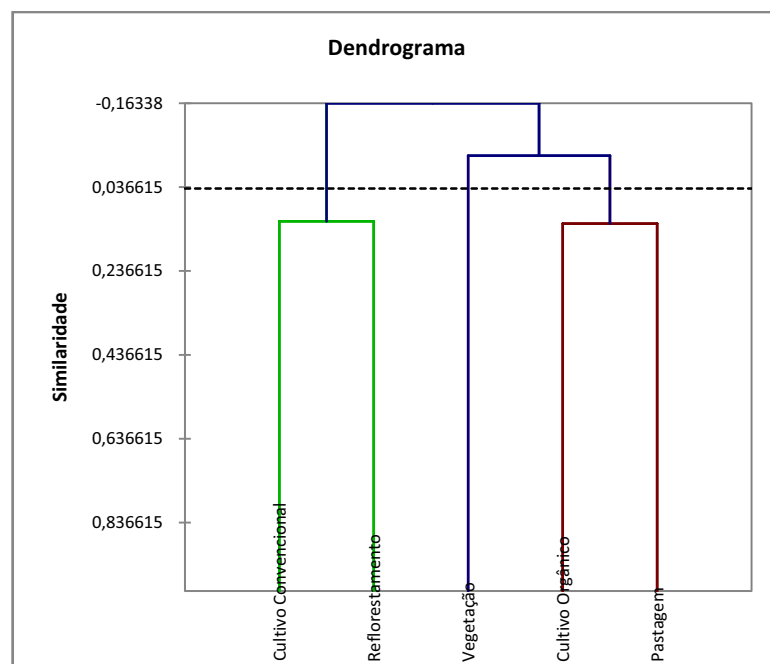


Figura 50. Dendrograma da Análise de Similaridade da Porosidade Natural entre as coberturas de solo analisadas.

Além disso, os solos de cultivo amostrados, em sua totalidade, tinham sido recentemente gradeados, oferecendo baixíssima resistência aos golpes do aparelho, mesmo nas entrelinhas.

Outro aspecto importante dos ensaios de resistência ao penetrômetro é o coeficiente de variação, que se apresentou sempre maior que 40%, indicando grande margem de variação em torno da média. Desta forma, deve-se destacar o alto valor de compactação para solos de pastagem, porém, os resultados devem ser comparados e analisados com atenção aos valores da porosidade, que representa um atributo mais preciso para a avaliação do impacto do uso do solo sobre a compactação.

Os resultados obtidos se assemelham aos encontrados em Centurion, Cardoso e Natale (2001), que comparando a resistência ao penetrômetro de solos sob vegetação, pastagem e cultivos de milho e cana, obtiveram valores mais altos para as áreas de pastagem. Adicionalmente, ao realizarem ensaios de infiltração de água no solo, mostraram a relação

inversa entre a resistência do solo ao penetrômetro e a condutividade hidráulica, evidenciando, assim, a maior ocorrência de escoamento superficial em áreas de solos mais compactados.

Quanto à umidade relativa, os solos de vegetação apresentaram maiores valores, enquanto que os solos de cultivo convencional apresentaram os menores valores. Os solos sob pastagem, reflorestamento e cultivo orgânico não apresentaram diferença estatística. Além disso, os solos de vegetação se mostraram menores, quanto analisada a densidade aparente úmida das amostras. Os solos de pastagem apresentaram valores estatisticamente maiores que os valores dos solos sob reflorestamento.

Com isso, evidencia-se a maior capacidade de retenção de água dos solos sob vegetação, devido aos maiores percentuais de carbono orgânico apresentados, relação estabelecida em Gomes *et al.* (2004).

Dos atributos químicos, destaca-se a regularidade do pH em água, em KCl e do ponto de carga zero, dos solos de cultivos orgânicos e convencionais, o que indica necessidade de adição de insumos para a correção da acidez. Para os solos de reflorestamento e vegetação, entretanto, obteve-se valores indicando maior acidez, o que pode estar relacionado à maior quantidade de matéria orgânica. A análise do percentual de carbono mostrou que os solos de vegetação possuem valores estatisticamente, maiores que os dos solos de pastagem, cultivo convencional e cultivo orgânico. A estimativa intervalar para os solos de reflorestamento se sobrepôs à estimativa dos solos de vegetação, cultivo convencional e pastagem. Porém foi maior que o intervalo de confiança dos solos de cultivo orgânico.

A Figura 51 mostra o dendrograma de similaridade da condutividade elétrica para os solos estudados. Nota-se a formação de 4 subgrupos, com maior similaridade (em torno de 0,2) entre os solos de vegetação e reflorestamento. Existe um nó, muito próximo, que estabelece similaridade entre o cultivo orgânico e os solos de vegetação e reflorestamento, e, outro acima, que indica menor similaridade entre o cultivo convencional e o subgrupo do cultivo orgânico, reflorestamento e vegetação. Destaca-se a maior similaridade entre dos solos de cultivo orgânico aos solos de vegetação, comparativamente com os solos de cultivo convencional.

Tabela 33. Estatística descritiva dos atributos de qualidade do solo em áreas de cultivo convencional, da bacia hidrográfica do rio Paíol, Ibiúna (SP).

Atributos do solo	Média e Estimativa Intervalar	Valor		EP	ASS	VAR	CUR	CV
		Máx.	Mín.					
DA	0,96 (0,86 - 1,06)	0,59	1,29	0,05	0,22	0,04	-0,72	0,21
DR	2,15 (2,10 - 2,20)	1,92	2,38	0,02	0,03	0,01	0,89	0,05
UR	19,51 (16,16 - 22,86)	2,65	34,38	1,60	-0,56	48,36	1,46	0,36
DAU	0,45 (0,40 - 0,49)	0,26	0,59	0,02	0,04	0,01	-0,48	0,20
PNAT	55,49 (51,11 - 59,86)	40,81	73,89	2,08	-0,04	82,45	-0,48	0,16
RP	19,09 (13,13 - 25,05)	6,27	58,31	2,84	1,95	152,93	4,87	0,65
CE	194,59 (147,44 - 241,75)	40,50	485,00	22,45	1,35	9573,59	3,45	0,50
C	2,40 (1,62 - 3,17)	0,97	8,18	0,37	2,73	2,58	9,63	0,67
N	0,16 (0,12 - 0,20)	0,06	0,45	0,02	1,93	0,01	6,01	0,53
C/N	13,48 (11,73 - 15,22)	0,00	18,34	0,83	-2,99	13,07	11,71	0,27
pH _{água}	6,10 (7,73 - 6,47)	5,13	8,21	0,17	1,27	0,58	1,96	0,12
pH KCL	6,26 (5,89 - 6,62)	5,05	7,69	0,17	0,15	0,56	-0,84	0,12
PCZ	6,41 (5,74 - 7,09)	4,19	8,91	0,32	0,11	1,96	-0,93	0,22
FAF	15,65 (12,89 - 18,42)	9,53	30,34	1,32	1,53	32,94	1,64	0,37
FAM	22,12 (18,57 - 25,68)	9,70	38,82	1,69	0,28	54,47	0,04	0,33
FAG	14,95 (11,25 - 18,65)	4,53	34,47	1,76	1,02	58,88	1,17	0,51
FARG	27,37 (23,59 - 31,14)	8,79	41,17	1,80	-0,19	61,36	0,76	0,29
FS	19,90 (15,18 - 24,63)	2,19	41,40	2,25	0,32	96,12	0,40	0,49

DA= Densidade Aparente (g/cm³); DR= Densidade Real (g/cm³); DAU= Densidade Aparente Úmida (g/cm³); UR= Umidade Relativa (%); PNAT= Porosidade Natural; RP= Resistência ao Penetrômetro (kPa); CE= Condutividade Elétrica (Ω⁻¹.m⁻¹); C= Carbono (%); N= Nitrogênio (%); C/N= Relação Carbono-Nitrogênio; PCZ= Ponto de Carga Zero; FAF= Fração de Areia Fina (%); FAM= Fração de Areia Média (%); FAG= Fração de Areia Grossa (%); FARG= Fração de Argila (%); FS= Fração de Silte (%); EP= Erro Padrão; ASS= Assimetria; VAR= Variância; CUR= Curtose; CV= Coeficiente de Variação.

* Valores inferiores a 0,01.

Os solos de vegetação também apresentaram teores de nitrogênio mais elevados que os demais usos de solo. No entanto, a relação carbono/nitrogênio, o único uso que não teve estimativa intervalar sobreposta às demais, foi o reflorestamento, com valores maiores. O que pode ser atribuído, de acordo com Perez, Ramos e McManus (2005) à origem da matéria orgânica dos solos, resultante da decomposição de plantas e animais, em geral compostos por carbono e nitrogênio.

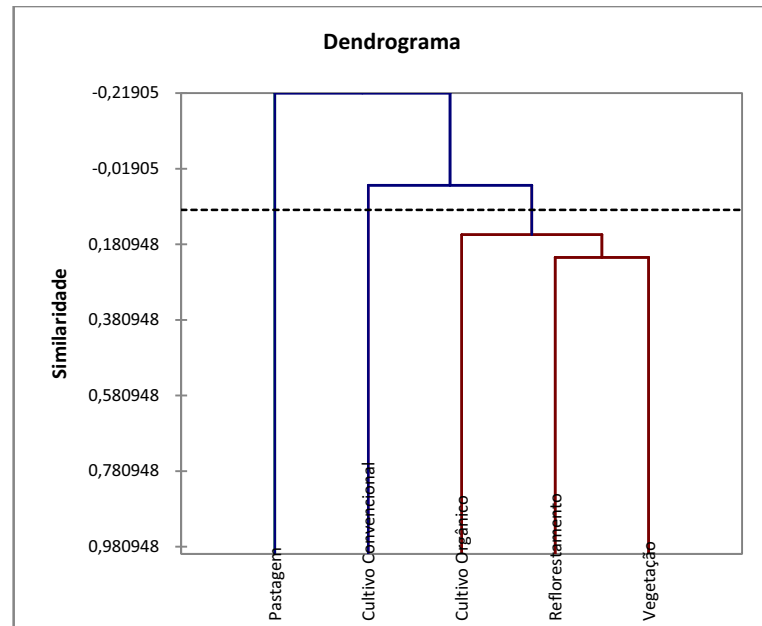


Figura 51. Dendrograma da Análise de Similaridade da Condutividade Elétrica entre as coberturas de solo analisadas.

A Figura 52 apresenta o dendrograma do percentual de carbono para os usos de solo estudados. Observação grande similaridade entre os solos de vegetação e cultivo orgânico, resultado distinto do apontado pela análise da estatística descritiva. Nota-se também a formação de um subgrupo composto por cultivo convencional e pastagem, porém, com menor similaridade. Bem como, o que indica o nó entre o reflorestamento e o subgrupo composto por vegetação e cultivo orgânico.

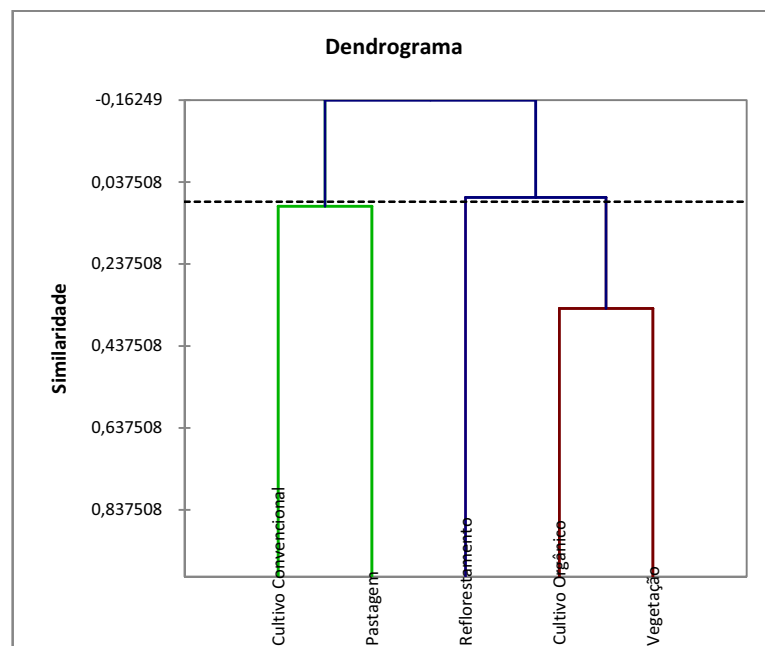


Figura 52. Dendrograma da Análise de Similaridade do Percentual de Carbono entre as coberturas de solo analisadas.

Desta forma, através da análise de similaridade, pode-se afirmar que o cultivo orgânico possui percentual de carbono que se assemelha mais ao de uma situação ideal, que os solos de cultivo convencional.

Tabela 34. Estatística descritiva dos atributos de qualidade do solo em áreas de reflorestamento, das bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Atributos do solo	Média e Estimativa Intervalar	Valor		EP	ASS	VAR	CUR	CV
		Máx.	Mín.					
DA	0,84 (0,77 - 0,91)	0,54	1,05	0,03	-0,53	0,02	-0,60	0,18
DR	2,23 (2,17 - 2,29)	2,00	2,38	0,03	-0,64	0,02	-0,60	0,06
UR	25,02 (23,28 - 26,75)	17,39	32,14	0,83	-0,12	13,71	0,24	0,15
DAU	0,38 (0,35 - 0,41)	0,25	0,50	0,02	-0,17	0,01	-0,79	0,19
PNAT	62,11 (58,74 - 65,49)	50,10	74,50	1,61	0,17	52,04	-0,79	0,12
RP	19,71 (16,01 - 23,41)	11,07	40,05	1,77	1,08	62,53	0,81	0,40
CE	90,23 (75,76 - 104,69)	44,10	165,80	6,91	0,54	955,69	0,34	0,34
C	3,53 (2,77 - 4,30)	1,32	7,45	0,36	1,04	2,66	0,43	0,46
N	0,21 (0,18 - 0,24)	0,11	0,34	0,02	0,56	0,00	-0,79	0,34
C/N	16,46 (15,24 - 17,68)	11,95	22,63	0,58	0,77	6,81	0,48	0,16
pH _{água}	5,05 (4,65 - 5,45)	3,80	7,12	0,19	0,94	0,74	0,28	0,17
pH KCL	4,91 (4,35 - 5,47)	3,34	6,59	0,27	0,11	1,42	-1,81	0,24
PCZ	4,77 (3,85 - 5,69)	1,56	7,56	0,44	-0,02	3,87	-1,42	0,41
FAF	13,20 (10,46 - 15,93)	5,69	26,27	1,31	0,74	34,12	0,04	0,44
FAM	23,74 (18,97 - 28,51)	9,79	46,21	2,28	1,08	104,05	0,54	0,43
FAG	13,00 (10,53 - 17,47)	2,61	27,00	1,66	0,24	54,85	-0,97	0,53
FARG	34,89 (30,71 - 39,07)	18,89	51,61	2,00	0,10	79,60	-0,68	0,26
FS	14,17 (10,61 - 17,74)	3,41	29,70	1,70	0,55	58,08	-0,55	0,54

DA= Densidade Aparente (g/cm³); DR= Densidade Real (g/cm³); DAU= Densidade Aparente Úmida (g/cm³); UR= Umidade Relativa (%); PNAT= Porosidade Natural; RP= Resistência ao Penetrômetro (kPa); CE= Condutividade Elétrica (Ω⁻¹.m⁻¹); C= Carbono (%); N= Nitrogênio (%); C/N= Relação Carbono-Nitrogênio; PCZ= Ponto de Carga Zero; FAF= Fração de Areia Fina (%); FAM= Fração de Areia Média (%); FAG= Fração de Areia Grossa (%); FARG= Fração de Argila (%); FS= Fração de Silte (%); EP= Erro Padrão; ASS= Assimetria; VAR= Variância; CUR= Curtose; CV= Coeficiente de Variação.

* Valores inferiores a 0,01.

A Figura 53 mostra o dendrograma para o percentual de nitrogênio, nota-se o mesmo padrão descrito para a Figura 52, com similaridade significativa entre os solos de cultivo orgânico e os solos de vegetação. Evidencia-se mais uma vez maior semelhança das condições existentes entre os solos sob cultivos orgânicos e os solos de vegetação, comparativamente com os solos sob cultivo convencional.

A Figura 54 apresenta o dendrograma para a relação carbono/nitrogênio, evidenciando similaridade entre os solos de cultivo convencional e solos de pastagem e similaridade mais significante entre os solos de reflorestamento e os solos de vegetação. Apesar de não

apresentar similaridade significativa, mais uma vez os solos sob cultivo orgânico se apresentaram mais similares aos solos de vegetação que os solos sob cultivo convencional.

As análises granulométricas não apresentaram diferenças estatísticas para as frações de areia nem para as frações de silte, entre os usos do solo. Porém houve diferença nas frações de argila, sendo que os solos de reflorestamento apresentaram valores mais elevados que os apresentados para os solos sob vegetação. Das 100 amostras, 7 solos tiveram sua textura classificada como Arenosa, 15 como Argilosa e 78 como média. Nota-se boa distribuição entre as frações que compõem o solo. Não houve correlação expressiva entre a textura e o uso do solo, o que, segundo Beutler *et al.* (2001) ocorre devido à estabilidade dessas características do solo, que não sofrem alterações a curta prazo.

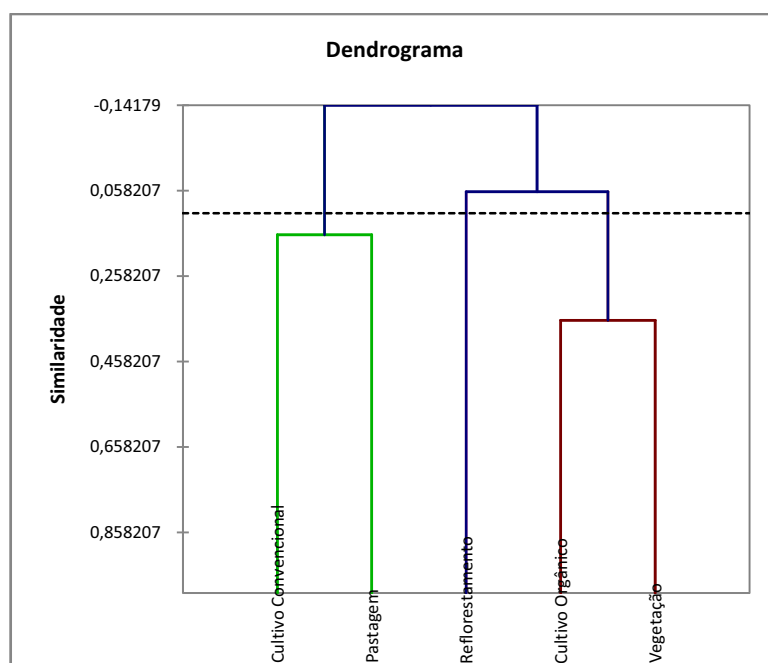


Figura 53. Dendrograma da Análise de Similaridade do Percentual de Nitrogênio entre as coberturas de solo analisadas.

Além disso, os dados mostrados nas Tabelas de 32 a 36 evidenciam o comportamento das curvas de distribuição das amostras. A análise dos dados da Tabela 32, que apresenta os atributos de solos de agricultura orgânica, mostra que apenas a Fração de Argila, a Umidade Relativa, o Potencial de Carga Zero, o pH em água e o percentual de Carbono possuem distribuição normal. Já para os dados da Tabela 33, que mostram os atributos de solos de cultivo convencional, apenas a Fração de Areia Média, o pH em KCl, a Porosidade Natural e a Densidade Aparente úmida possuem distribuição normal.

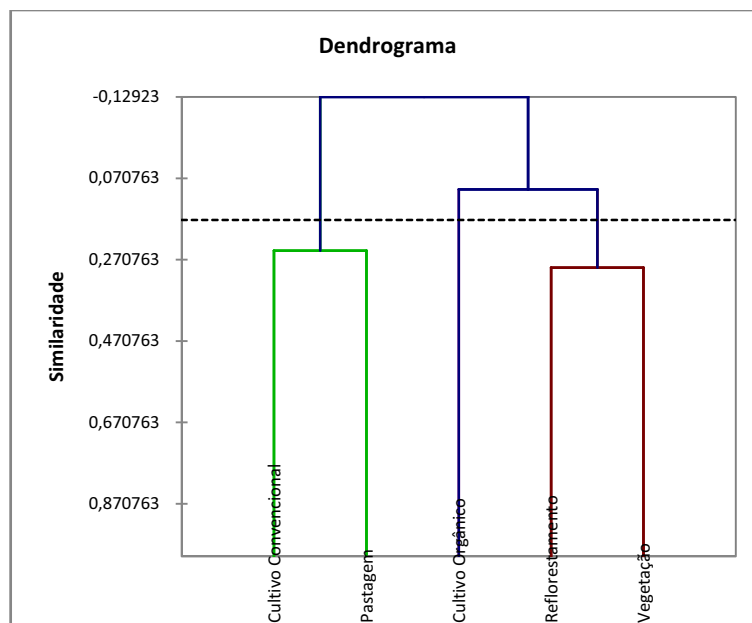


Figura 54. Dendrograma da Análise de Similaridade da Relação Carbono/Nitrogênio entre as coberturas de solo analisadas.

Tabela 35. Estatística descritiva dos atributos de qualidade do solo em áreas de vegetação, das bacias hidrográficas dos rios Paol e Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

Atributos do solo	Média e Estimativa Intervalar	Valor		EP	ASS	VAR	CUR	CV
		Máx.	Mín.					
DA	0,64 (0,56 - 0,72)	0,30	1,09	0,04	0,62	0,03	1,95	0,26
DR	2,05 (1,98 - 2,12)	1,82	2,27	0,03	0,37	0,02	-1,12	0,07
UR	33,44 (29,19 - 37,69)	15,67	49,62	2,04	-0,01	87,27	-0,91	0,28
DAU	0,31 (0,28 - 0,34)	0,16	0,48	0,01	-0,01	0,00	1,70	0,22
PNAT	68,90 (65,83 - 71,97)	52,01	84,08	1,47	0,01	45,51	1,70	0,10
RP	16,99 (13,85 - 20,12)	7,64	33,66	1,50	1,12	47,40	1,26	0,41
CE	152,80 (124,43 - 181,17)	11,60	278,00	13,60	-0,31	3885,62	0,30	0,41
C	4,92 (3,98 - 5,85)	1,38	9,16	0,45	0,29	4,21	-0,38	0,42
N	0,35 (0,29 - 0,41)	0,11	0,60	0,03	-0,20	0,02	-0,41	0,38
C/N	13,96 (13,31 - 14,61)	11,94	17,61	0,31	0,78	2,02	0,49	0,10
pH _{água}	5,18 (4,86 - 5,51)	4,26	6,64	0,16	0,89	0,51	-0,11	0,14
pH KCL	4,77 (4,25 - 5,28)	3,65	7,51	0,25	1,12	1,27	0,16	0,24
PCZ	4,35 (3,48 - 5,22)	0,98	9,24	0,42	0,94	3,63	1,03	0,44
FAF	18,17 (12,92 - 23,43)	5,08	55,66	2,52	1,80	133,35	4,45	0,64
FAM	21,82 (16,91 - 26,73)	2,89	58,68	2,35	1,77	116,25	6,59	0,49
FAG	15,57 (11,82 - 19,32)	3,58	29,16	1,80	0,02	67,91	-1,42	0,53
FARG	24,24 (20,18 - 28,30)	2,90	38,54	1,94	-0,46	79,44	0,09	0,37
FS	20,20 (14,46 - 25,94)	5,63	58,41	2,75	1,62	158,98	3,14	0,62

DA= Densidade Aparente (g/cm³); DR= Densidade Real (g/cm³); DAU= Densidade Aparente Úmida (g/cm³); UR= Umidade Relativa (%); PNAT= Porosidade Natural; RP= Resistência ao Penetrômetro (kPa); CE= Condutividade Elétrica (Ω⁻¹.m⁻¹); C= Carbono (%); N= Nitrogênio (%); C/N= Relação Carbono-Nitrogênio; PCZ= Ponto de Carga Zero; FAF= Fração de Areia Fina (%); FAM= Fração de Areia Média (%); FAG= Fração de Areia Grossa (%); FARG= Fração de Argila (%); FS= Fração de Silte (%); EP= Erro Padrão; ASS= Assimetria; VAR= Variância; CUR= Curtose; CV= Coeficiente de Variação.

Analisando a Tabela 34, que apresenta os dados de solos de reflorestamento, a Fração de Argila, a Condutividade Elétrica, a Porosidade Natural e a Densidade Aparente Úmida apresentam características que se aproximam de uma distribuição normal. Os dados da Tabela 34, dos atributos de solos de vegetação, mostra que a Fração de Argila, Umidade Relativa e percentual de Nitrogênio possuem características que descrevem uma distribuição normal.

A análise dos atributos de solo de pastagem, mostrados na Tabela 36, evidenciam que a Fração de Argila, Fração de Areia Média e o pH em KCl, possuem características que descrevem uma situação próxima a uma distribuição normal.

Nota-se que a grande maioria dos dados das amostras não possui distribuição normal, o que, de acordo com Stork *et al.* (2000), não permite a realização de nenhum teste paramétrico para os dados. Desta forma, foi executado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, que não que todos os atributos, separados de acordo com a cobertura do solo, possuem baixa probabilidade de serem derivados da mesma população.

Tabela 36. Estatística descritiva dos atributos de qualidade do solo em áreas de pastagem, das bacias hidrográficas dos rios Paíol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Atributos do solo	Média e Estimativa Intervalar	Valor		EP	ASS	VAR	CUR	CV
		Máx.	Mín.					
DA	1,01 (0,95 - 1,08)	0,60	1,21	0,02	0,03	-1,33	2,73	0,14
DR	2,23 (2,18 - 2,27)	2,04	2,44	0,01	0,02	0,06	0,60	0,04
UR	24,94 (21,40 - 28,48)	12,02	50,64	57,24	1,69	2,02	7,01	0,30
DAU	0,46 (0,42 - 0,49)	0,29	0,54	0,00	0,01	-0,81	0,71	0,15
PNAT	54,43 (51,33 - 57,53)	45,74	71,34	43,89	1,48	0,81	0,71	0,12
RP	37,59 (28,34 - 46,84)	12,66	85,70	390,65	4,42	0,78	0,09	0,53
CE	106,05 (74,97 - 137,13)	10,30	280,00	4409,20	14,85	1,36	1,86	0,63
C	2,71 (2,13 - 3,28)	1,12	6,64	1,52	0,28	1,75	4,52	0,46
N	0,19 (0,15 - 0,23)	0,08	0,45	0,01	0,02	1,50	2,96	0,45
C/N	14,37 (13,52 - 15,22)	11,83	19,80	3,28	0,40	1,23	3,17	0,13
pH _{água}	5,68 (5,33 - 6,04)	4,55	7,28	0,58	0,17	0,70	0,05	0,13
pH KCL	6,07 (5,64 - 6,49)	4,35	7,51	0,82	0,20	-0,36	-0,78	0,15
PCZ	6,45 (5,75 - 7,15)	3,53	8,51	2,23	0,33	-0,58	-0,71	0,23
FAF	12,74 - 10,04 - 15,43)	1,58	27,32	33,10	1,29	0,22	1,63	0,45
FAM	22,28 (18,44 - 26,12)	7,57	37,01	67,31	1,83	-0,06	-0,52	0,37
FAG	11,69 (8,92 - 14,47)	3,28	27,80	35,23	1,33	1,20	1,39	0,51
FARG	31,42 (25,86 - 36,97)	12,30	53,66	140,73	2,65	0,23	-0,68	0,38
FS	21,87 (17,69 - 26,05)	9,87	46,08	79,77	2,00	0,97	1,34	0,41

DA= Densidade Aparente (g/cm³); DR= Densidade Real (g/cm³); DAU= Densidade Aparente Úmida (g/cm³); UR= Umidade Relativa (%); PNAT= Porosidade Natural; RP= Resistência ao Penetrômetro (kPa); CE= Condutividade Elétrica ($\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$); C= Carbono (%); N= Nitrogênio (%); C/N= Relação Carbono-Nitrogênio; PCZ= Ponto de Carga Zero; FAF= Fração de Areia Fina (%); FAM= Fração de Areia Média (%); FAG= Fração de Areia Grossa (%); FARG= Fração de Argila (%); FS= Fração de Silte (%); EP= Erro Padrão; ASS= Assimetria; VAR= Variância; CUR= Curtose; CV= Coeficiente de Variação.

* Valores inferiores a 0,01.

A cor dos solos das bacias hidrográficas estudadas é bastante variada, tendo sido encontradas, dentre as 100 amostras, 26 tonalidades do matiz apresentados na Carta de Munsell. Destacam-se as cores bruno (19 ocorrências), bruno-amarelado (13), bruno-amarelado-claro (11) e amarelo-avermelhado (10) como as mais recorrentes.

Os solos de vegetação foram classificados, basicamente como: bruno (8), bruno-acinzentado-escuro (4) e bruno-acinzentado-muito-escuro (3). As áreas de reflorestamento apresentaram principalmente solos bruno (6) e bruno-forte (4). Os demais usos de solo classificados na região não apresentaram um padrão ou maioria expressiva de uma cor de solo.

Observou-se que os solos com tonalidades mais escuras, apresentaram-se associados às áreas de vegetação ou reflorestamento, o que sugere alto teor de matéria orgânica no solo. Canellas *et al.* (2000) encontrou alta correlação entre a quantidade de matéria orgânica do solo e a cor, atribuindo aos grupamentos funcionais insaturados covalentes a maior influência sobre a intensidade da cor do solo.

Com isso, a partir deste atributo, pode-se inferir características físicas dos solos, como a susceptibilidade à erosão, uma vez que, segundo Wendling *et al.* (2005) a existência de substância com ação cimentante é fundamental para o aumento a formação de agregados.

Desta forma, por meio das análises dos atributos dos solos, pode-se deduzir que a vegetação possui papel muito importante para a prevenção de ocorrência de processos erosivos. Pois, além de minimizar o efeito *splash*, provendo uma barreira mecânica no caminho entre a gota de chuva e o solo, proporciona o desenvolvimento de condições de solo mais resistentes à ação aos processos erosivos.

Além disso, não foi observada diferença estatisticamente significante entre o cultivo orgânico e o convencional, para os atributos analisados. O que pode estar ligado à semelhança nos processos de preparo do solo para as duas formas de manejo. Com isso, descarta-se a premissa de que o cultivo orgânico viabiliza recuperação mais rápida das características do solo.

No entanto, as análises de similaridade por meio dos Clusters Aglomerativos Hierárquicos mostraram maior semelhança entre os solos de cultivo orgânico com os solos de vegetação, comparativamente com os solos de cultivo convencional, para os atributos relacionados à matéria orgânica dos solos. Isto pode estar relacionado aos tratos culturais, que utilizam excrementos animais, ricos em carbono e nitrogênio, para a adubação.

6.3 Estoque de Carbono dos Solos

A Figura 55 mostra as estimativas intervalares com 95% de confiança para os estoques de carbono dos solos, de acordo com o seu uso. Observa-se que a única diferença estatística ocorre entre os solos de vegetação e cultivo convencional. Essa distinção de estoque de carbono entre os usos pode ser atribuída ao intenso uso das áreas de cultivo convencional, que, comumente não utiliza fontes orgânicas para adubação da terra, se restringindo ao uso de adubos minerais. Além disso, em nenhuma das áreas de cultivo convencional é empregada a técnica de plantio direto, que, de acordo com Bayer *et al.* (2004) aumenta os estoques de carbono, se comparado aos preparos convencionais.

Pode-se perceber que os valores de estoque de carbono apresentados na Figura 54 são maiores que os obtidos por Dieckow *et al.* (2009) e Neves *et al.* (2004) em área de Cerrado brasileira, semelhantes aos resultados de mata nativa e arbustiva obtidos por Stürmer *et al.* (2007) e áreas florestais obtidos por Mafra *et al.* (2008) em regiões de campos brasileiras. As comparações foram realizadas para valores relativos à profundidade de 10 cm.

Destaca-se também a grande amplitude da estimativa intervalar do estoque de carbono em solos de cultivo orgânico. O que pode estar relacionado à grande variedade de formas de preparo do solo. Além disso, o estágio do cultivo também pode ter interferência nesses resultados, devido à aplicação de esterco durante o preparo do solo, antes do plantio.

A igualdade estatística entre os usos do solo pode ser explicada pela grande persistência do carbono no solo, após a retirada da vegetação nativa. Desta forma, pode-se atribuir parte dos estoques de carbono nas áreas de uso antrópico às vegetações nativas que se constituíam anteriormente ao uso atual. Este fator pode ser confirmado com a análise de isótopos de carbono.

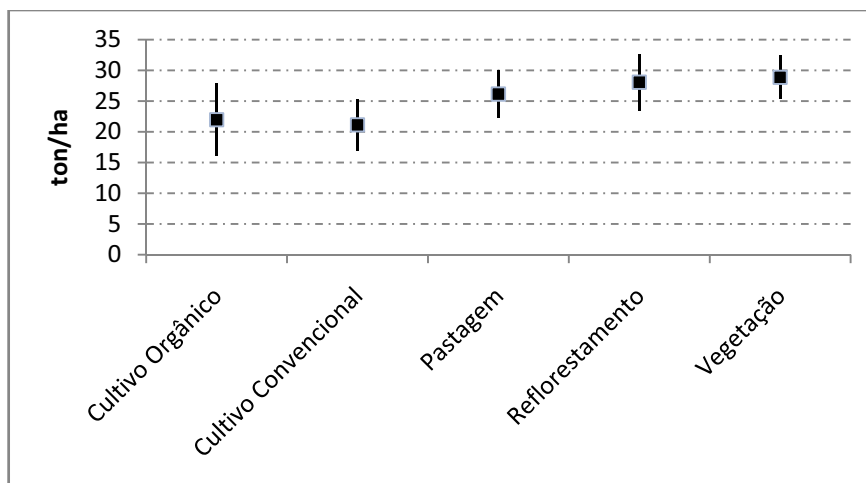


Figura 55. Gráfico das estimativas intervalares de estoque de carbono dos solos, de acordo com sua cobertura.

A principal inferência que pode ser extraída da análise dos resultados de estoque de carbono do solo é a importância da vegetação nativa para a preservação do carbono no solo. O que é um fator muito relevante para a amenização dos processos erosivos.

6.4 Condutividade Hidráulica

Os ensaios de infiltração permitiram o cálculo da vazão e da condutividade hidráulica de acordo com o uso do solo (Tabela 37). Os ensaios realizados em solos de cultivo orgânico e convencional não permitiram a identificação de fluxo constante, impossibilitando o cálculo da vazão e, conseqüentemente, da condutividade hidráulica. O que pode ser explicado pelo método do ensaio, que consistiu na avaliação da infiltração de água na camada superficial do solo, que, em áreas agrícolas sofre tratamento mecânico, para aumento do número de vazios. Desta forma, não foi possível observar diferenças quanto à condutividade hidráulica entre solos de cultivo orgânico e cultivo convencional.

Tabela 37. Vazão e condutividade hidráulica de acordo com o uso do solo nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Coberturas do Solo	Bacia Hidrográfica do Rio Paiol		Bacia Hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu	
	Q (cm/s)	K (m/s)	Q (cm/s)	K (m/s)
Pastagem	2,57	4,17 x10 ⁻⁶	2,31	3,75 x10 ⁻⁶
Reflorestamento	4,36	7,09x10 ⁻⁶	4,87	7,92 x10 ⁻⁶
Vegetação	5,13	8,34x10 ⁻⁶	5,39	8,76 x10 ⁻⁶
Cultivo Orgânico	-	-	-	-
Cultivo Convencional	-	-	-	-

Observando a Tabela 37, nota-se que houve grande diferença na vazão e consequentemente na condutividade hidráulica, entre os solos sob vegetação nativa, reflorestamento e pastagem, para as duas bacias. Não houve grandes variações entre os valores observados para os solos sob mesmo uso. Sendo assim, foram obtidos valores de vazão e condutividade hidráulica menores para solos de pastagem, comparando-se com os valores obtidos para solos de reflorestamento e solos de vegetação.

Nota-se que, apesar de menor que os valores obtidos para solos de vegetação nativa, os solos sob reflorestamento apresentaram condutividade hidráulica muito superior aos valores apresentados pelos solos sob pastagem. Destaca-se que, o reflorestamento amostrado na bacia do rio Paiol consistia em um plantio de eucalipto e que o reflorestamento amostrado na bacia do Alto rio Sorocabaçu era composto por pinus. O que, pode explicar a diferença de 0,51 cm/s para as vazões obtidas. Pinheiro, Teixeira e Kaufman (2009) estudaram a condutividade hidráulica em diferentes usos de solo, e também obtiveram valores mais elevados para solos sob reflorestamento de pinus.

Os baixos valores de condutividade hidráulica dos solos sob pastagem podem ser atribuídos ao intenso pisoteio do gado, assim como em Souza e Alves (2003), que avaliaram a condutividade hidráulica em solos de diversos usos, encontrando valores muito baixos para áreas de pastagem. Os autores atribuem esse resultado ao processo de compactação, que modifica a distribuição das partículas no solo, provocando a diminuição do tamanho dos poros e, consequentemente, redução na área da seção transversal para o fluxo de água.

A maior condutividade hidráulica obtida para os solos sob vegetação nativa também pode ser observada na literatura (ASSIS e LANÇAS, 2005; SILVA e RIBEIRO, 1997), o que evidencia a maior capacidade de infiltração de água em solos com cobertura vegetal e menor intensidade de uso. Pode-se afirmar que, comparativamente, em áreas de pastagem ocorre maior escoamento superficial, que em áreas de vegetação nativa e reflorestamento.

Desta forma, os ensaios de condutividade hidráulica evidenciaram que os solos de pastagem são mais suscetíveis a processos erosivos que solos de reflorestamento e vegetação nativa. Este é um importante resultado que subsidia o planejamento do uso e ocupação das áreas de estudo, pois, considerando a maior capacidade de infiltração dos solos de pastagem, é importante que se limite a ocorrência desse tipo de cobertura de solo em áreas com declividade acentuada, o que pode alterar a dinâmica hidrossedimentológica das bacias hidrográficas.

6.5 Funções de Pedotransferência

A Tabela 38 mostra os coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos considerados de difícil obtenção (percentual de carbono, percentual de nitrogênio, fração de silte e fração de argila) e os demais atributos de solo analisados. Nota-se, em destaque, as correlações consideradas significativas. Desta forma, pode-se observar que há grande correlação entre a densidade aparente, umidade relativa, porosidade, pH em água, pH em KCl, potencial de carga zero, condutividade elétrica e densidade aparente úmida e os percentuais de carbono e nitrogênio. Bem como entre a condutividade elétrica e as frações de areia fina, média e grossa e a fração de silte; e entre a densidade real, a condutividade elétrica, o pH em água e as frações de areia fina e média e a fração de argila.

Tabela 38. Matriz dos Coeficientes de Correlação de Pearson entre o percentual de Carbono, percentual de Nitrogênio, Fração de Silte e Fração de Argila e os demais atributos de solo analisados.

Atributos do solo	%Carbono	%Nitrogênio	Fração de Silte	Fração de Argila
Densidade Aparente (g/cm ³)	-0,721	-0,728	-0,102	0,079
Densidade Real (g/cm ³)	-0,416	-0,499	-0,070	0,226
Densidade Aparente Úmida (g/cm ³)	-0,669	-0,656	-0,086	0,024
Porosidade Natural	0,669	0,656	0,086	-0,024
Condutividade Elétrica	0,224	0,282	0,263	-0,324
Resistência ao Penetrômetro (kPa)	-0,011	-0,011	0,169	0,178
pH em água	-0,427	-0,363	0,025	-0,268
pH em KCl	-0,471	-0,436	0,000	-0,019
Ponto de Carga Zero	-0,389	-0,374	-0,011	0,100
Umidade Relativa (%)	0,743	0,778	0,115	-0,062
Fração de Areia Fina (%)	0,044	0,059	-0,227	-0,477
Fração de Areia Média (%)	-0,071	-0,105	-0,522	-0,443
Fração de Areia Grossa (%)	-0,042	-0,011	-0,327	-0,167

Valores em negrito indicam correlação significativa.

A Tabela 39 mostra os coeficientes de determinação (R^2) entre os atributos considerados de difícil obtenção (percentual de carbono, percentual de nitrogênio, fração de silte e fração de argila) e os demais atributos de solo analisados. Em destaque estão os coeficientes de determinação entre os atributos de solo que apresentaram coeficientes de correlação de Pearson significativos. Desta forma, observa-se o grau de explicação entre os atributos desejados e os demais atributos analisados.

A análise das duas Tabelas (38 e 39) indica quais dos atributos poderão obter melhores resultados no estabelecimento de equações de predição.

Além disso, os dados mostrados nas Tabelas de 32 a 36 evidenciam o comportamento das curvas de distribuição das amostras. A análise dos dados da Tabela 32, que apresenta os atributos de solos de agricultura orgânica, mostra que apenas a Fração de Argila, a Umidade Relativa, o Potencial de Carga Zero, o pH em água e o percentual de Carbono possuem distribuição normal. Já para os dados da Tabela 33, que mostram os atributos de solos de cultivo convencional, apenas a Fração de Areia Média, o pH em KCl, a Porosidade Natural e a Densidade Aparente úmida possuem distribuição normal.

Com base nos coeficientes de correlação de Pearson e de determinação, realizou-se as regressões e obteve-se as equações e respectivos (R^2), mostrados na Tabela 40. Foram geradas 22 equações, sendo que apenas duas têm como variáveis dependentes a fração silte e a fração argila, sete são para o percentual de nitrogênio e onze são para o percentual de carbono.

Tabela 39. Matriz dos Coeficientes de determinação (r^2) da correlação de Pearson entre o percentual de Carbono, percentual de Nitrogênio, Fração de Silte e Fração de Argila e os demais atributos de solo analisados.

Atributos do solo	%Carbono	%Nitrogênio	Fração de Silte	Fração de Argila
Densidade Aparente (g/cm ³)	0,520	0,530	0,010	0,006
Densidade Real (g/cm ³)	0,173	0,249	0,005	0,051
Densidade Aparente Úmida (g/cm ³)	0,447	0,431	0,007	0,001
Porosidade Natural	0,447	0,431	0,007	0,001
Condutividade Elétrica	0,050	0,079	0,069	0,105
Resistência ao Penetrômetro (kPa)	0,000	0,000	0,028	0,032
pH em água	0,182	0,132	0,001	0,072
pH em KCl	0,222	0,190	0,000	0,000
Ponto de Carga Zero	0,151	0,140	0,000	0,010
Umidade Relativa (%)	0,552	0,606	0,013	0,004
Fração de Areia Fina (%)	0,002	0,003	0,052	0,228
Fração de Areia Média (%)	0,005	0,011	0,272	0,196
Fração de Areia Grossa (%)	0,002	0,000	0,107	0,028

Valores em negrito indicam correlação significativa.

Das duas equações geradas para descrever a fração silte, uma estabelece relação linear com as frações de areia fina, média e grossa. Outra estabelece relação exponencial com a fração de areia média. Para a fração argila, as equações geradas estabeleceram relação linear com as frações de areia fina e média; e relação exponencial com a fração de areia fina.

Os percentuais de carbono e de nitrogênio foram relacionados nas equações com a densidade aparente, densidade real, porosidade natural, densidade aparente úmida, umidade relativa, pH em água, pH em KCl e condutividade elétrica. Sendo que, para estes atributos foram obtidos os mais significantes coeficientes de determinação: 0,78 (nitrogênio) e 0,717

(carbono), mostrando um grande grau de explicação das variáveis dependentes (percentual de carbono e percentual de nitrogênio) pelas variáveis independentes.

As relações explicitadas pelas equações da Tabela 40 podem ser explicadas por fenômenos naturais, inerentes às características dos solos. Como é o caso das relações entre as frações de silte e argila e as frações de areia (fina, média e grossa), que podem ser explicadas pela forma de obtenção dos dados (análise granulométrica) e pela dependência das variáveis, por se tratarem de frações que compõem a textura do solo.

Já as relações entre os percentuais de carbono e nitrogênio e os atributos relacionados com o pH do solo (pH em água, pH em KCl e PCZ), podem ser respondidos pela interferência desses elementos químicos ao reagir com outras substâncias presentes no solo (água por exemplo), que podem acarretar na formação de substância que alterar o pH do solo.

Tabela 40. Funções de Pedotransferência e respectivos coeficientes de determinação.

Equações	Coefficiente de Determinação (R ²)
$N = 1.968 + (1.5824 \times DA) - (0.7713 \times DR) - (3.7400 \times DAU) + (5.7447 \times 10^{-3} \times UR) - (1.9026 \times 10^{-2} \times pH_{\text{água}}) - (6.6284 \times 10^{-3} \times pHKCl) + (2.9117 \times 10^{-4} \times CE)$	0,780
$C = 22.9796 + (15.5586 \times DA) - (7.8444 \times DR) - (39.3071 \times DAU) + (7.9841 \times 10^{-2} \times UR) - (0.4566 \times pH_{\text{água}}) - (0.1109 \times pHKCl) + (4.2788 \times 10^{-3} \times CE)$	0,717
$C = 3.4930 + (0.1075 \times UR) - (3.4918 \times DA)$	0,640
$N = 2.1557 \times 10^{-3} \times UR^{1.4096}$	0,629
$N = -7.5361 \times 10^{-2} + (1.1347 \times 10^{-2} \times UR)$	0,606
$N = 0.1693 \times (DA^{-1.2090})$	0,593
$C = 3.2793 \times 10^{-2} \times UR^{1.4008}$	0,569
$C = 2.4797 \times DA^{-1.2379}$	0,567
$C = -1.1698 + (0.1695 \times UR)$	0,552
$N = 0.5719 - (0.4046 \times DA)$	0,530
$C = 8.6936 - (6.2659 \times DA)$	0,520
$C = 3.1709 \times 10^{-5} \times (Pnat^{2.8002})$	0,491
$N = 4.1874 \times 10^{-6} \times (Pnat^{2.6394})$	0,474
$FS = 44.6801 - (0.3420 \times FAF) - (0.5721 \times FAM) - (0.5665 \times FAG)$	0,470
$C = -4.802 + (0.1337 \times Pnat)$	0,447
$C = 8.5697 - (13.3718 \times DAU)$	0,447
$FS = 113.1105 \times (FAM^{-0.6051})$	0,388
$FARG = 47.1957 - (0.5393 \times FAF) - (0.4161 \times FAM)$	0,363
$N = 5.6346 \times (DR^{-4.2615})$	0,307
$C = 21.9218 \times (pHKCl^{-1.1505})$	0,230
$FARG = 57.7512 \times (FAF^{-0.2626})$	0,222
$C = 63.3594 \times (DR^{-3.9040})$	0,220

DA= Densidade Aparente (g/cm³); DR= Densidade Real (g/cm³); DAU= Densidade Aparente Úmida (g/cm³); UR= Umidade Relativa (%); CE= Condutividade Elétrica (Ω⁻¹.m⁻¹); C= Carbono (%); N= Nitrogênio (%); C/N= Relação Carbono-Nitrogênio; FAF= Fração de Areia Fina (%); FAM= Fração de Areia Média (%); FAG= Fração de Areia Grossa (%); FARG= Fração de Argila (%); FS= Fração de Silte (%)

Nas relações entre os atributos físicos do solo, como densidade aparente, densidade real, densidade aparente úmida e porosidade natural e os percentuais de carbono e nitrogênio, pode-se encontrar a explicação nas substâncias cimentantes ligadas à presença de carbono no solo, que em geral produzidas pelos microorganismos. Segundo Silva (2008) no processo de decomposição de materiais orgânicos, a microfauna excreta polissacarídeos e outras substâncias, que agregam as partículas do solo. E, como a relação entre nitrogênio e carbono nos solos é grande, as correlações acabam sendo muito significativas, também para este atributo, uma vez que, grande parte desses valores provém de biomassa microbiana.

A relação entre o percentual de carbono e a densidade aparente já foi descrita por muitos autores (Curtis e Post, 1964; Alexander, 1980; Rawls, 1983) em muitos estudos, demonstrando uma forte correlação negativa entre os atributos.

Os atributos umidade relativa e densidade aparente úmida apresentaram relação significativa com os percentuais de carbono e nitrogênio, o que pode ser explicado pela capacidade de retenção de água de substâncias ricas em carbono. De acordo com Lovato *et al.* (2004), van Breemer (1993) e Vezzani (2001) a retenção de água é uma das propriedades emergentes do ciclo do carbono no solo. As correlações com os percentuais de nitrogênio acabam sendo consequência das suas correlações com o carbono.

Destaca-se que outras correlações encontradas podem não estar relacionadas à dependência fenomenológica entre as variáveis. É importante ressaltar a necessidade de validação das equações apresentadas pela Tabela 40, para a aplicação em outras áreas de estudo.

Desta forma, as funções de pedotransferência apresentadas podem servir como importante ferramenta de subsídio ao planejamento de ocupação e manejo dos solos das bacias hidrográficas estudadas. Uma vez que, fornecem vias práticas de obtenção de importantes atributos do solo, essenciais para a avaliação ambiental de uma área.

6.6 Análise Espacial.

Todos os atributos de solo foram submetidos a testes de correlação espacial a partir de variogramas. A análise mostrou que não há correlação espacial para nenhum dos atributos, uma vez que, todos apresentaram o chamado “efeito-pepita puro”, que, de acordo com

Landim (2003) indica ausência de correlação espacial entre os dados. Desta forma, não é possível aplicar o método geoestatístico, ou da “krigagem” para os dados.

A baixa correlação espacial encontrada entre os atributos de solo pode estar ligada à grande fragmentação da paisagem e aos muitos usos do solo, que são fundamentais para condicionar as variações de qualidade dos solos. Além disso, para se obter correlação espacial é necessário que a malha amostral seja muito bem distribuída, porém, no estudo de uma bacia hidrográfica de ordem cinco, com uso de solo tão diversificado, esse processo é bastante dificultado.

Assim, a análise da variação espacial dos dados foi realizada com a elaboração de superfícies de tendência. As Figuras 56 e 58 mostram a tendência de variação do percentual de carbono, que apresenta aumento na direção Noroeste → Sudoeste. O que pode estar relacionado com a maior concentração de áreas com vegetação nativa e reflorestamentos na região de cabeceira das bacias. Já as Figuras 57 e 59 mostram os resíduos das superfícies de tendência, indicando os pontos onde o modelo linear, expresso através da superfície de tendência está superestimado e subestimado. Destaca-se que todos os locais dos resíduos estão relacionados com os pontos de amostragem de solo. Encontra-se em ambas as bacias hidrográficas, muitos locais com resíduos positivos, o que indica que o modelo de ajuste linear subestimou o percentual de carbono do solo.

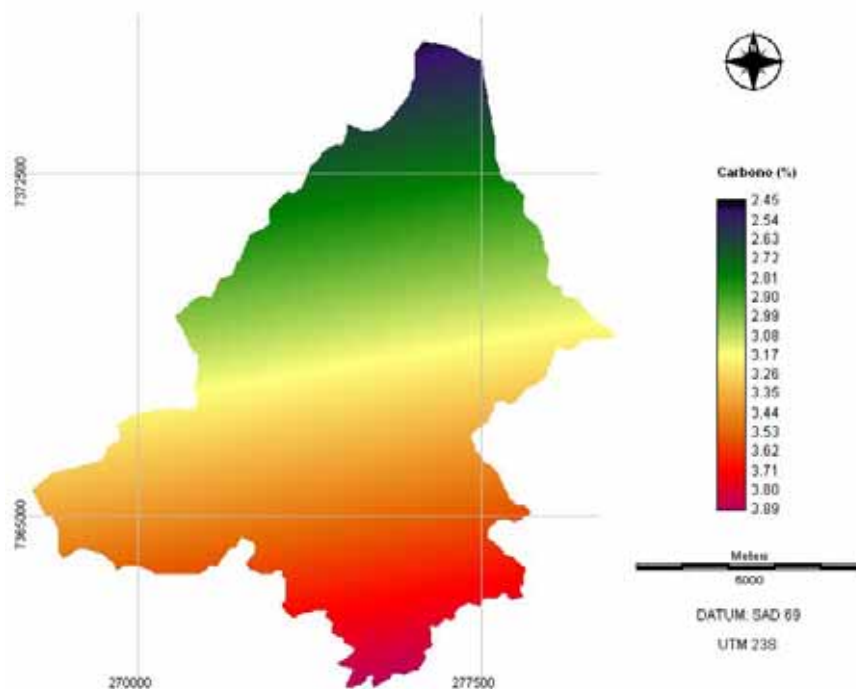


Figura 56. Superfície de tendência do Carbono (%) (B.H. Paiol).

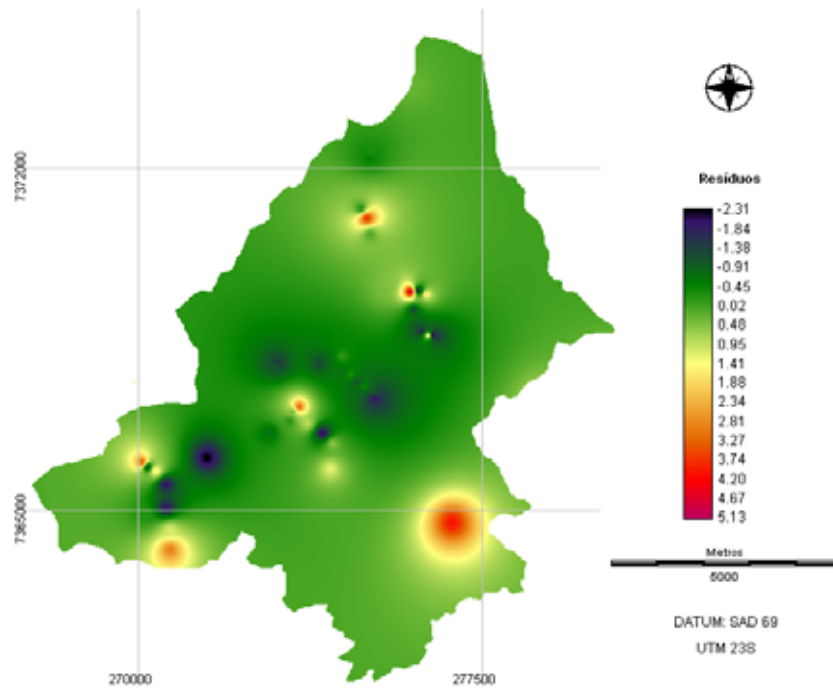


Figura 57. Mapa de resíduos da superfície de tendência de Carbono (B.H. Paiol).

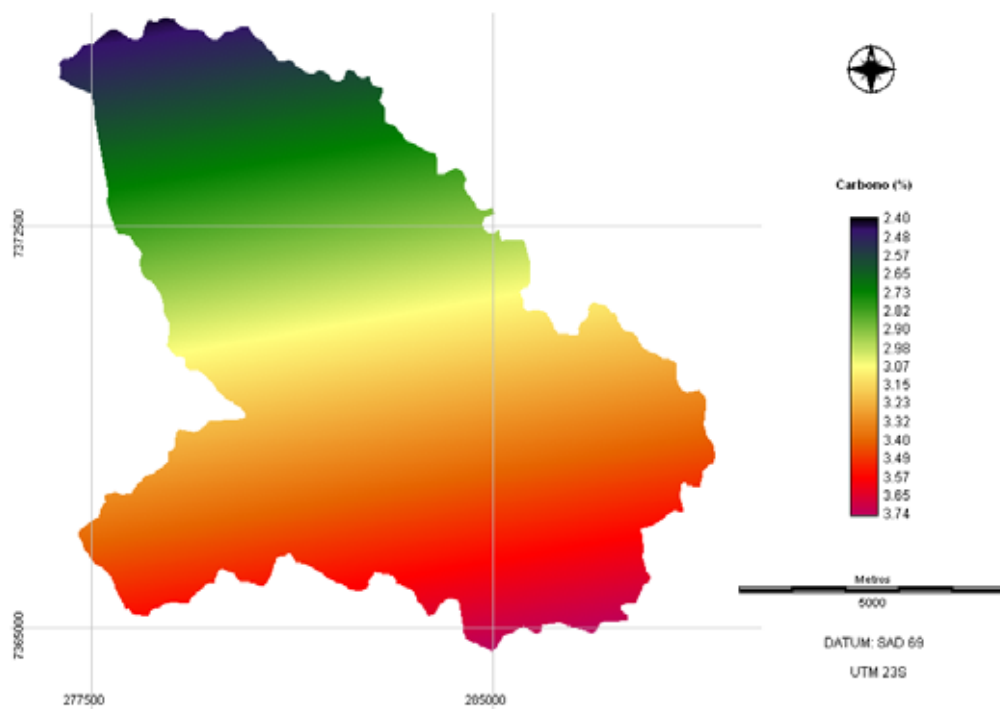


Figura 58. Superfície de tendência do Carbono (%) (B.H. Sorocabuçu).

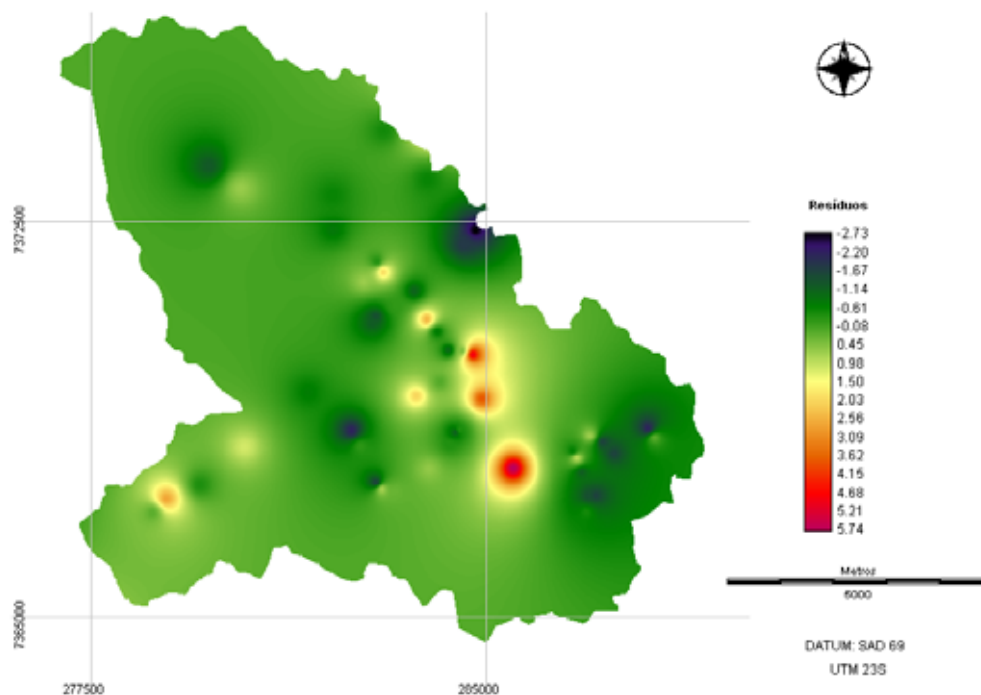


Figura 59. Mapa de resíduos da superfície de tendência de Carbono (B.H. Sorocabuçu).

Desta forma, os modelos indicam que os teores de carbono do solo diminuem com a aproximação das jusantes das bacias. Esse resultado pode subsidiar o planejamento de uso do solo, indicando que os solos mais próximos aos exutórios das bacias tendem a ser mais pobres em carbono, evidenciando maior atenção quanto às perdas de solo por erosão e à fertilidade do solo.

O mesmo padrão de aumento da superfície de tendência do percentual de Carbono é observado nas Figuras 60 e 62 para o percentual de Nitrogênio nas bacias hidrográficas do rio Paiol e Sorocabuçu, respectivamente. Esse padrão segue em direção ao aumento da concentração de áreas com vegetação e reflorestamento. A exemplo das Figuras 57 e 59, os mapas das Figuras 61 e 63, dos resíduos das superfícies de tendência do percentual de nitrogênio para as bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, respectivamente, observa-se grande ocorrência de resíduos positivos, indicando os pontos onde a superfície de tendência está subestimada. Encontram-se também, muitos locais onde os resíduos são negativos, mostrando o modelo está superestimado.

Desta forma, pode-se avaliar o resultado produzido pela superfície de tendência, que mostra que indica aumento do percentual de nitrogênio do solo na direção Noroeste→Sudeste. A análise desse resultado indica a diminuição dos teores de nitrogênio à medida que há maior atividade antrópica.

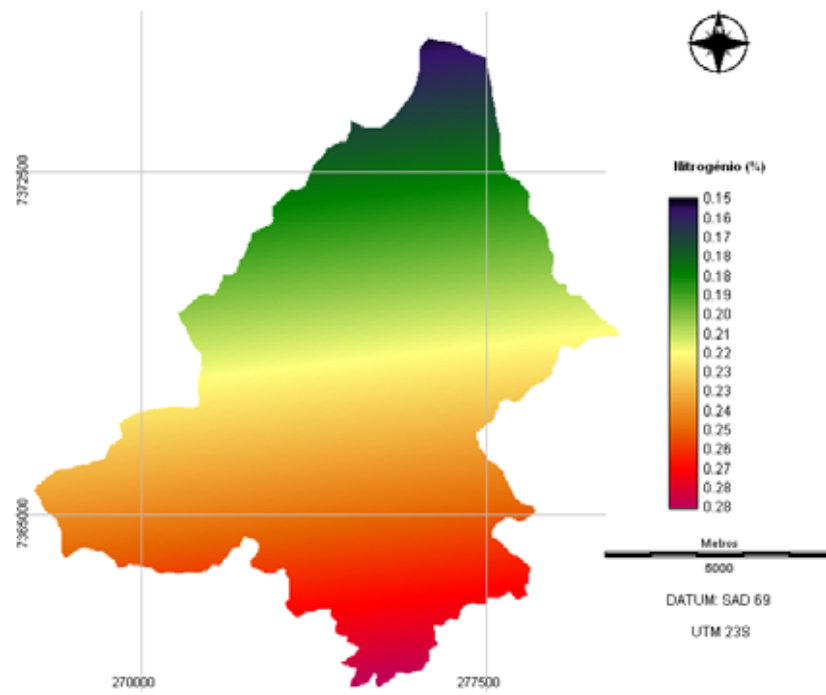


Figura 60. Superfície de tendência do Nitrogênio (%) (B.H. Paiol).

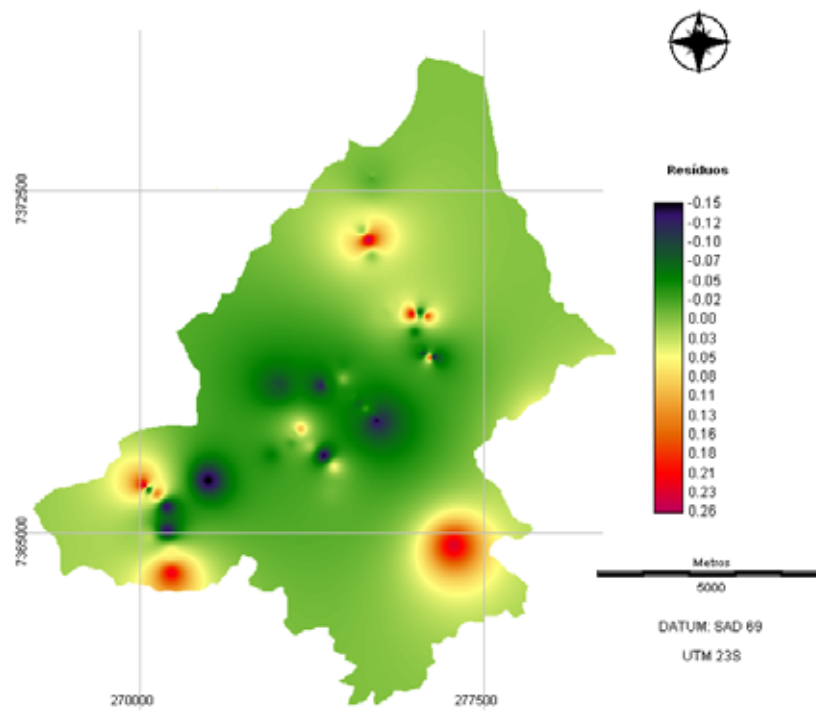


Figura 61. Mapa de resíduos da superfície de tendência de Nitrogênio (B.H. Paiol).

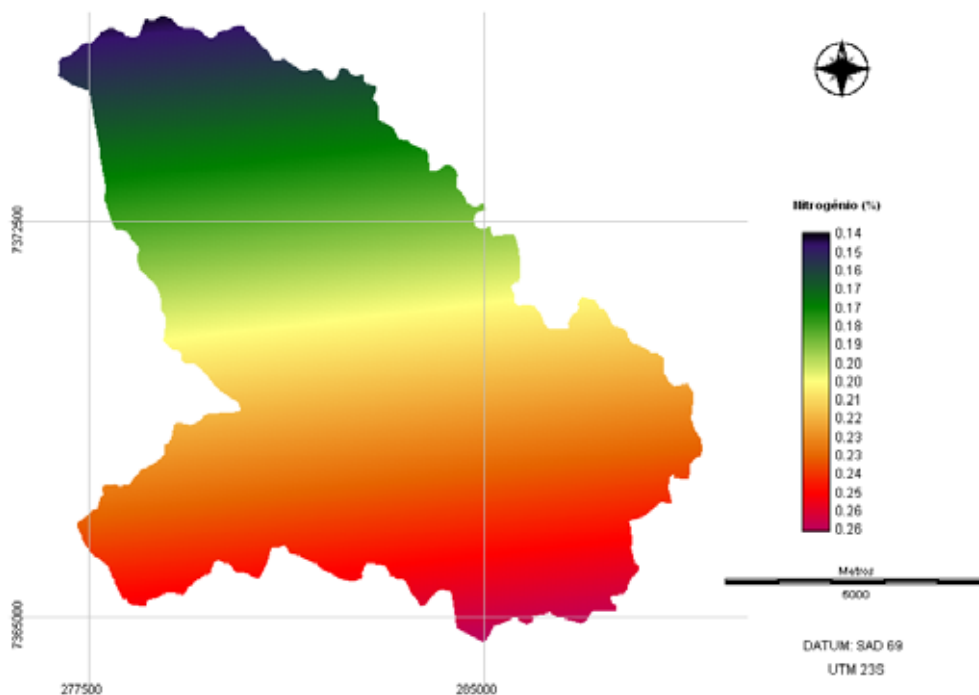


Figura 62. Superfície de tendência do Nitrogênio (%) (B.H. Sorocabuçu).

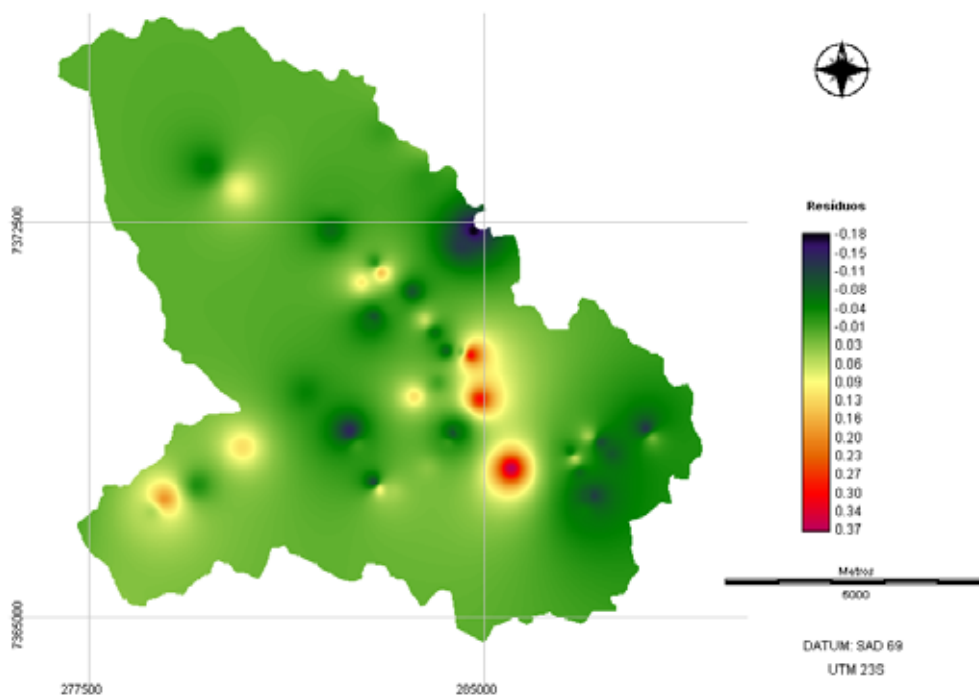


Figura 63. Mapa de resíduos da superfície de tendência de Nitrogênio (B.H. Sorocabuçu).

As Figuras 64 e 66 apresentam as superfícies de tendência da condutividade elétrica para as bacias dos rios Paiol e Sorocabuçu, evidenciando aumento no sentido Nordeste→Sudoeste. Já as Figuras 65 e 67 representam os mapas de resíduos, da superfície de

tendência da condutividade elétrica para as bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, respectivamente. Nota-se ocorrência de resíduos de pouca intensidade, principalmente negativos na bacia hidrográfica do rio Paiol e positivos na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu. Desta forma, nota-se que o modelo superestimou os valores para os pontos de amostragem de solo na bacia do rio Paiol, e, subestimou os valores, principalmente a leste, local de concentração de ocupação antrópica, para a bacia do Alto rio Sorocabuçu.

De acordo com Boeira, Ligo e Dynia (2002), a condutividade elétrica serve como estimativa da capacidade de fornecimento de nutrientes, desta forma, as regiões Sudoeste das bacias hidrográficas possuem solos mais adequados para o cultivo.

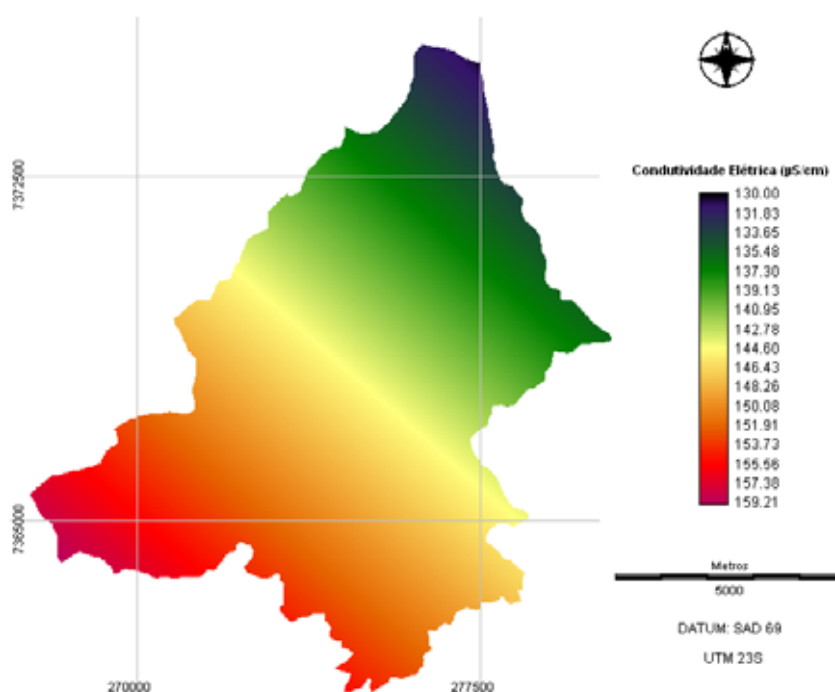


Figura 64. Superfície de tendência da Condutividade Elétrica (B.H. Paiol).

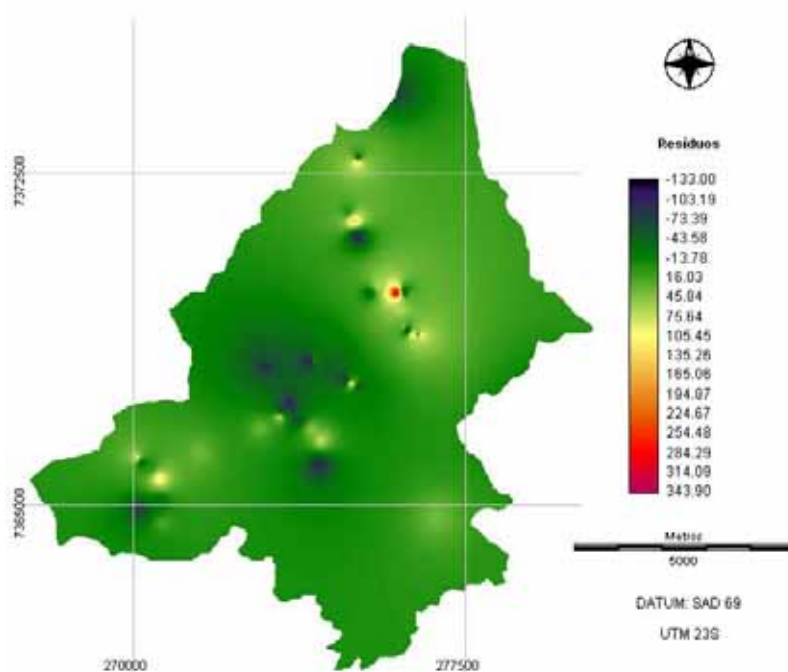


Figura 65. Mapa de resíduos da superfície de tendência da Condutividade Elétrica (B.H. Paiol).

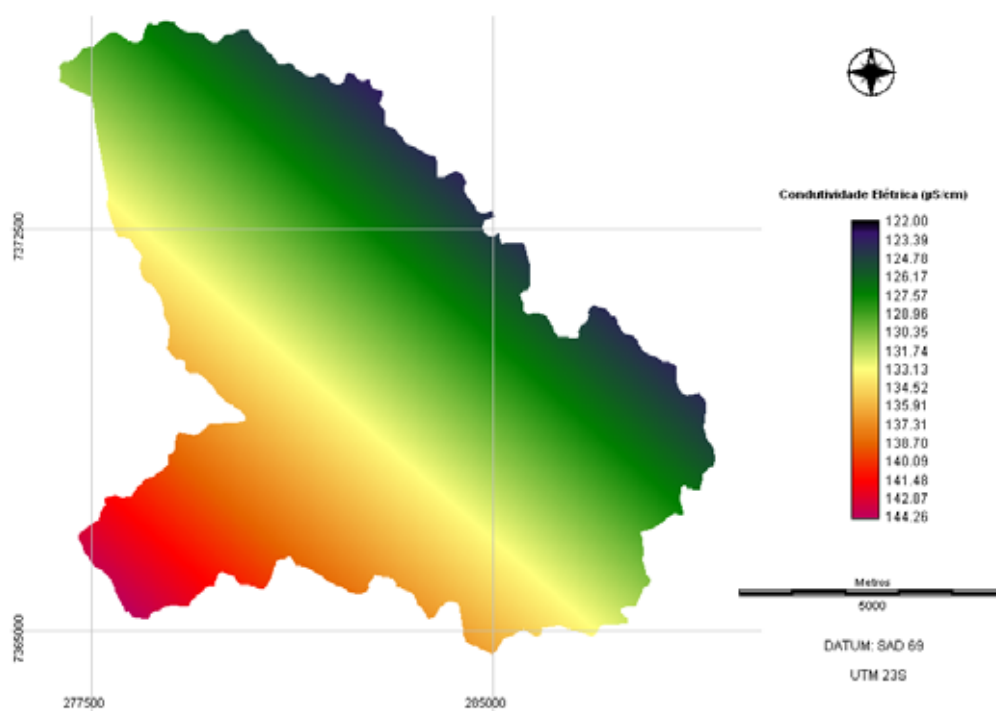


Figura 66. Superfície de tendência da Condutividade Elétrica (B.H. Sorocabuçu).

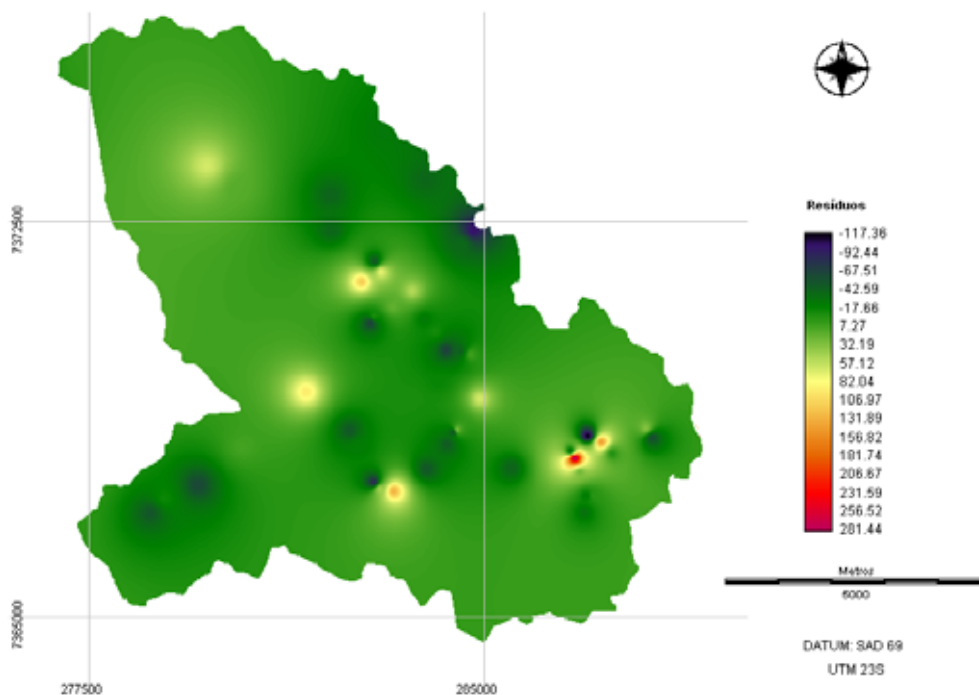


Figura 67. Mapa de resíduos da superfície de tendência da Condutividade Elétrica (B.H. Sorocabuçu).

As Figuras 68 e 70 apresentam as superfícies de tendência para a resistência ao penetrômetro para as bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, e as Figuras 69 e 71 apresentam seus respectivos mapas de resíduos. Nota-se a ocorrência de muitos locais com resíduos alto, tanto negativos quanto positivos, o que pode estar relacionado à grande heterogeneidade dos dados coletados.

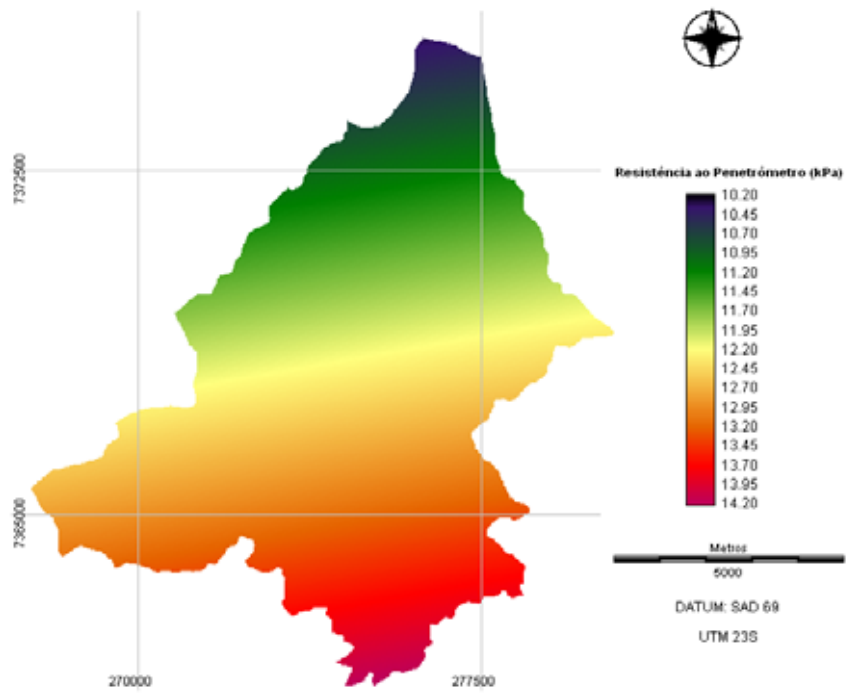


Figura 68. Superfície de tendência da Resistência ao Penetrômetro (B.H. Paiol).

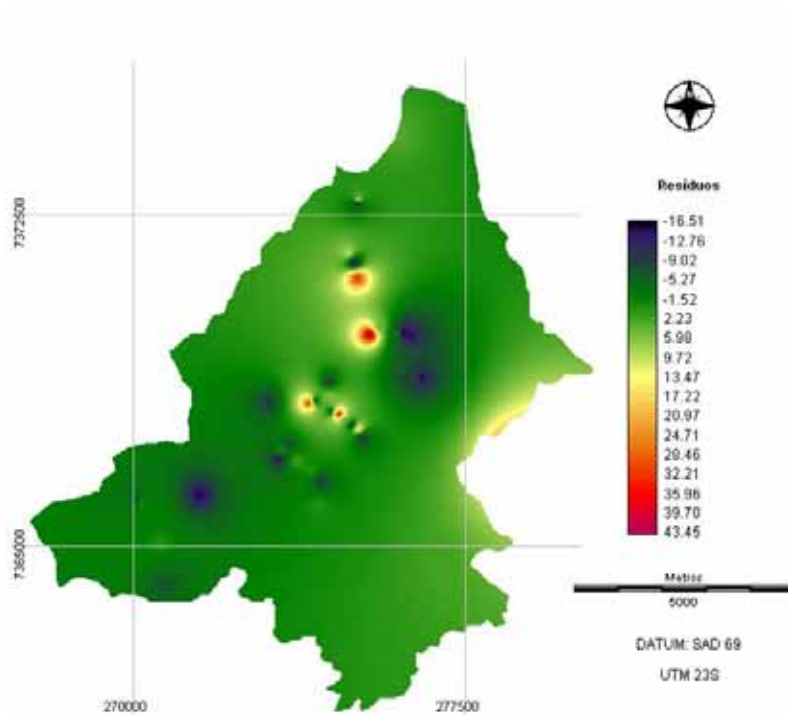


Figura 69. Mapa de resíduos da superfície de tendência da Resistência ao Penetrômetro (B.H. Paiol).

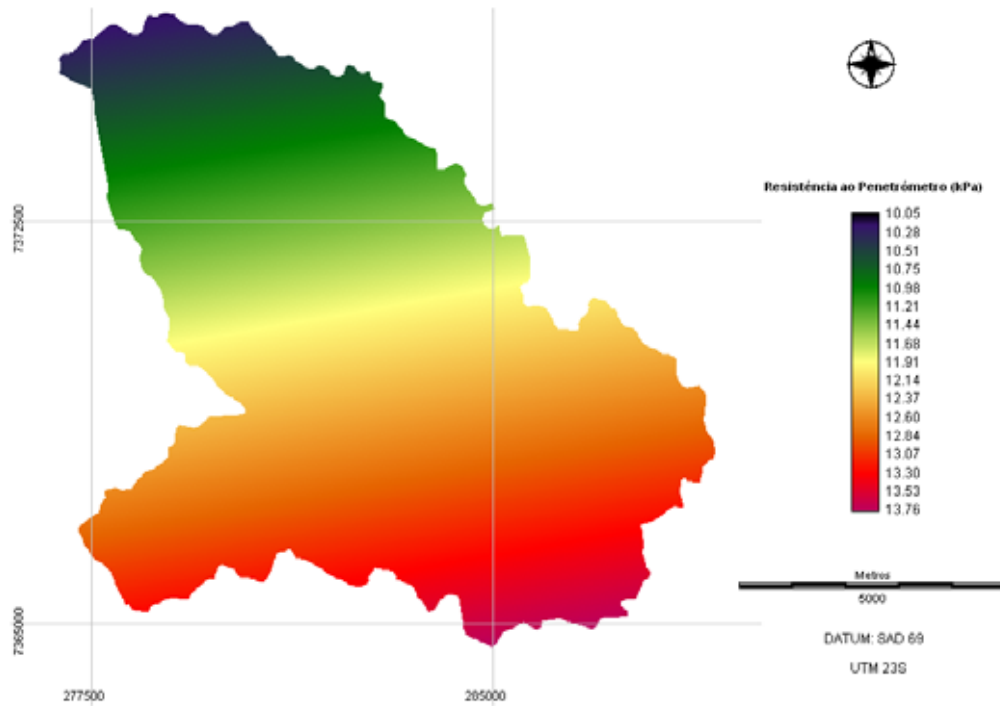


Figura 70. Superfície de tendência da Resistência ao Penetrômetro (B.H. Sorocabuçu).

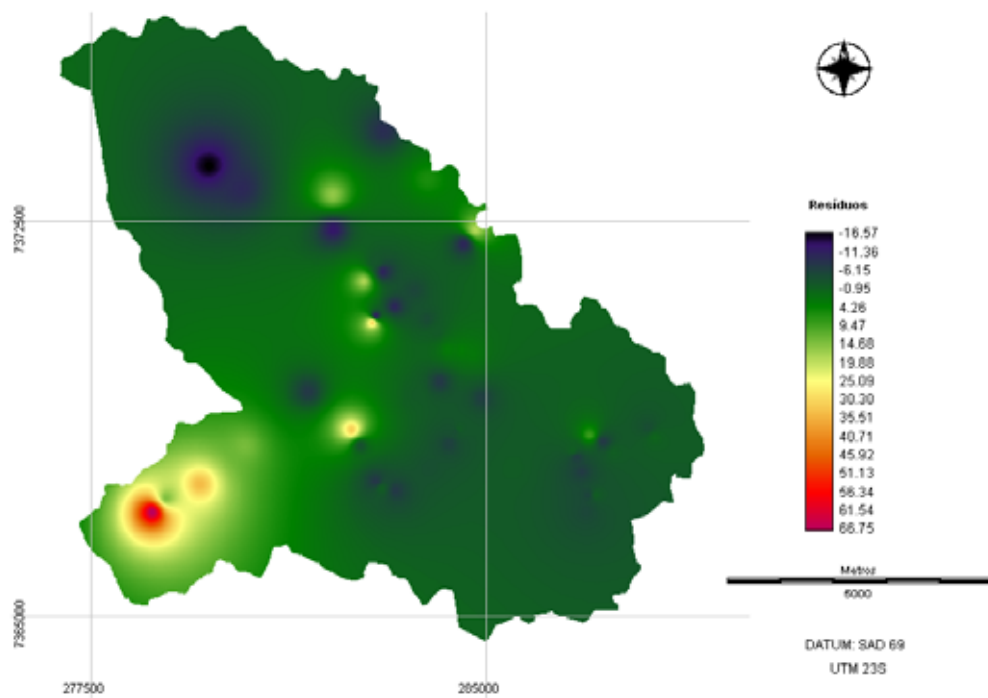


Figura 71. Mapa de resíduos da superfície de tendência da Resistência ao Penetrômetro (B.H. Sorocabuçu).

Por meio da análise das Figuras 68 e 70, observa-se aumento da resistência do solo ao penetrômetro no sentido Noroeste→Sudeste. O que pode ter relação com o delineamento amostral, que resultou na coleta de dados de pastagem (uso do solo com maiores valores para este atributo) principalmente na parte Sul das bacias hidrográficas.

As Figuras 72 e 74 apresentam as superfícies de tendência da porosidade natural para as bacias dos rios Paiol e Sorocabuçu, respectivamente e as Figuras 73 e 75, mostram os correspondentes mapas de resíduos. Nota-se pela análise das Figuras 72 e 74, que há aumento nesse atributo no sentido Noroeste→Sudeste. O que pode ser explicado pela presença de vegetação nativa e reflorestamentos (usos do solo com maiores valores de porosidade) na região Sudeste.

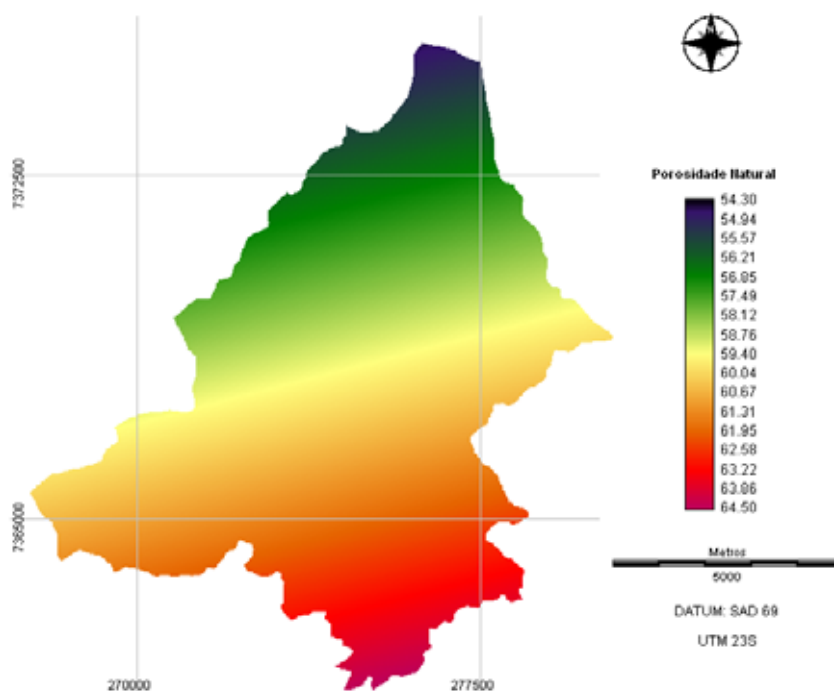


Figura 72. Superfície de tendência da Porosidade Natural (B.H. Paiol).

Destaca-se para todas as superfícies de tendência que houve aumento no sentido jusante-montante, ou seja, a medida que a altitude aumenta, as características do solo se alteram em um mesmo padrão. Desta forma, pode-se dizer que os fenômenos observados tem correlação com a altitude

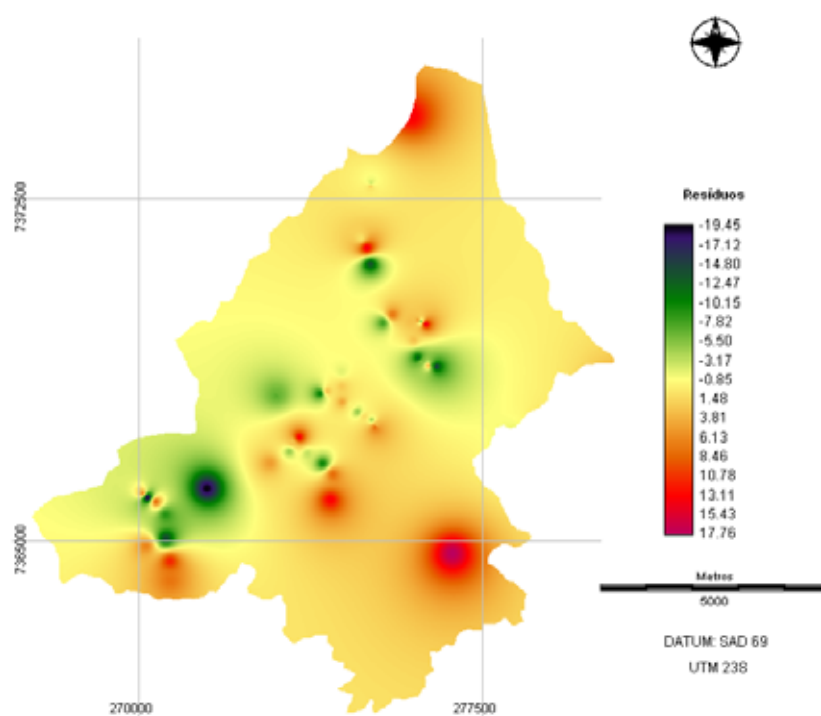


Figura 73. Mapa de resíduos da superfície de tendência da Porosidade Natural (B.H. Paiol).

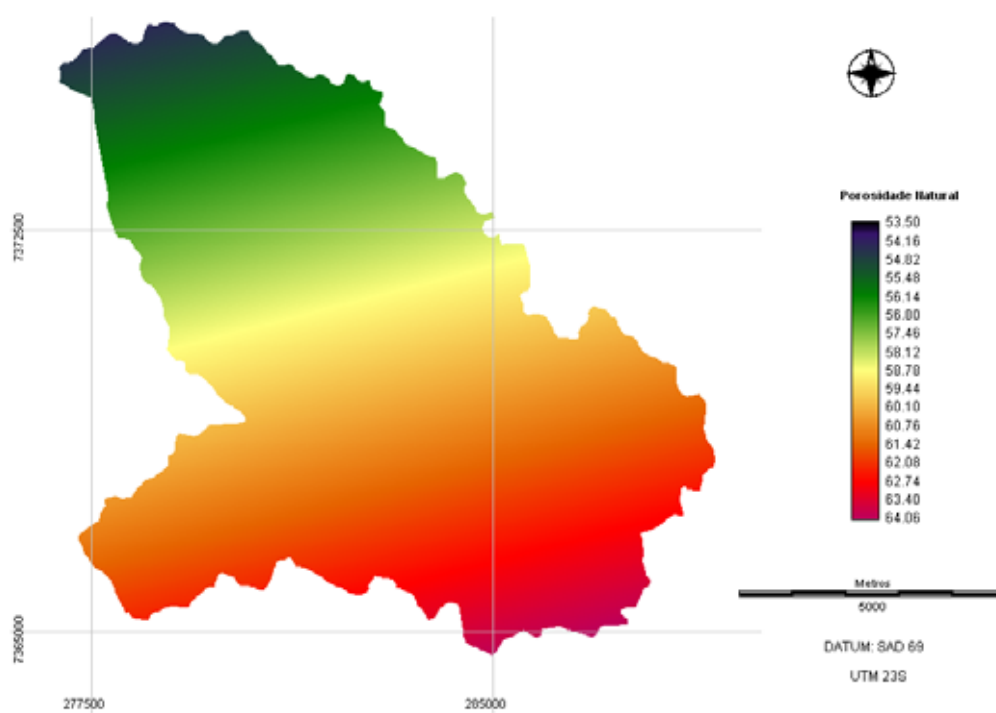


Figura 74. Superfície de tendência da Porosidade Natural (B.H. Sorocabuçu).

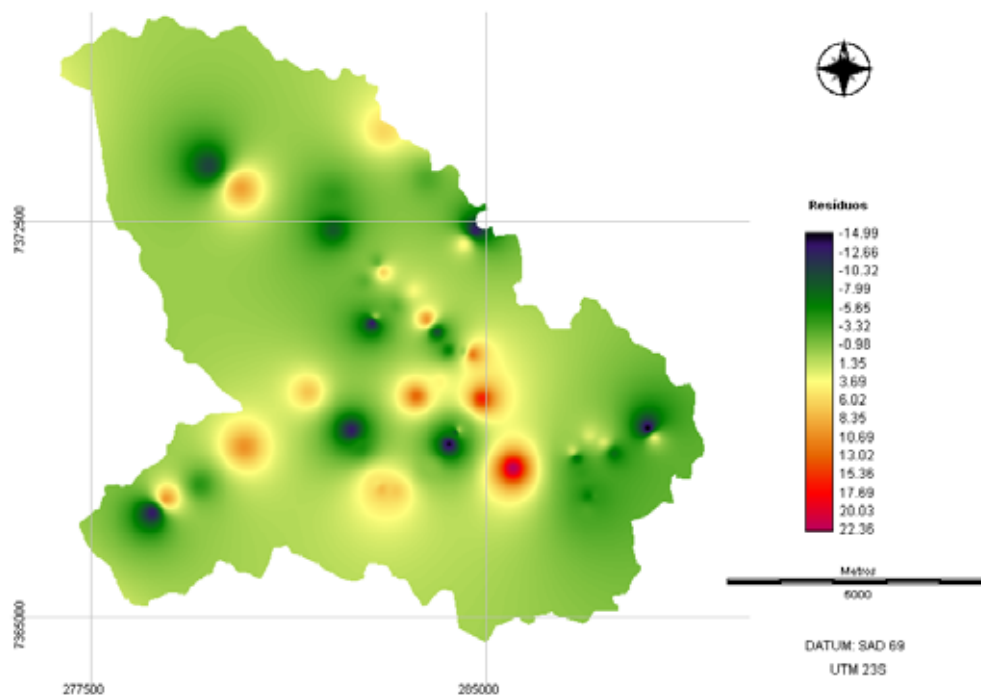


Figura 75. Mapa de resíduos da superfície de tendência da Porosidade Natural (B.H. Sorocabuçu).

Esperava-se que o estudo das superfícies de tendências da porosidade natural e da resistência ao penetrômetro, devido à relação entre os dois atributos do solo, fossem inversamente proporcionais, havendo aumento em sentidos exatamente contrários. No entanto, a tendência de aumento foi no mesmo sentido. A explicação para este evento pode estar na distribuição dos pontos de coleta, mais concentrada na região Sudeste das bacias hidrográficas, o que forçou o sentido das superfícies de tendências. Por outro lado, pode-se atribuir à grande variação encontrada nos dados de resistência ao penetrômetro, que mesmo em solos mais porosos, acusou valores mais elevados, devido a obstáculos presentes no solo.

A análise das superfícies de tendência dos atributos do solo indicou que todos os atributos aumentam na região Sul das bacias hidrográficas. O que pode ser decorrente da maior amostragem em solos dessa região. No entanto, os resultados apresentados são importantes para orientar as regiões das bacias que podem possuir atributos de solo que favorecem a ocorrência de processos erosivos, bem como, a indicação de regiões que possuem atributos que favorecem diferentes tipos de manejo de solo. Uma vez que, as bacias hidrográficas estudadas possuem área de mais de 80 km², é importante que se crie mecanismos de compreensão os fenômenos naturais, indicando as áreas prioritárias.

6.7 Avaliação Socioambiental

Com a entrevista dos 30 proprietários rurais, foi possível elaborar as Tabelas de 41 a 44. A Tabela 41 mostra as informações sobre as ações e postura dos proprietários entrevistados com relação aos recursos naturais. É importante destacar que 80% dos entrevistados respeitam as Áreas de Preservação Permanentes (APPs) localizadas em suas propriedades. O histórico de ocupação das propriedades mostrou que a maioria delas (72%) possui uso destinado ao cultivo há mais de 10 anos. A retirada de vegetação para práticas de cultivo ocorreu em 12% dos entrevistados, bem como a mudança de atividade, de pastagem para cultivo. A alteração da atividade econômica de reflorestamento para cultivo ocorreu em apenas 4% das propriedades.

O estudo também revelou o intenso uso dos recursos hídricos para a irrigação, com intervenção dos mesmos para construção de açudes. Não foram encontradas formas de erosão severas nas propriedades. Apenas em 4% delas que apresentaram formação de sulcos próximos a área de cultivo.

Constatou-se a presença de potenciais fontes de poluição direta aos recursos em 56% das propriedades entrevistadas, consistindo principalmente em agrotóxicos aplicados nas proximidades dos cursos d'água.

O levantamento também relevou a íntima relação dos produtores rurais com os recursos hídricos, que estão presentes em 80% das propriedades entrevistadas, sendo que, em 24% delas há presença de nascentes. Além disso, 48% dos produtores entrevistados consomem água vinda diretamente dos cursos d'água superficiais e 52% consomem água de poço.

Não se observou produtores que praticam queimadas, no entanto, em 40% das propriedades foram observadas alterações em cursos e em 16% intervenções em nascentes, além de ocorrer práticas de desmatamento em 20% das propriedades entrevistadas.

Além disso, de acordo com o levantamento, apenas 12% dos entrevistados consideram os recursos naturais imprescindíveis e estão dispostos a alterar as práticas adotadas e recuperar áreas degradadas.

Na Tabela 42 pode-se verificar os dados relativos aos tratos culturais dos proprietários, que em geral são acompanhados por um técnico especializado (80%), utilizam máquinas para o preparo do solo (92%) e apresentam problemas com pragas de origem vegetal (64%). Considerando-se apenas os produtores de agricultura convencional, destaca-se a destinação

das embalagens, que em sua maioria são lavadas e encaminhadas para a coleta específica. No entanto, 18% dos produtores, promovem outra destinação para as embalagens, que incluem a queima das mesmas ou o descarte aleatório.

Tabela 41. Práticas e postura dos entrevistados com relação aos Recursos Naturais nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

Presença de Recursos Hídricos (%)	Nenhum 20	Um 68	Dois ou mais 12	
Presença de Nascentes (%)	Nenhuma 76	Uma 12	Duas ou mais 12	
Respeito às APPs (%)	Sim 80		Não 20	
Fonte de Água para consumo (%)	Rede Pública 0	Poço 52	Nascente 28	Rio 20
Fontes de Poluição (%)	Sim 56		Não 44	
Erosão Aparente (%)	Sim 4		Não 96	
Práticas Conservacionistas (%)	Sim 0		Não 100	
Práticas com Impactos Negativos (%)*	Queimadas 0	Desmatamentos 20	Alteração em Cursos d'água 40	Intervenção em Nascentes 16
Uso anterior do solo nos últimos 10 anos (%)	Vegetação 12	Reflorestamento 4	Pastagem 12	Cultivo 72
Postura com relação aos Recursos Naturais (%)	Imprescindíveis 12	Importantes 44	Estão em segundo plano 40	Sem importância 4
Disposição para alterar o uso do solo (%)	Grande 12	Razoável 64	Pequena 24	
Disposição para recuperar áreas degradadas (%)	Grande 12	Razoável 56	Pequena 32	
Presença de Açudes na propriedade (%)	Sim 40		Não 60	

*Foram contabilizados os percentuais de ocorrência das práticas, sendo que cada item varia de 0 a 100%.

Destaca-se que 52% dos entrevistados captam água para irrigação diretamente do curso d'água e 59% dos produtores que praticam cultivo convencional, está disposto a alterar a forma de cultivo para orgânico.

Os dados sobre saneamento básico são mostrados na Tabela 43, evidenciam a falta de coleta de esgoto, que em geral é destinado a fossas negras (82%). Evidenciam ainda a baixa qualidade da coleta de lixo, que acarreta na queima dos resíduos produzidos por parte 12% dos entrevistados. Além disso, a participação, no programa de coleta seletiva municipal, é baixa (31%), o que foi justificado pelos entrevistados pela baixa assiduidade programa.

Tabela 42. Tratos culturais praticados pelos entrevistados nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Presença de Pragas (%)	Vegetais 64	Fungos 20	Insetos 40	
Doenças na lavoura (%)	Sim 36		Não 64	
Lavagem adequada das embalagens de agrotóxicos (%)	Sim 82		Não 18	
Destinação das Embalagens de Agrotóxicos (%)	Coleta Específica 82	Coleta Convencional 0	Queima 6	Descarte Aleatório 12
Acompanhamento de Técnico Especializado (%)	Sim 80		Não 20	
Captação de água para irrigação (%)	Rio 52	Nascente 4	Poço 4	Açude 40
Uso de Máquinas (%)	Sim 92		Não 8	
Disposição para alterar técnica de cultivo (%)*	Sim 41		Não 59	

* Considerando-se apenas os agricultores que praticam cultivo convencional.

Tabela 43. Saneamento básico para os entrevistados nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Destinação dos Resíduos Sólido (%)	Queima 12		Coleta Municipal 88	
Participação da Coleta Seletiva (%)*	Sim 31		Não 69	
Realização de processo de compostagem (%)	Sim 16		Não 84	
Destinação do Esgoto (%)	Fossa Negra 82	Fossa Séptica 18	Curso d'água 0	Rede Municipal 0

*Considerando-se apenas os bairros atendidos pelo serviço de coleta seletiva municipal.

A Tabela 44 apresenta as informações relativas às questões sócio-econômicas dos produtores rurais. Nota-se que 32% dos entrevistados contratam mão-de-obra, sendo que o restante restringe à família o trabalho na lavoura, o que evidencia a predominância da agricultura familiar nas bacias hidrográficas do rio Paiol e Sorocabuçu. Além disso, destaca-se que em 28% das propriedades os residentes se deslocam para o centro urbano mais próximo para exercer atividades remuneradas. Dos entrevistados, 20% utilizam terras arrendadas para o cultivo.

A baixa atividade de organizações comunitárias para promover a venda de produtos e a grande participação de revendedores também deve ser destacada, pois, apenas 12% dos

produtores entrevistados possuem algum tipo de conexão com associação comunitária. O que diminui a margem de lucro dos produtores e dificulta o desenvolvimento financeiro. A falta de beneficiamento dos produtos cultivados, presente em apenas 16% das propriedades, também é contribui para a diminuição da margem de lucro dos produtores.

Expõe-se ainda que 56% dos entrevistados possuem algum tipo de criação de animais. No entanto, não há interesse comercial na atividade, mas sim finalidades para locomoção, alimentação e proteção.

As condições de acesso às propriedades também são um aspecto importante, sendo que em 8% das propriedades o acesso se restringe a veículos pesados, como tratores.

Tabela 44. Informações sócio-econômicas dos entrevistados nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, Ibiúna (SP).

Utilização de mão-de-obra contratada (%)	Sim 32		Não 68	
Produção em área arrendada (%)	Sim 20		Não 80	
Famílias Residentes na área de Produção (%)	Nenhuma 20	Uma 64	Duas ou mais 16	
Alocação da mão-de-obra fora da propriedade (%)	Na zona rural 4		Na zona Urbana 28	
Beneficiamento de produtos (%)	Sim 16		Não 84	
Conexão com Organização Comunitária (%)	Sim 12		Não 88	
Venda de Produtos (%)	Consumidor 8	Organização Comunitária 12	Revendedor 80	
Criação de Animais (%)	Sim 56		Não 44	
Condição de Acesso à propriedade (%)	Boas 52	Regulares 28	Ruins 12	Péssimas 8

*Foram contabilizadas a quantidade de propriedades que possuem moradores que trabalham na propriedade e fora dela, sendo que, em todas ao menos um morador trabalha na propriedade, por isso a somatória dos itens é maior que 100%.

6.8 Orientações para o planejamento ambiental das bacias hidrográficas

As bacias hidrográficas em estudo possuem intensa atividade agrícola ainda em expansão e, por isso, precisam de orientações que indiquem as áreas mais adequadas para o uso agrícola, bem como os manejos de solo a serem desenvolvidos e as áreas prioritárias a recuperação.

De acordo com o levantamento socioambiental realizado, ainda ocorre desmatamento de áreas por parte dos proprietários rurais. Observa-se também a instalação de muitas culturas em áreas com grande declividade e próximas a cursos d'água. Além disso, o uso de maquinário para revolvimento do solo é intenso nas áreas de cultivo das duas bacias hidrográficas. O que aumenta a exposição da camada superficial do solo ao processo erosivo. Ocorrem também muitas áreas de pastagem, que, considerando a análise dos atributos de solo, favorecem a ocorrência de escoamento superficial.

Todos esses fatores têm grandes implicações sobre os recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, e, como ambas estão inseridas na bacia do manancial de Itupararanga, grandes implicações sobre os aspectos sócio-econômicos de toda a região do Alto Sorocaba. Por isso, é importante que se determine áreas prioritárias para a conservação, bem como, as áreas que suportam atividades agrícolas sem alterar drasticamente a dinâmica ecossistêmica.

Os mapas de fragilidade potencial indicaram as áreas onde a susceptibilidade a erosão é maior, independente da cobertura do solo presente, ou seja, as áreas prioritárias para a conservação. Assim, é possível identificar as áreas onde há necessidade de cobertura vegetal nativa e as áreas onde é possível se desenvolver manejos de solo.

Como houve grande divergência nos resultados obtidos para os mapas de fragilidade potencial para as bacias hidrográficas estudadas, para a composição das áreas prioritárias, foi utilizado o mapa de fragilidade potencial com apoio nas classes de declividade. Pois, de acordo com a correlação de Pearson, executada para os mapas de fragilidade emergente, este é o modelo mais adequado para as áreas de estudo.

As áreas identificadas como prioritárias para a recuperação para a bacia hidrográfica do rio Paiol, são mostradas na Figura 76. Observa-se que as áreas indicação como “Baixa” prioridade são áreas compostas por vegetação nativa, de acordo com a classificação supervisionada. Já as áreas declaradas como “Média” prioridade de recuperação são áreas de reflorestamento que se encontram em locais de fragilidade potencial “Forte” ou “Muito Forte”.

As áreas classificadas como alta prioridade de recuperação são áreas que se encontram em locais onde a fragilidade potencial é “Média”, “Forte” ou “Muito Forte” e possuem coberturas de solo inadequadas, tais como: pastagens, cultivos ou solos exposto. Desta forma, indicam-se as áreas onde atualmente há coberturas de solo inadequadas, sendo necessário que haja recuperação das áreas para a melhoria da qualidade ambiental da bacia.

Na Figura 77, são mostradas as áreas prioritárias para recuperação na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu. Comparativamente com a bacia hidrográfica do rio Paiol, observa-se maior quantidade de áreas, principalmente na região mais baixa da bacia. Isto pode ser atribuído à distribuição da fragilidade potencial e à grande ocupação antrópica, sobretudo de uso agrícola nesta região da bacia.

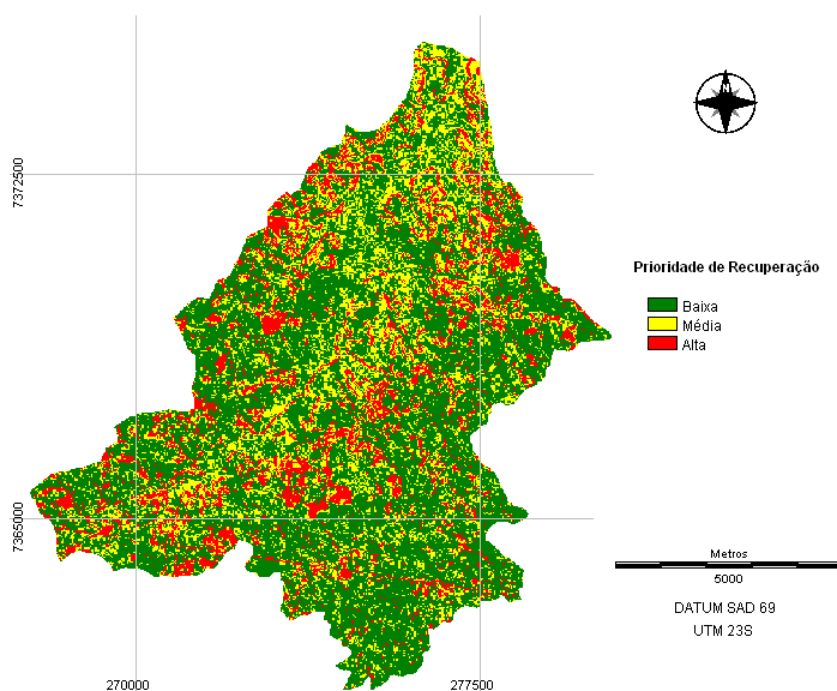


Figura 76. Áreas prioritárias para recuperação na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

A Tabela 45 mostra os percentuais de áreas de acordo com a sua prioridade de recuperação para as duas bacias hidrográficas estudadas. Observa-se que a bacia do Alto rio Sorocabaçu apresenta maior percentual de área com alta prioridade de recuperação.

Destaca-se que as áreas de vegetação nativa foram classificadas como “Baixa” prioridade de recuperação. Apesar de serem coberturas de solo adequadas, essas áreas necessitam verificação, uma vez que grande parte da vegetação nativa existente na região é secundária e, em muitos casos, encontra-se em processo inicial de sucessão florestal. Desta forma, existe a necessidade de alguma ação de recuperação, porém, menor que para as áreas com outros tipos de cobertura do solo.

Tabela 45. Percentuais de áreas prioritárias para a recuperação nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

Prioridade de Recuperação	Paiol	Sorocabaçu
Baixa	59,54%	44,94%
Média	24,22%	19,26%
Alta	16,24%	35,80%

Desta forma, os mapas de prioridade de recuperação são importantes subsídios para que o poder público possa orientar suas ações e criar estratégias para melhorar a integridade física das bacias, conseqüentemente, recompondo a qualidade do solo, os processos hidrológicos e, em um grau mais avançado, a biodiversidade. Além disso, é importante destacar que, considerando a localização das bacias hidrográficas e sua importância para o abastecimento público da região, pode-se inserir as propriedades localizadas nas áreas descritas como prioritárias para a recuperação, em programas de pagamentos por serviços ambientais. Uma vez que, a recuperação dessas áreas se enquadra no processo de melhoria da qualidade dos recursos hídricos, considerando-se a premissa dos produtores de água.

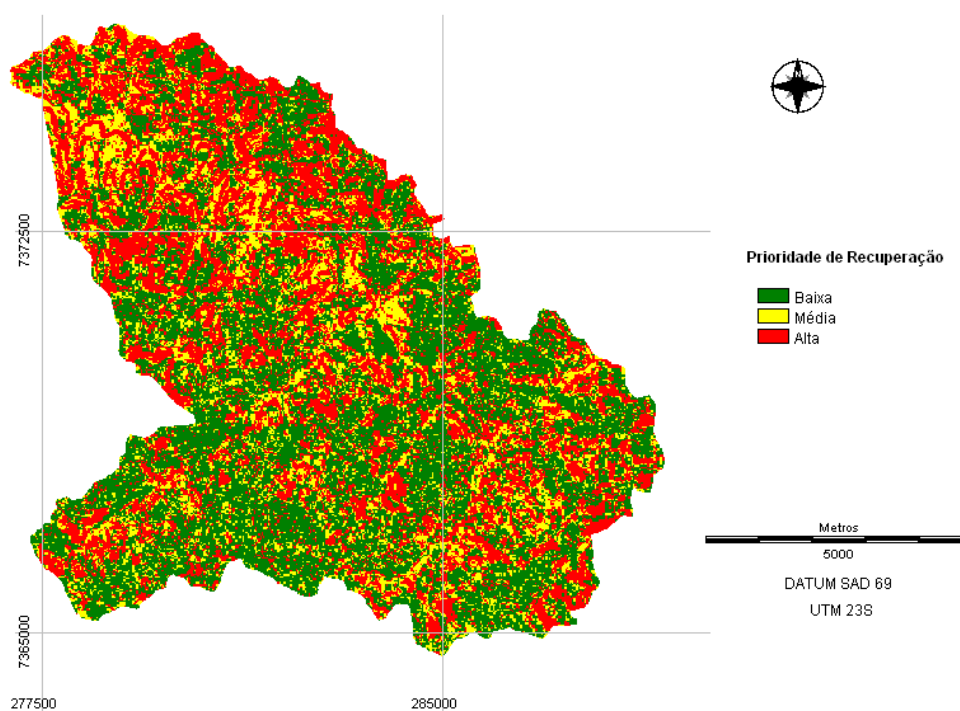


Figura 77. Áreas prioritárias para recuperação na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

As estratégias de recuperação a serem adotadas dependerão muito das áreas e da disponibilidade de recursos. Pode-se propor a recuperação natural, desde que haja a presença de fragmentos próximos a área a ser recuperada. Para isso existe a necessidade do isolamento da área, para evitar a incursão de animais de pastoreio, de acordo com o observado por Rodrigues e Leitão Filho (2009).

Além disso, pode-se aplicar a semeadura direta, ou transposição de solo ou serapilheira, o que permite a germinação das espécies vegetais. Existe ainda a possibilidade

do plantio de mudas. Ambos os processos exigem amplo monitoramento, além de ser necessário que se realize um minucioso estudo sobre as espécies vegetais a serem introduzidas, para que não haja a inserção de espécies que não pertencem ao ecossistema a ser recuperado (KAGEYAMA *et al.*, 2003).

A definição de áreas prioritárias para recuperação baseou-se na fragilidade potencial e no atual uso de solo. Destacaram-se as áreas onde a atual cobertura do solo acelera a ação dos processos erosivos, sendo que o tipo de intervenção dependerá das prioridades e da escala temporal. Podendo ser realizadas recuperações que se limitem a introdução de cobertura vegetal que proporcione maior grau de proteção ao solo ou procedimentos de restauração ecossistêmica, que busquem o re-estabelecimento dos processos ecológicos anteriores à perturbação.

Considerando a dependência econômica da população das bacias hidrográficas com o uso terra, também é necessário que se oriente a ocupação e o uso do solo nos locais mais apropriados. Desta forma, podem-se indicar as áreas que permitem o manejo agrícola do solo, sem que haja grande depreciação da qualidade ambiental das bacias hidrográficas.

A Figura 78 observa-se as áreas adequadas para o manejo agrícola do solo para a bacia hidrográfica do rio Paiol, que de acordo com a Tabela 46, correspondem a 21,17% da área da bacia. Considerando que as áreas de vegetação devem ser conservadas e que as áreas com fragilidade potencial elevada não devem receber manejos agressivos ao solo, o mapa mostra as áreas que proporcionariam menor agravamento da qualidade ambiental da bacia.

A Figura 79 mostra as áreas adequadas ao manejo agrícola do solo na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu, correspondendo a 19,61% do território da bacia. São áreas localizadas principalmente na área de várzea dos principais rios, o que deve, ainda, considerar o respeito às Áreas de Preservação Permanente. As áreas de fragilidade potencial elevada foram separadas, podendo ser destinadas a atividades que não causem grandes alterações na estrutura do solo.

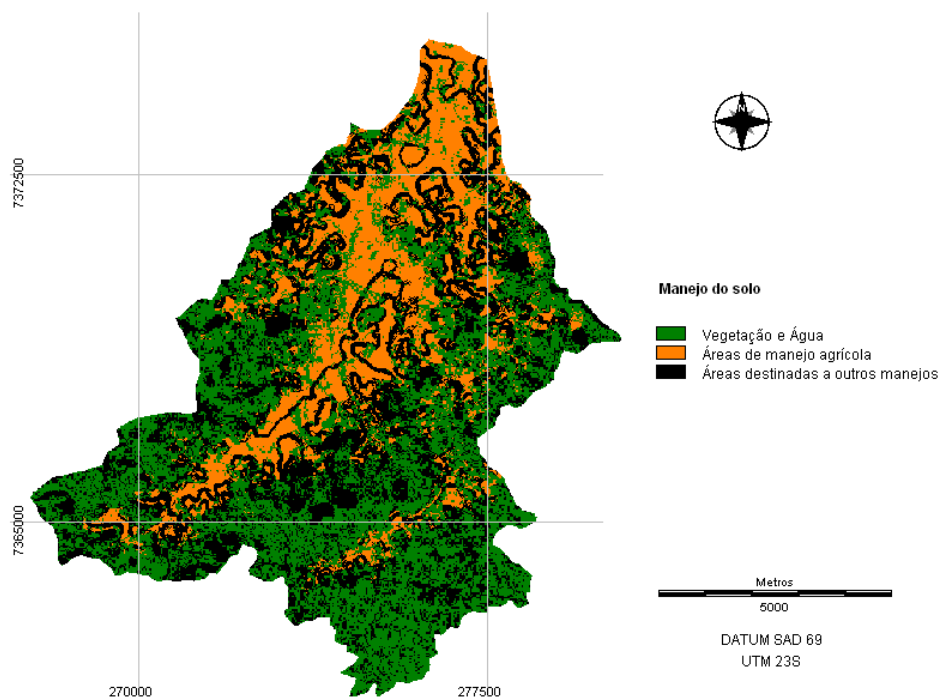


Figura 78. Áreas adequadas ao manejo agrícola na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

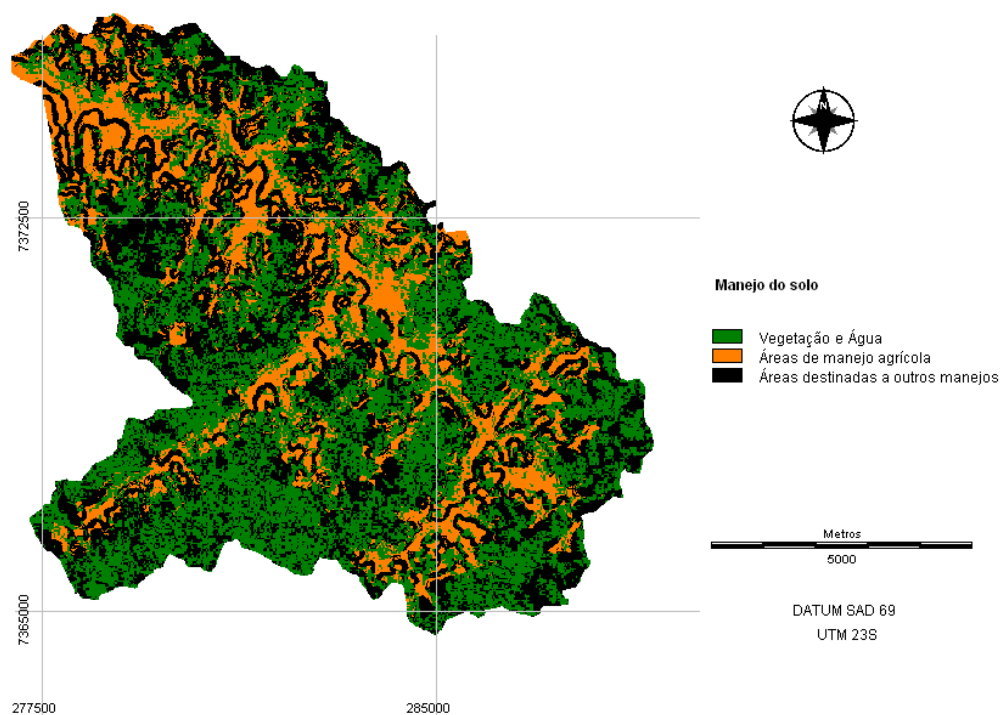


Figura 79. Áreas adequadas ao manejo agrícola na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna (SP).

As áreas destinadas ao manejo agrícola são aquelas que são naturalmente menos susceptíveis aos processos erosivos. No entanto, a proximidade desses manejos a corpos

d'água pode implicar em alterações na sua qualidade, principalmente devido ao uso indiscriminado de agrotóxicos.

Tabela 46 – Percentual de áreas destinadas ao manejo agrícola nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabaçu, Ibiúna (SP).

Manejo do solo	Paiol	Sorocabaçu
Vegetação e água	41,35%	40,69%
Manejo Agrícola	21,17%	19,61%
Outros manejos	37,48%	39,70%

Desta forma, apesar de não se ter obtido diferenças significativas entre os solos de cultivo orgânico e os solos de cultivo convencional, é importante que o uso de agrotóxicos seja controlado, uma vez que pode causar a contaminação das águas por organoclorados e metais pesados, comprometendo os ecossistemas aquáticos. Além disso, apesar de existirem áreas menos susceptíveis aos processos erosivos, é importante que o manejo do solo não seja intensa, buscando a maior sustentabilidade deste recurso natural.

A maior parte dos agricultores das bacias hidrográficas estudadas se utiliza de maquinário pesado para o trato do solo, o que implica em alterações em sua estrutura, podendo comprometer a sua qualidade e acelerar os processos erosivos. Assim, sugere-se, para as áreas determinadas como adequadas ao manejo agrícola, que se utilizem técnicas menos agressivas ao solo, como plantio direto ou semeadura direta.

Considerando o percentual da área de utilização para manejo agrícola nas duas bacias, entende-se como essencial a implantação de programas de pagamentos por serviços ambientais que busquem não apenas valorar a produção de água, mas os diversos produtos ecossistêmicos providos pela manutenção da vegetação dessa região, pois a demanda por terra para produção agrícola na região é alta, devendo haver maneiras de estimular a conservação.

Como forma de análise da atual situação dos processos erosivos das bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabaçu, destaca-se a utilização dos mapas de fragilidade emergente, que são um importante subsídio para identificação das áreas com maior potencial de perdas de solo. Sendo que, as áreas consideradas como fragilidade “Muito Forte” devem ser a prioridade para a intervenção, buscando-se alternativas para a amenização dos processos existentes.

7 Conclusões e considerações finais

O desenvolvimento dos três modelos de fragilidade ambiental evidenciou grandes divergências nos seus resultados, que provêm subsídios distintos para o planejamento ambiental. Explicita-se a necessidade de estabelecimento de uma metodologia de análise da fragilidade que se baseie em dados e observações de campo. Desta forma, para as bacias hidrográficas analisadas, o modelo de fragilidade ambiental mais adequado, de acordo com a validação feita a partir dos atributos de solo analisados, é o modelo proposto por Ross (1994) com apoio nas classes de declividade.

O coeficiente de correlação de Pearson apontou valores da ordem de 0,7 para o modelo com apoio nas classes de declividade, em relação aos dados de porosidade, resistência ao penetrômetro e percentual de carbono do solo. Com isso, o presente trabalho provê uma importante ferramenta de subsídio ao planejamento das bacias hidrográficas de uso rural.

É importante destacar que a metodologia de fragilidade ambiental exposta pode ser aplicada em qualquer região, porém, verificações de campo devem ser realizadas, de maneira a garantir a confiabilidade dos resultados. Os pesos atribuídos às variáveis podem variar, de acordo com a área de estudo. No entanto, é fundamental que se utilize ferramentas que indiquem a ponderação adequada, mostrando o erro atrelado a ela.

Pode-se concluir, tomando por base o bom resultado obtido para o modelo de fragilidade com apoio nas classes de declividade, que os mapas de solos, produzidos de acordo com Hermuche *et al.* (2002) produziram um resultado adequado para a predição de solos, com o objetivo de aplicação de metodologias de composição de mapas síntese. No entanto, a verificação dos dados resultantes em campo é fundamental.

O uso de Sistemas de Informação Geográficas (SIG) para a composição dos mapas síntese se mostrou indispensável, uma vez que provê resultados precisos, de maneira rápida. A utilização dos SIGs é fundamental para a geração de subsídios para o planejamento ambiental de uma região. Além disso, a criação de uma metodologia em SIG viabiliza a sua replicação, em áreas rurais e urbanas, sendo importantes ferramentas para a gestão territorial.

A utilização cruzada dos mapas de fragilidade potencial e cobertura do solo podem prover resultados muito importantes para a identificação de áreas prioritárias de recuperação e de áreas adequadas ao manejo agrícola do solo. Esse tipo de operação, executada por meio de

ferramentas básicas de SIG, fornece um subsídio fundamental para que o poder público possa atuar de maneira precisa, visando resgatar, ou manter, a qualidade ambiental de uma bacia hidrográfica.

Desta forma, indicam-se, como resultados mais adequados para o zoneamento das bacias hidrográficas, os mapas de manejo do solo e de áreas prioritárias para recuperação. No entanto, existe necessidade de verificação e campo, para que haja confirmação das condições das áreas.

Como principal conclusão sobre a aplicação de modelos de fragilidade ambiental, aponta-se a necessidade de estudos aprofundados que visem modelar e compreender a dinâmica erosiva, considerando a ação antrópica. Além disso, é preciso que se insira a variável social de outras formas, pois a atuação humana não se restringe ao tipo de cobertura do solo. Indica-se a necessidade de dados demográficos e econômicos, para aperfeiçoar os modelos.

Não foi possível observar nenhuma diferença estatisticamente significativa entre os cultivos orgânico e convencional. Os atributos do solo das áreas de vegetação se mostraram, como esperado, menos propícias à ação de processos erosivos.

Porém, com a execução das análises de *Clusters* Aglomerativos Hierárquicos evidenciaram, para os percentuais de nitrogênio e carbono, maior similaridade entre o cultivo orgânico e os solos de vegetação, comparativamente com os solos de cultivo convencional. Esses atributos podem ser atribuídos a diferenças no tipo de adubação do solo.

Destaca-se que o preparo mecânico dos solos, para os dois cultivos nas bacias hidrográficas dos rios Paiol e Sorocabuçu, é intenso, com uso de maquinários pesados, que interferem em sua estrutura física. Desta forma, não se pode apontar diferenças entre o grau de exposição ao processo erosivo de solos sob cultivo orgânico e convencional.

As análises de tendência espacial dos atributos dos solos nas bacias hidrográficas proporcionaram resultados que indicam as regiões de maior e menor concentração de cada atributo do solo. Esses resultados são, também, muito importantes para o planejamento, pois, indicam áreas com solos de maior condutividade elétrica, onde o solo pode ser mais adequado ao cultivo. Além disso, há a indicação de áreas onde a porosidade do solo é maior, bem como, a região onde há maior percentual de carbono no solo, sendo importante para nortear em que sentido a ação dos processos erosivos se eleva.

A elaboração das funções de pedotransferência é importante para a predição de variáveis de difícil obtenção. Desta forma, pode-se através de dados como densidade aparente,

densidade real, porosidade e pH, calcular os teores de carbono e nitrogênio do solo. Estas são importantes ferramentas para o uso regional, auxiliando no zoneamento e no cultivo.

Baseando-se nos dados levantados até o momento, é possível concluir que os produtores rurais da área de estudo não recebem infra-estrutura suficiente para a destinação de esgoto e de resíduos sólidos de maneira adequada, o que prejudica a qualidade ambiental da região. Além disso, nota-se que agricultura é a principal atividade da região e que muitas famílias se dedicam exclusivamente ao cultivo de hortaliças. O comportamento dos produtores com relação aos recursos naturais se mostrou bem dividido entre os entrevistados, o que evidencia a necessidade programas de conscientização sobre a relação entre homem e ambiente. Desta forma, a ferramenta apresentada se mostrou de grande valia para o diagnóstico socioambiental para pequenos agricultores.

Com os resultados, pode-se concluir que a bacia do rio Paiol encontra-se em estágio de degradação menos avançado que a bacia do Alto rio Sorocabuçu. O que pode ser afirmado com a identificação das áreas prioritárias para recuperação. No entanto, estudos comparativos da qualidade dos recursos hídricos das duas bacias são essenciais para a determinação concreta dessa diferença, uma vez que é importante que se compare os impactos proporcionados pelo cultivo orgânico com os impactos do cultivo convencional.

Desta forma, o presente trabalho gerou importantes resultados, tanto para as áreas de estudo quanto para a adaptação e aplicação em outras áreas. Além disso, são levantadas necessidades de estudos, para que se aprimorem em modelos propostos e se compreenda melhor as relações entre a ação antrópica e os recursos naturais.

8 Referências Bibliográficas

- ABRAMOVAY, R. Agricultura familiar e uso do solo. **São Paulo em pesquisa**, v. 11, n. 2, p. 73–78, 1997.
- ACUTIS, M.; DONATELLI, M. SOILPAR 2.00: software to estimate soil hydrological parameters and functions. **European Journal of Agronomy**, n. 18, p. 373–377, 2003.
- ADDINSOFT. **XLStat 2010**. Copyright © Addinsoft, 1995-2010.
- ALEXANDER, E.B. Bulk density of Californian soils in relation to other soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p.689–692, 1980

- ALMEIDA, C.X.; CENTURION, J.F.; FREDDI, O.S.; JORGE, R.F.; BARBOSA, J.C. Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo a penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, 2235-2243, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n6/v32n6a03.pdf>>. Acesso em: 17 Ago 2010.
- ALMEIDA, J.A.; TORRENT, J. BARRÓN, V. Cor de solo, formas de fósforo e adsorção de fosfatos em latossolo desenvolvido de basalta do extremo-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 985-1002, 2003.
- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, Feb. 2004.
- ARAUJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1009-1108, 2007.
- ARAUJO, E.A.; LANI, J.L.; AMARAL, E.F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de ARGISSOLO AMARELO distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 307-315, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n2/20213.pdf>>. Acesso em: 17 Ago 2010.
- ARAUJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R.. Indicadores biológicos de qualidade de solo. **Biosciense Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66 – 75, jul./set., 2007.
- ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004.
- ASSIS, R.L.; LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, 2005.
- AUTODESK. **AutoCAD Land Development (Release 2i)**. Autodesk, Inc., 2000.
- BASALDI, O.V. Mudanças no meio rural e desafios para o desenvolvimento sustentável. **São Paulo em perspectiva**, v. 15, n. 1, p. 155-165, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/spp/v15n1/8599.pdf>>. Acesso em: 18 Ago 2010
- BAUMGARTNER, N.; ELRICK, D.E.; BRADSHAW, K.L. **In-situ hydraulic conductivity measurements of slowly permeable materials using modified Guelph Permeameter and the Guelph Infiltrometer**. In: NATIONAL OUTDOOR CONFERENCE ON AQUIFER RESTORATION, GROUND WATER MONITORING AND

- GEOPHYSICAL METHODS, 1., Las Vegas. **Anais...** Dublin, Ohio: National Water Well Association, 1987. p. 469-483.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, 677-683, 2004.
- BENITES, V.M.; MENDONÇA, S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 215-221, 1998.
- BERTOL, I. Erosão hídrica em CAMBISSOLO HÚMICO distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 267-271, 1994.
- BERTOL, I.; SANTOS, J. C. P. Uso do solo e propriedades físico-hídricas no planalto catarinense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 263-267, 1995.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; AMARAL, J. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico Alumínico Léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 465-471, 2002.
- BOEIRA, R.C.; LIGO, M.A.V.; DYNIA, J.F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodo de esgotos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1639-1647, 2002.
- BOLSON, M.A. **A biogeoquímica do rio Urupá, Rondônia**. 2006, 77 f. Dissertação (Mestrado em Química na Agricultura e no Ambiente) – Curso de Pós-graduação em Química na Agricultura e no Ambiente. CENA/USP, 2006.
- BOTELHO, M.R.; DALMOLIN, R.S.D.; PEDRON, F.A.; AZEVEDO, A.C.; RODRIGUES, R.B.; MIGUEL, P. Medida da cor em solos do Rio Grande do Sul com a carta de Munsell e por colorimetria. **Ciência Rural**, v. 36, n. p. 1179-1185, 2006.
- BUDIMAN, M.; BRATNEY, A. B. M.; MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SANTOS, H. G. **Revisão sobre funções de pedotransferência (PTFs) e novos métodos de predição de classes e atributos do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 50 p. Disponível em: <www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/pedotransferencia.pdf>. Acesso em: 21 Fev. 2009.
- CALIJURI, M.L.; ALVES, J.E.M.; BAPTISTA, A.C.; SANTIAGO, A.F.; LOURES, S.S.P. Proposta metodológica para geração da carta de fragilidade ambiental, utilizando lógica fuzzy e combinação linear ponderada. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 13., Florianópolis. Anais 2007, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p.

- 3311–3318. Disponível em: <mar.te.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbst/2006/11.13.15.54/doc/3311.pdf>. Acesso em: 22 Fev. 2009.
- CAMPOS, R. C.; DEMATTÊ, J. A. M. Cor do solo: uma abordagem da forma convencional de obtenção em oposição à automatização do método para fins de classificação de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 853-863, 2004.
- CAMPOS, R. C. **Determinação da cor do solo e sua utilização na predição dos teores de hematita**. 71 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, 2001.
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um CAMBISSOLO cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n5/v27n5a18.pdf>>. Acesso em: 17 Ago 2010.
- CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, 2009.
- CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 695-703, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n4/a14v27n4.pdf>>. Acesso em: 19 Ago 2010.
- CARVALHO, E.J.M. **Efeito de sistemas de manejo sobre algumas propriedades físicas e químicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico distrófico, fase terraço e sobre a produção de soja**. 1984. 73 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, 1984.
- CASSOL, E.A. & LIMA, V.S. **Erosão em entressulcos em um Podzólico Vermelho-Amarelo do Rio Grande do Sul sob diferentes preparos do solo e manejo de resíduos culturais**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 7., Fortaleza, 1998. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.354-355.
- CASTRO, C.N.; MOLIN, J.P. **Agricultura de Precisão: Condutividade Elétrica**. Grupo Cultivar Publicações, 2006.

- CASTRO, O.M.; LOMBARDI NETO, F.; QUAGGIO, J.A.; MARIA, I.C.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 10, p. 181-308, 1986.
- CAVERNAGE, A.; MORAES, M. L.T.; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.A.C.; FREITAS, M.L.M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 997-1003, 1999.
- CENTURION, J.F.; CARDOSO, J.P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 254-258, 2001.
- CHICATI, M.L.; NANI, M.R.; CÉSAR, E.; DEMATTÊ, J.A.M.; OLIVEIRA, R.B. Caracterização de alguns atributos do solo e sua correlação com a paisagem em uma porção noroeste do Estado do Paraná. **Acta Sci. Agron.**, v. 30, p. 719-724, 2008.
- CHORLEY, R. J; KENNEDY B. **Physical Geography: a system's approach**. Prentice Hall Inc, 1971.
- 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**, v. 27, n. 4, p. 743-753, 2003.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL. **Relatório de Situação da UGRHI – 11**. São Paulo: FUNDESPA, 2008.
- COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS. **Nossas Águas**. Sorocaba: Comitê de Bacias Hidrográficas dos Rios Sorocaba e Médio Tietê, 2006.
- CORREA, J.C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um LATOSSOLO AMARELO da Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 107-114, 1995.
- COSTA NETO, P. L. O. C. **Estatística**. São Paulo: Edgar Blüncher Ltda., 2002.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

- CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.
- CURTIS, R.O.; POST, B.W. Estimating bulk density from organic matter content in some Vermont forest soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 28, p. 285–286, 1964.
- DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, C.N.; KLAMT, E.; DICK, D.P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, v. 35, n.2, p. 481-489, 2005.
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/%0D/pab/v39n2/19853.pdf>>. Acesso em: 17 Ago 2010.
- DEL GROSSI, M.E. **Evolução das ocupações não-agrícolas no meio rural brasileiro: 1981-1995**. 1999. 220 f. Tese (Doutorado em Ciência Econômica). Campinas, IE/Unicamp.
- DIECKOW, J.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; ZANATTA, J.A.; MARTIN-NETO, L.; MILORI, D.B.M.; SALTON, J.C.; MACEDO, M.M.; MIELNICZUK, J., HERNANI, L.C. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**, v.60, p. 240-249, 2009.
- DONHA, A.G.; SOUZA, L.C.P.; SUGAMOSTO, M.L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 175-181, 2006. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n1/v10n1a26.pdf>>. Acesso em: 12 Ago 2010.
- EASTMAN, R. **Idrisi Andes 15.0 The Andes Version**. Copyright © 1987-2006. Clark University.
- EASTMAN, J. R. **Tutorial: Idrisi Andes**. Worcester: Clark University, 2006.
- EGUCHI, E.S.; SILVA, E.L.; OLIVEIRA, M.S. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado e da taxa de infiltração básica determinadas in situ. **Ciência Agrotécnica**, especial, p. 1607-1613, 2003. Disponível em: <http://www.editora.ufla.br/site/_adm/upload/revista/27-E-2003_21.pdf>. Acesso em: 18 Ago 2010.

- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Banco de Dados Climáticos do Brasil**. Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 2003. Acesso em 31 jul 2009. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 10 Ago. 2009.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. 247 p.
- ESRI. **ArcGis 9.2**. Copuright © ESRI Inc, 2006.
- FARIA, N.M.X.; FACCHINI, L.A.; FASSA, A.G.; TOMASI, E. Processo de produção rural e saúde na serra gaúcha: um estudo descritivo. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 16, n. 1, p. 115-128, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csp/v16n1/1570.pdf>>. Acesso em: 18 Ago 2010.
- FERNANDEZ, R.N. & SCHULZE, D.G. Munsell colors of soils simulated by mixtures of goethite and hematite with kaolinite. **Pflanzenernähr Boden**, n. 155, p. 473-478, 1992.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de LATOSSOLOS da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 515-524, 1999. Disponível em: <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v23n3a04.pdf>>. Acesso em: 16 Ago 2010.
- FREITAS, N.P.; GARCIA, J.P.M.; KAWAKUBO, F.S.; LUCHIARI, A.; SILVA FILHO, N.L.; ARGOUD, L.; MORATO, R.G.; PEÇANHA, M.P.; TAKAKI, M. Sistema de informações ambientais da bacia hidrográfica da represa de Itupararanga como suporte à implantação de uma Área de Proteção Ambiental no estado de São Paulo. **Revista Geografia e Pesquisa**, v. 2, n. 1, p. 17-31, 2008.
- GABRIEL, R.; SILVA, E. Metodologia para avaliar as atitudes face ao ambiente. **CEEAPLA Working Paper**, n. 2, 2005. Disponível em: <<http://www.uac.pt/ceeapla/pt/pdf/papers/Paper02-2005.pdf>>. Acesso em: 18 Ago 2010.
- GARCÍA-SINOVAS, D.; REGALADO, C.; MUÑOZ-CARPENA, R.; ÁLVAREZ-BENEDI, J. Comparación de los permeámetros Guelph e Philip-Dunne para la estimación de la

- conductividad hidráulica del suelo. In: Rodríguez, J.J.L.; Sáenz-Badillos, M.Q. **Temas de investigación en zona no saturada**. Universidad Publica de Navarra, 2001. v. 1, p. 31-36.
- GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle size analysis. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.383-411.
- GOLDEN SOFTWARE. **Surfer 8**. Copyright © Golden Software Inc., 2002.
- GOMES, J.B.V.; CURI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C.; MARQUES, J.J.G.S.M.; SCHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, 2004.
- GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 307-313, 1999.
- HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO, A. P. F.; MARTINS, E. S.; DRUCK, S.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; SANTOS, N. B. F.; REATTO, A. **Morfometria como suporte para elaboração de mapas pedológicos: I. Bacias hidrográficas assimétricas**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002.
- HERNANI, L. C.; KURIAHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 23, p. 145-154, 1999.
- HORTON, R.E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology**. **Bulletin of the Geological Society of America** 56, 2 75-3 70, In: Huggett, R. (1980) *Systems analysis in Geography*. New York: Oxford University, 1945.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2. ed.. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1984). **Base Cartográfica 1:50.000**. IBGE, São Paulo.
- INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Image Catalog**. INPE, 2009. Disponível em: <www.dgi.inpe.br>. Acesso em: 20 Jun. 2009.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981.

- KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAES, L.F.D.; ENGEL, V.L.; GANDARA, F.B. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. 340 p.
- KAWAKUBO, F.S.; MORATO, R.G.; CAMPOS, K.C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J.L.S. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento**. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 12., Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2203–2210. Disponível em: <marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.16.10/doc/2203.pdf>. Acesso em: 22 Fev. 2009.
- KENG, J.C.W.; UEHARA, G. Chemistry, mineralogy and taxonomy of Oxisols and Ultisols. **Proc. Soil Crop Sci. Soc.**, v. 33, p. 119-126, 1974.
- KHONKE, H. **Soil physics**. 2. ed. New York: MacGraw Hill, 1969. 224p.
- KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Condutividade hidráulica de um LATOSSOLO ROXO, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v32n6/12738.pdf>>. Acesso em: 16 Ago 2010.
- KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Econômica, Ciudad del México, 1948.
- LANDIM, P.M.B. **Análise Estatística de Dados Geológicos**. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2003. 254 p.
- LEMOS, C.A.; GUERRA, T. Aspectos dos usos da água, agrotóxicos e percepção ambiental no meio rural, Maquiné, RS, Brasil. **Geografia**, v. 13, n. 2, 2004. Disponível em: <<http://www2.uel.br/revistas/geografia/v13n2/7.pdf>>. Acesso em: 18 Ago 2010.
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 3. ed. Nova York: Wiley & Sons, 1994. 750 p.
- LIMA, F.R.; MARTINELLI, M. **As unidades ecodinâmicas na cartografia ambiental de síntese**. In: Simpósio de Pós-graduação em Geografia do Estado de São Paulo, 1., Rio Claro. **Anais...** Rio Claro: UNESP, 2008. p. 440-448.
- LIRA, E.M.; WADT, P.G.S.; GALVÃO, A.S.; RODRIGUES, G.S. Avaliação da capacidade de uso da terra e dos impactos ambientais em áreas de assentamento na Amazônia ocidental. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, p. 316-326, 2006. Disponível em: <<http://eduep.uepb.edu.br/rbct/sumarios/pdf/usodaterra.pdf>>. Acesso em: 18 Ago 2010.

- LOVATO, J.; MIELNICZUK, C.; BAYER, F.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, 2004.
- LUIZ, A.J.B.; SILVEIRA, M.A. Diagnóstico rápido e dialogado em estudos de desenvolvimento rural sustentável. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 83-91, 2000. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pab/v35n1/6903.pdf>>. Acesso em: 18 Ago 2010.
- MAFRA, A.L.; GUEDES, S.F.F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J.C.P.; ALMEIDA, J.A., ROSA, J.D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.217-224, 2008.
- MANFRÉ, L.A.; RONQUIM, F.M.; OGIHARA, V.H.; SILVA, A.M.; URBAN, R.C. Potencial de Ocorrência de Avarias Ambientais em bacias hidrográficas com ocupação rural mediante análise morfométrica. **Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil**, v. 10, p. 23-32, 2010.
- MARQUES NETO, R. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Geografia**, Londrina, v. 17, n. 2, p. 67-87, 2008. Disponível em: < <http://www2.uel.br/revistas/geografia/v17n2/5.pdf>>. Acesso em: 12 Ago. 2010.
- MAZZOLENI, E.M.; NOGUEIRA, J.M. Agricultura orgânica: características básicas de seu produtor. **Revista de Estudos Rurais**, Rio de Janeiro, v. 44, n. 2, p. 263 – 293, abr./jun., 2006. Disponível em: <www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032006000200006>. Acesso em: 22 Fev. 2009.
- MICROSOFT CORPORATION. **Excel 2007**. Copyright © Microsoft Corporation 1985-2006.
- MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.I. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 30-37, 2006.
- MOREIRA, A.; COSTA, D.G. Dinâmica da matéria orgânica na recuperação de clareiras da floresta amazônica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 10, p. 1013-1019, 2004.
- MUNSELL SOIL COLOR COMPANY. Munsell soil color charts, Baltimore, 1975. 1v. 117p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Soil and water quality: an agenda for agriculture**. Washington: National Academic Press, 1993. Disponível em:

- <http://books.google.com/books?id=O7_W86NfMqsC&pg=PA211&l>. Acesso em: fevereiro de 2009.
- NEU, V.; KRUSCHE, A.V.; FERRAZ, J.B.; FERREIRA, S. **Nutrientes na interface solo-planta-água**. In: Congresso de Estudantes e Bolsistas do Experimento LBA, 2., Manaus. **Anais...** Manaus: LBA, 2005. p. 20. Disponível em: <http://www.lbaconferencia.org/manaus_conf_2005/resumos_julho2005.pdf>. Acesso em: 18 Ago 2010.
- NEVES, C.M.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; MACEDO, R.L.G., TOKURA, A.M. Estoque de carbono em sistema agrossilvopastoril, pastagem e eucáipto sob cultivo convencional na região Noroeste do Estado de Minas Gerais. **Ciência Agropecuária**, v. 28, n. 5, p.1038-1046, 2004.
- NOGUEIRA, S.F.; CARMO, J.B.; MONTES, C.R.; VICTORIA, R.L.; RAVAGNANI, E.C.; BARUFALDI, R.O. Indicadores eco-fisiológicos da qualidade de um solo irrigado com esgoto tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, suplemento, 2005.
- ^aOLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodos de esgoto em LATOSSOLO AMARELO distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, no. 26, pp. 505-519, 2002.
- ^bOLIVEIRA, L.B.; RIBEIRO, M.R.; JACOMINE, P.K.T.; RODRIGUES, J.J.V.; MARQUES, F.A. Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 315-323, 2002. Disponível em: <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v26n2a04.pdf>>. Acesso em: 17 Ago 2010.
- OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B.; **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: Legenda Expandida**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1999. 64 p.
- OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L.M.; CRUZ, C.D. Importância relativa dos metais pesados do solo na identificação e separação de materiais de origem. **Revista Ceres**, v. 260, n. 45, p. 359-371, 1998.
- PEREZ, K.S.S.; RAMOS, M.L.G.; McMANUS, C. Nitrogênio de biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 137-144, 2005.

- PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L.P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes uso e práticas de manejo agrícola. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 4, n. 2, 2009. Disponível em: <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/211/pdf_259>. Acesso em: 28 Out 2010.
- PIVELLO, V.R.; BITENCOURT, M.D.; MANTOVANI, W.; MESQUITA JUNIOR, H.N.; BATALHA, M.A.; SHIDA, C.N. Proposta de Zoneamento ecológico para a Reserva de Cerrado Pé-de-Gigante (Santa Rita do Passa Quatro-SP). **Brazilian Journal of Ecology**, Rio Claro, v. 2, n. 2, 1998. Disponível em: <http://eco.ib.usp.br/lepac/conservacao/Artigos/83_zoneamento_eco.pdf>. Acesso em: 12 Ago 2010.
- PRADO, J.P.B.; NÓBREGA, M.T. Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). **Acta Scientia Technology**, v. 27, n. 1, p. 33-42, 2005.
- RAWLS, W.J. Estimating soil bulk density from particle size analysis and organic matter content. **Journal of Soil Science**, v. 135, p. 123–125, 1983.
- REIS NAKASHIMA, M.S. Carta de fragilidade ambiental da bacia do rio Keller, Estado do Paraná: subsídio ao estudo de processos erosivos. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 6, p. 1547-1560, 2001.
- ROCKENBACH, C.A. **Erosão em entressulcos sob diferentes coberturas por resíduos de trigo em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo sob chuva simulada**. 1992. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.
- RODRIGUES, G.S.; CAMPANHOLA, C. Sistema integrado de avaliação do impacto ambiental aplicado a atividades do Novo Rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 4, 445-451, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v38n4/a01v38n4.pdf>>. Acesso em: 18 Ago 2010.
- RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. **Matas ciliares: Conservação e Recuperação**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 2009. 320 p.
- RODRIGUES, R.V.; CASTRO, E.R.; TEIXEIRA, E.C. Avaliação de uma política de estabilização de renda para a agricultura familiar. **Revista de Estudos Rurais**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 1, p. 139 – 162, jan./mar., 2007.

- ROQUE, C.G.; CENTURION, J.F.; ALENCAR, G.V.; BEUTLER, A.N.; PEREIRA, G.T.; ANDRIOLI, I. Comparação de dois penetrômetros na avaliação da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 53-57, 2005.
- ROSA, R. **Metodologia para Zoneamento de Bacias Hidrográficas Utilizando Produtos de Sensoriamento Remoto e Integrados por Sistema de Informação Geográfica**. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 9., Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 2203–2210.
- ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.
- ROSS, J.L.S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 6, 1992.
- ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:500000**. São Paulo: FFLECH-USP, IPT/FAPESP, 1997.
- ROTH, C.H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G.B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.241-248, 1991.
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão silte+argila. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 29, p. 297-300. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v29n2/24166.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2010.
- SAMPAIO, T.V.M. **Índice de Concentração da Rugosidade (ICR)**: uma proposta para o mapeamento morfométrico via emprego de geotecnologias. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 13., Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2009.
- SANCHEZ, P.A. Soil organic matter. In: SANCHEZ, P.A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York, John Willey & Sons, 1976. p.162-183.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; Ker, J.C.; Anjos, L.M.C. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 5. ed. Viçosa: Embrapa: 2005. 92 p.
- SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE). **Informação dos Municípios Paulistas (IMP)**. 2008. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br>>. Acesso em: 25 Fev. 2009.

- SCHÄFER, M.J.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; CASSOL, E.A. Erosão em entressulcos em diferentes preparos e estados de consolidação dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 431-441, 2001.
- SCHAPP, M.G.; LEIJ, F.J.; VAN GENUCHTEN, M.T. Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. **Journal of Hydrology**, v. 251 n. 3, 163–176, 2001.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JUNIOR, A.A. Erosão hídrica em CAMBISSOLO HÚMICO alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de água e solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 24, p. 427-436, 2000.
- SIGRH – SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA O GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo**. Secretaria do Meio Ambiente/Governo do Estado de São Paulo, 2009. Disponível em: <www.sigrh.sp.gov.br>. Acesso em: 12 Fev. 2010.
- SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; OLIVEIRA, M.S.; FERREIRA, M.M.; LOMBARDI NETO, F. Comparação entre métodos indiretos e diretos para determinação da erodibilidade em Latossolos sob Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 11, p. 1751-1761, 1994.
- SILVA, A.J.N; RIBEIRO, M.R. Caracterização de latossolo amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: Atributos morfológicos e físicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 1, p. 677-684, 1997.
- SILVA, A.M.; ALVARES, C.A. Levantamento de informações e estruturação de um banco de dados sobre a erodibilidade de classes de solo no Estado de São Paulo. **Revista Geociências**, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005.
- SILVA, A.M., SCHULZ, H.E. e CAMARGO, P.B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. 2ª Edição. RIMA, São Carlos. 2007. p. 140.
- SILVA, A.P. **Biomassa microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo e de culturas típicas da região Norte do Paraná**. 2008. 67 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) Universidade Estadual de Londrina, 2008.
- SILVA, I.C.O.; CABRAL, J.B.P.; SCOPEL, I. Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego da Onça, Jataí (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí, UFG**, n. 11, jul./dez., 2008. Disponível em:

- <www.jatai.ufg.br/ojs/index.php/geoambiente/article/viewFile/566/284>. Acesso em: 24 Fev. 2009.
- SILVA, A.M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; AVANZI, J.C.; FERREIRA, M.M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, 2009 .
- SONNEVELD, M.P.W.; BACKX, M.A.H.M.; BOUMA, J. Simulation of soil water regimes including pedotransfer functions and land-use related preferential flow. **Geoderma**, n. 112, p. 97 – 110, 2003.
- SPÖRL, C.; ROSS, J.L.S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15, p. 39 – 49, 2004. Disponível em: <www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/Geousp/Geousp15/Artigo3.pdf>. Acesso em: 19 Fev. 2009.
- SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do rio Jaguari-Mirim, ribeirão do Quartel e ribeirão da Prata**. 2001. 165 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Curso de Pós-graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, 2001.
- STATSOFT. **Statistica 5.0**. Copyright © Statsoft, Inc. 1999.
- STOLF, R. Teoria de testes experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, v. 15, p. 229-235, 1991.
- STORK, L.; LOPES, S.J.; MARQUES, D.G.; TISSOT, C.A.; ROS, C.A. Análise de covariância para melhoria da capacidade de discriminação em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, 2000.
- STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 755-760, 2004.
- STOLF, R. A compactação do solo e perspectivas de subsolagem em citrus. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 8, p. 283-308, 1987.
- STÜRMER, S.L.K.; ROSSATO, O.B.; COPETTI, A.C.C., RHEINHEIMER, D.S. **Perdas e recuperação de carbono orgânico em um Cambissolo sob diferentes usos**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31., Gramado (RS). **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 20.

- SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, 2003.
- SOUZA, Z.M.; BEUTLER, A.N.; MELO, V.P.; MELO, W.J. Estabilidade de agregados e resistência à penetração em LATOSSOLOS adubados por cinco anos com bio sólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 117-123, 2005.
- SZWARCWALD, C.L.; DAMACENA, G.N. Amostras complexas em inquéritos populacionais: planejamento e implicações na análise estatística dos dados. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 38-45, 2008.
- TAVARES, S.R.L.; MELO, A.S.; ANDRADE, A.G.; ROSSI, C.Q.; CAPECHE, C.L. **Curso de Recuperação de Áreas Degradadas: A Visão da Ciência do Solo no Contexto do Diagnóstico, Manejo, Indicadores de Monitoramento e Estratégias de Recuperação**. Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 2008. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/curso_rad_2008.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2010.
- TEIXEIRA, C.; SANTOS-PINTO, M.; SANTANA, C. **Mapeamento da Cor superficial dos solos do campus da UEFS, Feira de Santana, Bahia**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31., Gramado, Agosto de 2007. Anais 2007. **Anais...** Viçosa: SBCS, 2007.
- THEODORO, V. C. A.; ALVARENGA, M. I. N.; GUIMARÃES, R. J.; SOUZA, C. A. S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 27, 2003, p. 1039 – 1047. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n6/19198.pdf>. Acesso em: 17 Fev. 2009.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. FIBGE/SUPREN, 1977.
- VAN BREEMER, N. Soils as biotic construct favouring net primary productivity. **Geoderma**, v. 57, p.183-211, 1993.
- VASHCHENKO, Y.; FAVARETTO, N.; BIONDI, D. Fragilidade ambiental nos picos de Camacua, Camapuã e Tucum, Campina Grande do Sul, PR. **Revista Floresta**, v. 37, n. 2, 2007.
- VELOSO, H.P., RANGEL FILHO, A.L.R. E LIMA, J.C.A. **Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.
- VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 184 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

- 184p. VIDAL, M.M.; PIVELLO, V.R.; MEIRELLES, S.T.; METZGER, J.P. Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 3, p. 521-532, 2007.
- VIEIRA, S.R. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. **O Agrônomo**, Campinas, v. 50, n.1-2, p.32-33, 1998.
- VIEIRA, L.S. **Manual da Ciência do Solo**. 2ª. ed. São Paulo: Agronômica Ceres. 1988. 464 p.
- VIEIRA, M.J.; COGO, N.P.; CASSOL, E.A. Perdas por erosão, em diferentes sistemas de preparo do solo, para a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merr) em condições de chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 2, p. 209-214, 1978.
- VILLABERDE, M.S. **Agricultura e meio ambiente: posições sociais e estratégias de agricultores assentados em áreas de proteção ambiental**. 119 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural – Agricultura, Meio Ambiente e Sociedade)- Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2002.
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um latossolo vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.
- YARON, B.; CALVET, R.; PROST, R. **Soil Pollution: Processes and Dynamics**. Berlin: Springer, 1996. 313 p.

9 ANEXO A – FOTOS



Foto 1. Área preparada para o cultivo na bacia hidrográfica do rio Paiol.



Foto 2. Cultivo de repolho na bacia hidrográfica do rio Paiol.



Foto 3. Pequena propriedade na bacia hidrográfica do rio Sorocabuçu.



Foto 4. Área de reflorestamento na bacia hidrográfica do rio Paiol.



Foto 5. Solo preparado para o cultivo na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu.



Foto 6. Área de cultivo na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu.



Foto 7. Área com adubação verde na bacia hidrográfica do rio Paiol.



Foto 8. Área de cultivo próxima a fragment florestal na bacia hidrográfica do rio Paiol..



Foto 9. Fragmento florestal próxima à estrada na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu.



Foto 10. Rio Sorocabuçu.



Foto 11. Cultivo e solo exposto em área declivosa na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabuçu.



Foto 12. Solo exposto próximo à curso d'água.