

UFRRJ

INSTITUTO DE FLORESTAS

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

DISSERTAÇÃO

**Proposta Metodológica para Identificação de Áreas
Prioritárias para Recomposição Florestal – Estudo de
Caso: Bacia Hidrográfica do rio Macacu/RJ**

Julia Kishida Bochner

2010



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS
PRIORITÁRIAS PARA RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL – ESTUDO DE
CASO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MACACU/RJ**

JULIA KISHIDA BOCHNER

Sob a Orientação do Professor
Márcio Rocha Francelino

e Co-orientação do Professor
Ricardo Valcarcel

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais.

Seropédica, RJ
Agosto de 2010

Ficha catalográfica

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

JULIA KISHIDA BOCHNER

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Conservação da Natureza.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 24/08/2010

**Márcio Rocha Francelino. Prof.Dr. UFRRJ
(Orientador)**

Marilene de Oliveira Ramos M. dos Santos. Dr^a. Secretária de Estado do Ambiente/RJ

Adacto Benedicto Ottoni. Prof.Dr. UERJ

Leonardo Duarte Batista da Silva. Prof.Dr. UFRRJ

Aos meus queridos e amados pais, Reynaldo
e Elisa, por terem me encorajado ao longo
desta árdua jornada,

Ao meu companheiro de vida, Rafael,
pelo amor e paciência,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo amor, apoio emocional e incentivo.

Ao meu companheiro Rafael pela dedicação e debates que auxiliaram a condução este trabalho.

Ao professor Márcio Rocha Francelino, pela orientação, amizade, confiança e aprendizados.

À toda a equipe do Geoflora pelo auxílio nos trabalhos de geoprocessamento, em especial ao Tom, Stephanie, Magno e Isabela.

Ao Magno Grativol e Aline Damasceno pela ajuda nas coletas de campo.

À coordenação do Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Florestais da UFRRJ pela prestatividade em todos os momentos que precisei.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa de estudos.

Ao professor Ricardo Valcarcel pelas sugestões e pelos valiosos ensinamentos que adquiri ao longo da minha jornada acadêmica.

À Andreia Franco da Gerência de Geoprocessamento e Estudos Ambientais (INEA) pelo auxílio e fornecimento de informações.

Ao Felipe Cito pela ajuda nas análises estatísticas.

Aos meus amigos da Rural pelas várias formas de apoio.

À todos que contribuíram de alguma forma para a elaboração deste estudo.

BIOGRAFIA

JULIA KISHIDA BOCHNER, filha de Reynaldo Bochner e Elisa Kishida Bochner, nascida na cidade do Rio de Janeiro-RJ, em 14 de setembro de 1982.

Cursou o primeiro e segundo grau em Nova Friburgo-RJ, completando o terceiro ano na Atlee High School, nos EUA, Mechanisville, Virginia.

Engenheira Florestal, graduada na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em 2008.

No mesmo ano ingressou no mestrado no Curso de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Florestais da UFRuralRJ.

Em 2009 foi contratada pelo Instituto Estadual do Ambiente – INEA, onde atua na área florestal, conservação dos recursos naturais, recuperação de áreas degradadas e reflorestamentos.

RESUMO

BOCHNER, Julia Kishida. **Proposta metodológica para identificação de áreas prioritárias para recomposição florestal – Estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.** 2010. 135p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

O rio Macacu é tributário da Baía de Guanabara, sendo responsável pelo abastecimento de água de cerca de 2,5 milhões de habitantes. Apesar da evidente importância hidrológica e ambiental a bacia do rio Macacu vem sendo submetida a um forte processo de crescimento econômico que pode comprometer seus serviços ambientais, tornando-se necessário estabelecer estratégias de planejamento regional para que se obtenha um desenvolvimento sustentável. Neste sentido, o levantamento das características físicas e ambientais da bacia, visando identificar áreas com maior vocação para a produção de água, bem como as áreas com maior suscetibilidade à erosão, serve como subsídio para direcionar as ações das políticas públicas, otimizar a alocação dos recursos financeiros e disciplinar usos compatíveis com a produção e qualidade de água. Dentro desse contexto, o presente estudo teve como objetivo identificar áreas prioritárias na bacia do rio Macacu para serem reflorestadas, focando otimizar a quantidade e a qualidade da água produzida. Para a combinação dos fatores/critérios (características físicas e ambientais) foi empregada a abordagem multicriterial, em ambiente SIG, por meio da Combinação Linear Ponderada (CLP), utilizando-se o Módulo MCE (*Multicriteria Evaluation*) do software *IDRISI*. Por meio desta metodologia, os fatores são padronizados para uma escala numérica comum, recebem pesos e são combinados por meio de uma média ponderada. Os critérios adotados para obter o mapa final de prioridades foram: tamanho dos fragmentos florestais; proximidade entre fragmentos; vulnerabilidade à erosão; distância dos centros urbanos e da malha viária; fatores morfométricos; grau de degradação da microbacia (número de áreas degradadas) e usos conflitantes nas Áreas de Preservação Permanente (APP's). Após o cruzamento das informações, o mapa de prioridades foi reclassificado em 5 classes de prioridade: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Foram identificadas 35 microbacias hidrográficas com prioridade muito alta e alta, localizadas, primordialmente, nos terços médio e inferior da bacia hidrográfica. Estas microbacias apresentam aproximadamente 9.380 ha cobertos por atividades antrópicas, destacando-se as pastagens que ocupam 8.746 ha, estando a maior parte delas exauridas e degradadas. Estas áreas de pastagens subutilizadas poderiam, por meio de políticas públicas eficientes, serem indicadas para a recomposição florestal, visando gerar resultados ecológicos e hidrológicos mais consistentes para a região. Conclui-se que a avaliação multicritérios utilizada para definição de áreas prioritárias à recomposição florestal se mostrou adequada para o objetivo proposto, onde a visualização do mapa final mostrou-se efetiva na espacialização geográfica das áreas mais indicadas para os projetos de reflorestamento, auxiliando na tomada de decisões.

Palavras-chave: Manejo de bacias. Fatores físico-ambientais. Análise multicriterial.

ABSTRACT

BOCHNER, Julia Kishida. **Proposed methodology for the identification of priority areas for forest recovery - A case study: Macacu's river basin.** 2010. 135p. Dissertation (Master Science in Environmental Science and Forestry). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

The Macacu river is a tributary of Guanabara's Bay and is responsible for water supply of about 2.5 million inhabitants. Despite the evident hydrological and environmental importance the Macacu River basin has been subjected to an intense process of economic growth that can compromise their environmental services, making necessary the establishment of regional planning strategies to obtain a sustainable development. In this sense, the survey of environmental and physical characteristics of the basin, to identify areas with greater vocation for the production of water as well as areas with greater susceptibility to erosion, serves as a subsidy to direct the actions of public policy, optimize the allocation of financial resources and disciplinary uses consistent with the production and water quality. Within this context, this study aims to identify priority areas in the Macacu's river basin to be reforested, focusing on optimizing the quantity and quality of water produced. To combine the factors was used multicriteria evaluation (Weighted Linear Combination), using the module MCE (Multicriteria Evaluation) in the software *IDRISI*. Through this methodology, the factors are standardized to a common numerical scale, receive weights and are combined using a weighted average. The criteria adopted to obtain the final map of priorities were: size of forest fragments; proximity between fragments; vulnerability to erosion, distance to urban centers and road network; morphometric factors, degree of degradation of the watershed (number of degraded areas) and conflicting use into the Areas of Permanent Preservation (APP). After crossing information, the priorities map was reclassified into five classes of priority: very low, low, medium, high and very high. Thirty five watersheds were identified as priority, located mainly in medium and lower sector of the water basin. These watersheds have approximately 9380 ha covered by human activities, especially the pastures that occupy 8746 ha, mostly depleted and degraded. These pasture areas could, by efficient public policies, be indicated to the forest recovery, generating more consistent hydrological results for the region. It could be concluded that the multicriteria evaluation used to define priority areas for forest recovery was adequate for the objective, since the viewing of the final map shown to be effective in the spatialization of the areas most suitable for reforestation projects, serving as decision suport.

Key words: Watershed management. Physical-environmental factors. Multicriteria evaluation.

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1: Classificação da declividade segundo EMBRAPA (1979)..... | 21 |
| Tabela 2: Classificação da drenagem em bacias hidrográficas | 23 |
| Tabela 3: Critérios utilizados para valoração dos intervalos de classe | 25 |
| Tabela 4: Classes estabelecidas para a variável Coeficiente de Compacidade (Kc) e seus respectivos pesos..... | 25 |
| Tabela 5: Classes estabelecidas para a variável declividade média e seus respectivos pesos. | 26 |
| Tabela 6: Classes estabelecidas para a variável altitude média e seus respectivos pesos..... | 26 |
| Tabela 7: Classes estabelecidas para a variável orientação e seus respectivos pesos..... | 28 |
| Tabela 8: Classes estabelecidas para a variável Radiação Solar e seus respectivos pesos. | 28 |
| Tabela 9: Classes estabelecidas para a variável Densidade de Drenagem e seus respectivos pesos. | 29 |
| Tabela 10: Valoração das diferentes classes de solo | 30 |
| Tabela 11: Valoração das diferentes classes pluviométricas. | 31 |
| Tabela 12: Valoração das diferentes classes de uso do solo. | 31 |
| Tabela 13: Valoração das diferentes classes de declividade. | 32 |
| Tabela 14: Intervalos de classes de tamanho dos fragmentos florestais e seus respectivos pesos. | 34 |
| Tabela 15: Intervalos de classe, referentes à porcentagem de usos conflitantes dentro de cada microbacia e seus respectivos pesos. | 35 |
| Tabela 16: Intervalos de classe, referentes ao número de áreas degradadas dentro de cada microbacia e seus respectivos pesos. | 36 |
| Tabela 17: Uso do solo na bacia hidrográfica do rio Macacu-RJ..... | 51 |
| Tabela 18: Número de microbacias por classes de declividade | 68 |
| Tabela 19: Porcentagens de uso do solo dentro das Áreas de Preservação Permanente da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 89 |
| Tabela 20: Balizamento para comparação da importância entre os pares de critérios, baseando-se nos valores fornecidos pelos especialistas. | 102 |
| Tabela 21: Matriz de comparação pareada entre os mapas de fatores..... | 103 |
| Tabela 22: Pesos ponderados obtidos da matriz de comparação pareada..... | 103 |
| Tabela 23: Microbacias hidrográficas classificadas como de prioridade muito alta e alta..... | 105 |
| Tabela 24: Uso do solo nas microbacias hidrográficas classificadas como prioritárias. | 109 |
| Tabela 25: Usos do solo nas Áreas de Preservação Permanente das microbacias hidrográficas classificadas como prioritárias..... | 109 |
| Tabela 26: Percentual da variação total explicada pelas componentes principais. | 112 |
| Tabela 27: Teste de aleatorização (5000 iterações). | 112 |
| Tabela 28: Coeficientes de correlação linear entre as variáveis originais e os dois primeiros componentes principais. | 114 |
| Tabela 29: Análise comparatória entre as microbacias hidrográficas. | 115 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 10 |
| Figura 2: Mapa Geológico da bacia hidrográfica do rio Macacu. | 13 |
| Figura 3: Padrões de paisagem ocorrentes na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ (a) parte baixa da bacia e (b) parte alta da bacia. | 15 |
| Figura 4: Padrões de relevo existentes no interior da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 16 |
| Figura 5: Conformação das margens do rio Macacu a jusante (a) e a montante (b) do município de Cachoeiras de Macacu/RJ. | 16 |
| Figura 6: Atividade clandestina de extração de areia no leito do rio Macacu/RJ. | 17 |
| Figura 7: Classes de uso do solo no interior da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 19 |
| Figura 8: Representação esquemática da orientação (exposição) da microbacia hidrográfica. ... | 22 |
| Figura 9: Orientação das microbacias. | 22 |
| Figura 10: Classificação dos cursos d'água. | 23 |
| Figura 11: Representação esquemática da obtenção do mapa de fatores morfométricos das microbacias hidrográficas. | 24 |
| Figura 12: Escala de prioridades para as variáveis dentro dos planos de informação. | 25 |
| Figura 13: Mapa de isoietas da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 27 |
| Figura 14: Escala de temperatura e umidade em função da orientação da microbacia hidrográfica. | 27 |
| Figura 15: Representação da ferramenta <i>Extraction by Mask</i> do programa <i>ArcGIS 9.3</i> , para obtenção de valores apenas dentro dos limites definidos pelo usuário. | 37 |
| Figura 16: Representação esquemática da Combinação Linear Ponderada. | 38 |
| Figura 17: Esquema representativo da combinação dos diferentes critérios utilizados na geração do mapa final de prioridades. | 39 |
| Figura 18: Representação esquemática da padronização dos dados dos diferentes planos de informação. | 40 |
| Figura 19: Escala contínua para elaboração da matriz de comparação pareada. | 41 |
| Figura 20: Mapa das microbacias da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 43 |
| Figura 21: Número de microbacias por classes de tamanho. | 44 |
| Figura 22: Modelo Digital de Elevação da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 45 |
| Figura 23: Padrão da paisagem na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 45 |
| Figura 24: Padrão da paisagem na parte média da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 46 |
| Figura 25: Padrão da paisagem na parte alta da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 46 |
| Figura 26: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 47 |
| Figura 27: Mapa da face de exposição das encostas da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 48 |
| Figura 28: Mapa da Radiação Solar Global Anual da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 49 |
| Figura 29: Detalhe da radiação solar em um trecho da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 50 |
| Figura 30: Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 50 |
| Figura 31: Floresta densa, situada nas partes mais altas da bacia hidrográfica do rio Macacu e associada aos afloramentos rochosos. | 52 |
| Figura 32: Distribuição geográfica dos fragmentos florestais na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 52 |
| Figura 33: Domínio de campos de altitude em setores da parte alta da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 53 |
| Figura 34: Classes de solos da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 54 |

| | |
|---|----|
| Figura 35: (a) Perfil de GLEISSOLO e (b) Posição de ocorrência dessa classe de solo na paisagem da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 55 |
| Figura 36: (a) Perfil do PLANOSSOLO e (b) Posição de ocorrência dessa classe de solo na paisagem da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 56 |
| Figura 37: (a) NEOSSOLO FLÚVICO Eutrófico textura indiscriminada fase floresta tropical subperenifólia relevo plano e (b) Posição de ocorrência nas áreas de baixada. | 57 |
| Figura 38: Exemplos de perfis de LATOSSOLO VERMELHO abertos na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. (a) LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado textura franco argilosa fase floresta tropical subperenifólia relevo forte ondulado (Perfil 4) e (b) LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado textura argilosa fase floresta tropical subperenifólia relevo forte ondulado (Perfil 2). | 58 |
| Figura 39: Posição de ocorrência de LATOSSOLO VERMELHO na paisagem da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. (a) Vista do terço superior onde foi aberta trincheira para descrição e coletas de amostras de terra (Perfil 4) e (b) Abertura de trincheira em terço médio de encosta para descrição e coletas de amostras de terra (Perfil 2). | 58 |
| Figura 40: Exemplos de perfis de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO abertos na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. (a) LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura franco argiloarenosa fase floresta tropical subperenifólia relevo plano (Perfil 7) e (b) LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa fase floresta tropical subperenifólia relevo forte ondulado (Perfil 8). | 59 |
| Figura 41: Posição de ocorrência de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO na paisagem da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. (a) Vista do topo de morro onde foi aberta trincheira para descrição e coletas de amostras de terra (Perfil 7) e (b) Vista do terço médio de encosta onde foi realizada a descrição e coleta de amostras de terra em barranco (Perfil 10). | 59 |
| Figura 42: (a) LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa fase floresta tropical subperenifólia relevo forte ondulado (Perfil 6) e (b) Posição de ocorrência de LATOSSOLO AMARELO na paisagem da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 60 |
| Figura 43: (a) ARGISSOLO VERMELHO Distrófico latossólico A moderado textura argilosa fase floresta tropical subperenifólia relevo suave ondulado (Perfil 1) e (b) Posição de ocorrência em terço superior de morro (Perfil 1). | 61 |
| Figura 44: (a) ARGISSOLO AMARELO Distrófico abruptico A moderado textura muito argilosa fase floresta tropical subperenifólia relevo forte ondulado (Perfil 3) e (b) Posição de ocorrência em terço inferior de encosta (Perfil 3). | 62 |
| Figura 45: (a) Perfil do ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO e (b) Posição de ocorrência dessa classe de solo na paisagem da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 62 |
| Figura 46: (a) CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico A moderado textura franco-argilosa fase floresta tropical perenifólia relevo forte ondulado (Perfil JM4) e (b) CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico A moderado textura franco-argilosa fase floresta tropical perenifólia relevo forte ondulado (Perfil JM6). | 63 |
| Figura 47: Posição de ocorrência de CAMBISSOLOS HÁPLICOS na paisagem da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 63 |
| Figura 48: (a) NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário A moderado textura franco-arenosa fase floresta tropical perenifólia relevo forte ondulado à montanhoso (Perfil JM5) e (b) Posição de ocorrência de NEOSSOLO LITÓLICO na paisagem da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 64 |
| Figura 49: Distribuição das microbacias em relação ao ordenamento dos canais de drenagem. . | 65 |
| Figura 50: Classificação das microbacias hidrográficas segundo a hierarquia fluvial. | 66 |

| | |
|---|----|
| Figura 51: Classificação das microbacias hidrográficas segundo o coeficiente de compacidade. | 67 |
| Figura 52: Distribuição das microbacias em relação ao Coeficiente de Compacidade. | 67 |
| Figura 53: Distribuição das microbacias em relação à declividade média | 68 |
| Figura 54: Classificação das microbacias hidrográficas segundo a declividade média (%) | 69 |
| Figura 55: Distribuição das microbacias em relação à Altitude Média (m). | 69 |
| Figura 56: Classificação das microbacias hidrográficas segundo a altitude média (m). | 70 |
| Figura 57: Distribuição das microbacias em relação à Orientação. | 71 |
| Figura 58: Classificação das microbacias hidrográficas segundo a orientação. | 72 |
| Figura 59: Classificação das microbacias hidrográficas segundo a Radiação Global Anual Média (Kwh/m ²). | 73 |
| Figura 60: Distribuição das microbacias em relação à Radiação Global Anual Média (Kwh/m ²). | 73 |
| Figura 61: Distribuição das microbacias em relação à Densidade de Drenagem (Km/Km ²). | 74 |
| Figura 62: Classificação das microbacias hidrográficas segundo a Densidade de drenagem (Km/Km ²). | 75 |
| Figura 63: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação os fatores morfométricos. | 76 |
| Figura 64: Mapa de precipitação da bacia hidrográfica do rio Macacu. | 77 |
| Figura 65: Mapa de vulnerabilidade à erosão da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 79 |
| Figura 66: Classes de vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 80 |
| Figura 67: Área da bacia hidrográfica ocupada pelos diferentes graus de vulnerabilidade à erosão. | 80 |
| Figura 68: Sobreposição dos limites do Parque Estadual dos Três Picos dentro da bacia hidrográfica do rio Macacu e as áreas enquadradas como de vulnerabilidade à erosão muito alta. | 81 |
| Figura 69: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação ao fator vulnerabilidade à erosão. | 82 |
| Figura 70: Mapa de distância entre os fragmentos florestais existentes dentro da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 83 |
| Figura 71: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação ao fator distância entre fragmentos florestais. | 84 |
| Figura 72: Mapa final de proximidade entre os maiores fragmentos existentes dentro da bacia hidrográfica dentro da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 86 |
| Figura 73: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação ao fator proximidade entre os maiores fragmentos florestais. | 87 |
| Figura 74: Mapa das Áreas de Preservação Permanente da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 88 |
| Figura 75: Porcentagem de uso conflitante nas áreas de preservação permanente de cada uma das microbacias analisadas. | 90 |
| Figura 76: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação ao fator uso conflitante nas áreas de preservação permanente. | 91 |
| Figura 77: Fontes pontuais de emissão de sedimentos identificadas na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 92 |
| Figura 78: Exemplificação de fontes pontuais de emissão de sedimentos, dentro da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 93 |
| Figura 79: Exemplificação de fontes pontuais de emissão de sedimentos, dentro da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. | 93 |

| | |
|---|-----|
| Figura 80: Número de fontes pontuais de emissão de sedimentos de cada uma das microbacias analisadas..... | 94 |
| Figura 81: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação ao fator número de fontes pontuais de emissão de sedimentos..... | 95 |
| Figura 82: Mapa da malha viária da bacia do rio Macacu e suas distâncias..... | 96 |
| Figura 83: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação ao fator distância da malha viária..... | 97 |
| Figura 84: Núcleos urbanos dentro da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ..... | 98 |
| Figura 85: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação ao fator distância dos centros urbanos..... | 99 |
| Figura 86: Mapa final de distância da malha viária e centros urbanos na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ..... | 100 |
| Figura 87: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação ao fator distância da malha viária e dos centros urbanos..... | 101 |
| Figura 88: Mapa das áreas prioritárias para recomposição florestal na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ..... | 104 |
| Figura 89: Representação dos graus de prioridade entre os diferentes setores da microbacia hidrográfica (ex.: microbacia nº 138)..... | 105 |
| Figura 90: Mapa das classes de prioridade das microbacias da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ..... | 106 |
| Figura 91: Caracterização física das microbacias hidrográficas classificadas como de prioridades muito alta e alta..... | 107 |
| Figura 92: Dendrograma de agrupamento das microbacias hidrográficas da bacia do rio Macacu/RJ..... | 111 |
| Figura 93: Diagrama de ordenação dos parâmetros físicos e das microbacias analisadas..... | 113 |
| Figura 94: Correlação entre a variável altitude e as variáveis precipitação e declividade..... | 114 |

ÍNDICE DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

| | |
|--------------------|--|
| A | Área |
| ACP | Análise de Componentes Principais |
| Af | Clima tropical úmido ou clima equatorial (classificação de Köppen) |
| AHP | Analytic Hierarchy Process |
| ALOS | Advanced Land Observing Satellite |
| APA | Área de Proteção Ambiental |
| APP | Área de Preservação Permanente |
| Aw | Clima tropical com estação seca de inverno (classificação de Köppen) |
| Cf | Clima oceânico sem estação seca (classificação de Köppen) |
| CLP | Combinação Linear Ponderada |
| Dd | Densidade de Drenagem |
| FSA | Floresta secundária em estágio avançado de sucessão |
| FSI | Floresta secundária em estágio inicial de sucessão |
| FSM | Floresta secundária em estágio médio de sucessão |
| Kc | Coefficiente de Compacidade |
| kwh/m ² | Quilowatt-hora por metro quadrado |
| L | Comprimento do curso d'água |
| MCE | Multicriteria Evaluation |
| P | Perímetro |
| PETP | Parque Estadual dos Três Picos |
| PRISM | Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping |
| SIG | Sistema de Informações Geográficas |
| VI | Valor de Importância |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 2 |
| 2.1 Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento | 2 |
| 2.2 Importância Ambiental e Hidrológica da Cobertura Florestal..... | 3 |
| 2.3 Dinâmica dos Processos Erosivos em Bacias Hidrográficas | 5 |
| 2.4 Uso de Sistemas de Informações Geográficas nas Análises Ambientais | 6 |
| 2.5 Identificação de Áreas Prioritárias | 7 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 9 |
| 3.1 Localização e caracterização da área de estudo | 9 |
| 3.1.1 Localização | 9 |
| 3.1.2 Histórico de uso da bacia hidrográfica do rio Macacu | 10 |
| 3.1.3 Hidrografia | 11 |
| 3.1.4 Clima..... | 12 |
| 3.1.5 Geologia e Geomorfologia..... | 12 |
| 3.1.6 Pedologia..... | 14 |
| 3.1.7 Vegetação..... | 14 |
| 3.1.8 Caracterização da paisagem da área de estudo..... | 14 |
| 3.2 Unidades de Estudo | 17 |
| 3.3 Modelo Digital de Elevação (MDE) | 18 |
| 3.4 Faces de Exposição e Radiação Solar | 18 |
| 3.5 Uso do Solo e Distribuição dos Fragmentos..... | 18 |
| 3.6 Levantamento dos Solos | 20 |
| 3.7 Fatores Morfométricos das Microbacias | 21 |
| 3.7.1 Obtenção dos fatores morfométricos..... | 21 |
| 3.7.2 Obtenção do mapa de fatores morfométricos..... | 24 |
| 3.8 Levantamento Pluviométrico da Bacia..... | 29 |
| 3.9 Vulnerabilidade à Erosão..... | 30 |
| 3.10 Proximidade entre os Fragmentos Florestais | 32 |
| 3.11 Priorização dos Maiores Fragmentos Florestais | 33 |
| 3.12 Áreas de Preservação Permanente (APP's) e seus Usos Conflitantes..... | 34 |
| 3.13 Áreas Degradadas | 35 |
| 3.14 Distância dos Núcleos Urbanos e da Malha Viária..... | 36 |
| 3.14.1 Distância dos centros urbanos | 36 |
| 3.14.2 Distância da malha viária..... | 36 |
| 3.15 Extração das Informações dentro das Microbacias Hidrográficas | 37 |
| 3.16 Identificação das Áreas Prioritárias para Recomposição Florestal | 38 |
| 3.17 Priorização entre os Planos de Informação (Mapas) – Atribuição de Pesos | 40 |
| 3.18 Análises Complementares - Análise de Agrupamento e Análise de Componentes Principais | 41 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 43 |
| 4.1 Unidades de Estudo (Microbacias Hidrográficas) | 43 |
| 4.2 Mapas da Bacia Hidrográfica do Rio Macacu | 44 |
| 4.2.1 Modelo digital de elevação | 44 |
| 4.2.2 Declividade e face de orientação..... | 46 |
| 4.2.3 Radiação solar global..... | 48 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.3 | Uso do Solo..... | 50 |
| 4.4 | Levantamento Semi-Detalhado dos Solos..... | 53 |
| 4.4.1 | Descrição das unidades de mapeamento..... | 54 |
| 4.5 | Fatores Morfométricos | 64 |
| 4.6 | Precipitação..... | 76 |
| 4.7 | Vulnerabilidade à erosão | 78 |
| 4.8 | Proximidade entre Fragmentos Florestais | 82 |
| 4.9 | Proximidade entre os Maiores Fragmentos Florestais | 84 |
| 4.10 | Áreas de Preservação Permanente – APP’s..... | 87 |
| 4.11 | Fontes Pontuais de Emissão de Sedimentos | 91 |
| 4.12 | Distância da Malha Viária e Centros Urbanos..... | 95 |
| 4.12.1 | Malha viária..... | 95 |
| 4.12.2 | Centros urbanos | 97 |
| 4.13 | Análise Multicriterial: Identificação das Áreas Prioritárias | 101 |
| 4.13.1 | Ponderação dos pesos | 101 |
| 4.13.2 | Microbacias prioritárias | 104 |
| 4.14 | Análise de Agrupamento e Componentes Principais | 111 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 116 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES | 116 |
| 7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 117 |
| 8 | ANEXOS | 129 |
| | Anexo A - Mapa das microbacias hidrográficas..... | 130 |
| | Anexo B – Mapa de uso do solo | 131 |
| | Anexo C – Mapa das classes de solos | 132 |
| | Anexo D – Mapa das classes de vulnerabilidade à erosão | 133 |
| | Anexo E – Mapa das áreas prioritárias para recomposição florestal | 134 |
| | Anexo F – Mapa das microbacias prioritárias | 135 |

1 INTRODUÇÃO

O rio Macacu é o principal rio que deságua na Baía de Guanabara, sendo responsável pelo abastecimento de água de cerca de 2,5 milhões de habitantes dos municípios de Cachoeiras de Macacu, Itaboraí, São Gonçalo, Alcântara, Niterói e adjacências (região Oceânica), além de outros usos menos formais (irrigação e piscicultura).

Além da importância hidrológica da bacia, a presença de extensas áreas cobertas pelo Domínio da Mata Atlântica, associada à existência de Unidades de Conservação, que resguardam uma grande variedade de espécies da fauna e da flora nativas, dá à bacia extremo valor ecológico.

Apesar da evidente importância da bacia do rio Macacu, a região da sub-bacia leste da Guanabara, na qual está inserida, vem sendo submetida a alterações desde o século XVI por meio de diferentes ciclos econômicos (ciclo da cana-de-açúcar, café, citricultura); pela construção de portos fluviais e no início do século XX com as obras de drenagem, retificação e alteração dos fluxos naturais dos cursos d'água, construção de rodovias e a instalação de indústrias. Esse histórico de uso ocasionou a exaustão, abandono e degradação de grandes extensões de terras, gerando passivos ambientais que perduram até os dias atuais.

Como consequência observa-se gradativa degradação da quantidade e qualidade da água proveniente da bacia, onerando os custos de tratamento da água e assoreando seus principais rios e a própria Baía de Guanabara (PDRH-BG, 2005).

As alterações hidrológicas e ambientais promovidas no passado remoto e recente associadas à crescente demanda por água geraram demanda reprimida de água potável para a população, como ocorridos em 2001 e 2002, onde aproximadamente 2 milhões de pessoas tiveram o abastecimento comprometido (DANTAS *et al.*, 2007).

Neste sentido, o planejamento e ordenação das ações antrópicas dentro da bacia hidrográfica são essenciais para amenizar estes problemas.

A bacia hidrográfica é vista por muitos autores como a unidade ideal para o planejamento ambiental, uma vez que trata-se de uma área com formação natural e que permite a identificação e análise das inter-relações existentes entre os diferentes componentes da paisagem e os processos que atuam na sua formação (GUERRA *et al.*, 2005). Portanto, em função de suas características naturais, as bacias hidrográficas têm se tornado importante unidade espacial para gerenciar atividades de uso e de conservação dos recursos naturais.

A compreensão da dinâmica hidrológica de uma bacia hidrográfica é complexa, pois envolve diferentes fatores de ordem física, ambiental, meteorológica e antrópica que são dependentes e interligados entre si, além de apresentarem grande variabilidade espacial e temporal. Desta maneira, torna-se necessário abordar o assunto de forma holística, identificando os fatores atuantes e analisando suas inter-relações e os padrões intrínsecos a cada setor da bacia (LIMA, 1986).

A confluência entre os atributos ambientais e as características inerentes a cada setor da bacia determina o grau de probabilidade de sucesso do reflorestamento, tanto em termos de estabelecimento e manutenção da cobertura florestal ao longo do tempo, quanto em termos de resposta hidrológica.

Desta forma, nos projetos de reflorestamento implantados em bacias hidrográficas torna-se fundamental um embasamento teórico e técnico sobre a dinâmica dos ecossistemas e o funcionamento hidrológico da bacia. A análise de fatores bióticos e abióticos é essencial para alocar os plantios nos setores mais adequados da bacia, possibilitando o emprego estratégico dos recursos financeiros, além de gerar resultados ecológicos e hidrológicos mais satisfatórios.

A necessidade de analisar diferentes variáveis de forma simultânea exige a adoção de tecnologias capazes de armazenar, combinar e manipular informações em conjunto. Dentro desse contexto, os Sistemas de Informações Geográficas - SIG's tem se tornado ferramenta essencial nas análises ambientais, permitindo a sobreposição de dados de diferentes fontes e auxiliando o processo de tomada de decisão.

A espacialização das características físicas e dos recursos ambientais por meio SIG's permite obter uma visão integrada dos diferentes fatores, subsidiando o entendimento das suas inter-relações. Na gestão ambiental as geotecnologias constituem-se ferramentas importantes quando conjugadas a conceitos teóricos e conhecimentos técnicos, capazes de interpretar criticamente os resultados.

Nos últimos anos, diversos métodos para a determinação de áreas prioritárias têm sido desenvolvidos para operar em ambiente SIG, destacando-se aqueles que têm como base a análise de múltiplos critérios (VETTORAZZI, 2006). Na abordagem multicriterial é possível combinar e transformar dados espaciais em mapas finais, auxiliando a priorização de áreas de acordo com o objetivo do tomador de decisão.

Em função da importância da bacia do rio Macacu para o estado do Rio de Janeiro, o levantamento de suas características físico-ambientais e a identificação de áreas prioritárias a serem reflorestadas torna-se imprescindíveis para que se seja feito um planejamento e um aproveitamento adequado e eficiente dos recursos hídricos da região.

Dentro deste contexto, o presente estudo teve como objetivo identificar, com auxílio de geotecnologias, áreas prioritárias para serem reflorestadas na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ, visando o incremento na biodiversidade local e a otimização de seus recursos hídricos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento

Entende-se por bacia hidrográfica uma área delimitada por divisores topográficos, drenada por um rio principal e seus tributários, onde toda a água captada converge para um único ponto de saída, o exutório da bacia hidrográfica (CARVALHO & SILVA, 2003).

Embora a bacia hidrográfica seja considerada a unidade espacial de planejamento mais apropriada, por permitir o controle mais objetivo dos recursos humanos e financeiros (SILVA *et al.*, 2003), para usufruir desta como unidade de planejamento é necessário dar uma atenção especial à escala de análise envolvida. Portanto, com intuito de facilitar estas diferentes etapas do processo é comum utilizar-se de bacias hidrográficas de tamanho menor, conhecidas como microbacias.

A definição de microbacia ainda não está clara, pois relaciona-se diretamente com o conceito de bacia hidrográfica e de sub-bacias (SILVA *et al.*, 2003). As diferentes definições de microbacia têm sua origem numa interpretação ou compreensão científica da interação entre as suas funções na paisagem e a sua conformação geomorfológica, considerando-se cada um de seus componentes (LEONARDO, 2003). Em 1987 através de um decreto-lei a microbacia foi definida como sendo uma área de formação natural, drenada por um curso d'água e seus tributários, a

montante de uma seção transversal considerada, para onde converge toda a água captada na área (BRASIL, 1987).

Para efetuar a distinção entre microbacia e bacia hidrográfica não se deve considerar apenas o fator área (superfície total), mas também considerar os efeitos de certas características dominantes na geração do deflúvio (LIMA & ZAKIA, 2000). Desta maneira, hidrologicamente as microbacias têm como características distintas uma grande sensibilidade tanto às chuvas de alta intensidade e de curta duração, como também ao fator de uso do solo (cobertura vegetal). Com isso, as alterações na qualidade e na quantidade da água do deflúvio, em função de chuvas intensas e/ou em função de mudanças no uso do solo, são detectadas com maior sensibilidade nas microbacias do que nas bacias maiores (LEONARDO, 2003).

Para a realização do planejamento ambiental em microbacias é necessário escolher corretamente a área a ser estudada, que deve ser representativa da região, pois, desta maneira, torna-se possível transferir dados da microbacia monitorada para outras qualitativamente semelhantes. Para tanto, é preciso efetuar o levantamento de diversas características naturais da região, tais como a geologia, fatores edafoclimáticos, topografia, rede de drenagem e vegetação. Concluído esta etapa torna-se necessário integrá-las por meio de diferentes métodos, e a partir deles são definidas as unidades de planejamento, que têm como objetivo sintetizar as informações geradas durante o diagnóstico ambiental e sobre as quais serão efetuadas as propostas de uso e ocupação do território (GUERRA *et al.*, 2005).

De acordo com OTTONI (1995) a produtividade hídrica de uma bacia hidrográfica é em função das características dos deflúvios pluviais que incidem sobre a sua área de contribuição associada aos parâmetros definidores de seu aspecto morfológico, funcionando, dessa forma, como uma “caixa preta”. Segundo este conceito, uma vez que se tenha informações relativas à pluviometria e aos aspectos físicos da bacia é possível, por meio do monitoramento da quantidade e qualidade da água produzida pela bacia, inferir sobre os impactos e efeitos dos diferentes tipos de uso do solo ocorrentes na bacia.

Segundo OLIVEIRA (2008) as bacias de drenagem constituem unidades fisiográficas naturais de planejamento que podem ser tratadas como um sistema onde há entradas, saídas e transformações.

Para LIMA & ZAKIA (1996) uma das principais características necessárias para compreender, desenvolver e implementar práticas de manejo em microbacias hidrográficas, consiste na identificação da resposta das mesmas a um evento de precipitação em termos de qualidade e quantidade de água do escoamento direto, bem como sua distribuição temporal.

Desta maneira, o trabalho em microbacias hidrográficas é uma maneira eficiente de gerar tecnologia regionalizada, difundir as práticas de manejo do solo, conservar os recursos naturais e contribuir para o desenvolvimento municipal e regional. Além disso, o planejamento ambiental em microbacias hidrográficas pode amenizar os impactos ambientais gerados pelas ações antrópicas, uma vez que se tenha identificado as áreas mais fragilizadas e suscetíveis à erosão da paisagem, além das áreas com maior potencial para a produção de água, possibilitando a orientação da ocupação humana na microbacia (PEREIRA & MOLINARI, 1995).

2.2 Importância Ambiental e Hidrológica da Cobertura Florestal

A cobertura florestal é essencial na manutenção do equilíbrio homeostático do ecossistema e da diversidade biológica, atuando no controle da erosão; no seqüestro de carbono; na melhoria da qualidade da água; na regulação das cheias e inundações (diminuição do pico do

hidrograma) e na mitigação do clima (temperatura e umidade) (LIMA, 1986, GROVE *et al.*, 1998; BALBINOT, *et al.*, 2008).

De acordo com SANTOS *et al.* (2007) os benefícios diretos provenientes da existência da cobertura florestal incluem ainda a proteção das nascentes e cursos d'água, a melhoria na qualidade dos solos e do ar, além de proporcionar o bem estar social, a harmonização e embelezamento da paisagem.

Em termos hidrológicos a presença de cobertura florestal nas microbacias hidrográficas é importante, pois atua na otimização dos processos de infiltração, percolação e recarga do lençol freático, culminando na diminuição do escoamento superficial, e conseqüentemente do processo erosivo e assoreamento dos recursos hídricos (LIMA, 1986).

Os solos florestais se caracterizam pela presença de uma expressiva camada de material orgânico, que por sua vez desempenha papel comprovado na agregação e porosidade do solo, contribuindo de forma substancial na capacidade de infiltração de água no solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

BOCHNER (2007) avaliando os serviços ambientais gerados pela vegetação florestal de Mata Atlântica na qualidade do solo, obteve valores de infiltração de água no solo nas áreas de floresta estatisticamente superiores às áreas de cultivo agrícola e pastagem, evidenciando a importância da cobertura florestal na otimização da infiltração de água no solo.

Segundo OLERIANO & DIAS (2007) as pesquisas no campo da hidrologia florestal têm mostrado que a cobertura vegetal é um fator de grande importância para a preservação da água no solo, conservando a mesma por mais tempo na bacia hidrográfica.

No entanto a influencia das florestas na produção de água ainda apresenta controvérsias.

TRANCOSO (2006) comparando o comportamento hidrológico de uma microbacia experimental com cobertura florestal e outra com pastagem, na Amazônia central, verificou que a remoção da floresta tende a aumentar a produção de água (vazão), em função, sobretudo, de mudanças no coeficiente de escoamento superficial e redução na evapotranspiração, porém os mesmos resultados não são replicados quando a análise é realizada em grandes bacias, em uma escala maior. De acordo com o mesmo autor ao efetuar as análises a nível de sub-bacias, embora 60% das mesmas encontrem-se desflorestadas, as séries históricas de vazão com medições desde o início da época do desflorestamento não apresentam evidências de aumento, sendo encontrados indícios de redução da vazão em 40% das estações fluviométricas analisadas.

Em microbacias florestadas localizadas em regiões montanhosas com forte influência das massas de ar úmidas e alta condensação de neblina, o fluxo total e de base tende a diminuir com o desmatamento (BACELLAR, 2005). Segundo BARBOZA (2007), a interceptação vertical (interceptação das massas de ar pela vegetação) pode representar um adicional de até 40% de água no sistema.

Outro fato verificado em microbacias cobertas por vegetação florestal é uma maior estabilidade no fluxo de base ao longo do tempo quando comparado com microbacias desflorestadas. MATTOS JUNIOR (2008) estudando a influência da cobertura florestal na regularização hídrica das microbacias na parte alta da bacia do rio Santana (RJ) verificou que quanto maior o percentual de cobertura florestal, menor foi a variação das alturas linimétricas entre o período chuvoso e de estiagem, indicando que a cobertura florestal desempenha papel fundamental na administração da água dentro do sistema, garantindo a regularização do abastecimento de água nas épocas de estiagem.

Segundo COELHO (2001) a influência da cobertura florestal na vazão de microbacias pode ser verificada no período de estiagem quando o escoamento básico é o único componente do deflúvio e a vazão é em função apenas da água que ficou armazenada. De acordo com o

experimento realizado pelo autor no qual foram realizadas comparações das vazões e da cobertura vegetal predominante em 6 microbacias localizadas nos contrafortes da serra do Mar, a diferença encontrada entre os tratamentos indicam que o potencial de produção de água durante a época de estiagem pode ser aumentado com ações de reflorestamento, capazes de aumentar a infiltração.

Os inúmeros debates relacionados ao papel da cobertura florestal na regularização hídrica das bacias hidrográficas evidenciam a necessidade de se desenvolver estudos referentes à hidrologia florestal, sobretudo no ambiente tropical, onde os mesmos ainda são escassos, pontuais, de curta duração e em sua maioria desconsideram as variações sazonais de vazão.

2.3 Dinâmica dos Processos Erosivos em Bacias Hidrográficas

O processo erosivo é constituído basicamente por três eventos sequenciais caracterizados pelo desprendimento das partículas dos agregados do solo, o transporte e a deposição das mesmas nas seções inferiores das paisagens (MENDES, 2005). A erosão ocorre mesmo em ecossistemas naturais, porém a sua velocidade pode ser intensificada pela ação antrópica, acarretando na deterioração do ecossistema, por meio do assoreamento e poluição dos cursos d'água e obstrução de estradas e bueiros, ocasionando enchentes, com reflexos danosos para a população local (BERTONI & NETO, 1990; PINHEIRO, 2004).

Os fatores atuantes no processo erosivo são aqueles que determinam as variações nas taxas de erosão, dentre os mais importantes encontram-se: a erosividade da chuva, as propriedades do solo, a cobertura vegetal, as características das encostas e as práticas de manejo do solo empregadas (GUERRA & CUNHA, 1994, DOMINGOS, 2006).

HUDSON (1961) define erosividade como a habilidade da chuva em causar erosão. Embora a definição em primeiro instante pareça simples, a determinação do potencial erosivo da chuva é um assunto extremamente complexo, isto se deve, em especial, aos parâmetros de erosividade e às características das gotas de chuva, que variam no tempo e no espaço (GUERRA, 1991). Os principais parâmetros utilizados para investigar a erosividade da chuva são: o total precipitado, a intensidade e a energia cinética da chuva.

As propriedades do solo, juntamente, com outros fatores determinam o grau de susceptibilidade à erosão, e, portanto são de grande importância nos estudos dos processos erosivos (BERTONI & NETO, 1990). A erodibilidade pode ser definida pela resistência do solo em ser removido e transportado (MENDES, 2005; BERTOL, *et al.*, 2007). Dentre as propriedades do solo que interferem na erodibilidade, destacam-se a estrutura, a estabilidade dos agregados, o teor de matéria orgânica e a taxa de infiltração de água (GUERRA, 1991).

O processo erosivo é menos intenso quando o solo está sob cobertura vegetal densa e sistema radicular abundante, pois permite interceptar as gotas de chuva, dissipando sua energia cinética e reduzindo o impacto e a degradação do solo (CASSOL, 1981). Além disso, a cobertura vegetal reduz a velocidade do escoamento das águas superficiais pela formação de barreiras mecânicas e maior infiltração, gerada por uma melhor estruturação do solo, o que diminui o transporte de sedimentos aos corpos hídricos (COELHO NETTO, 2003). Desta maneira, a vegetação contribui diretamente para a preservação do solo e seus atributos e indiretamente na conservação da biodiversidade, gerando benefícios sociais e atenuando mudanças climáticas (BENEDITO, 2001; MONTEBELO *et al.*, 2005). De acordo com SOPPER (1975) a cobertura florestal natural promove proteção contra a erosão do solo, a sedimentação e a lixiviação

excessiva de nutrientes, sendo essas áreas importantes para o armazenamento e manutenção do abastecimento de água de boa qualidade.

As características físicas da bacia hidrográfica constituem outro importante fator atuante na dinâmica dos processos erosivos. Segundo BERTONI & NETO (1990) a quantidade de sedimentos em suspensão arrastados pela água depende da velocidade do escoamento superficial, que por sua vez, é uma resultante do comprimento de rampa e do grau de declividade do terreno. Dentre os fatores topográficos, a declividade do terreno é possivelmente o mais importante no condicionamento da gênese e evolução do processo erosivo (RODRIGUES, 1982).

O tipo de uso/ocupação do solo e as práticas de manejo adotadas também influenciam diretamente na manifestação e intensidade dos processos erosivos, uma vez que alteram a capacidade de retenção de água e a qualidade física, química e biológica do solo, trazendo conseqüências na qualidade da água proveniente da bacia hidrográfica (DONADIO *et. al.*, 2005).

A nível de bacia hidrográfica, o conhecimento da quantidade de sedimentos transportada pelos rios, além de informar sobre as características e o estado de conservação da bacia, é de fundamental importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos de uma região, seja para a análise da viabilidade de utilização da água para abastecimento ou irrigação, ou para o cálculo da vida útil de reservatórios (CASAGRANDE, 2004).

De acordo com CARVALHO (1994) a erosão em bacias hidrográficas prejudica a qualidade da água para o consumo humano, aumenta o custo de tratamento da água, prejudica a flora e a fauna aquática, além de promover a remoção da camada fértil, causando o empobrecimento do solo.

2.4 Uso de Sistemas de Informações Geográficas nas Análises Ambientais

Os Sistemas de Informações Geográficas - SIG's podem ser definidos como um conjunto de ferramentas que utilizam técnicas matemáticas e computacionais no tratamento e análise de informações geográficas (CÂMARA & SIMÕES, 1996).

Os SIG's apresentam duas características principais: a capacidade de inserir e integrar, em uma única base de dados, informações espaciais oriundas de diversas fontes (dados cartográficos, imagens de satélite, fotografias aéreas, modelos numéricos do terreno, etc) e combinar os vários níveis de informação, por meio de operações de análise e manipulação (SILVA, 2000).

Segundo FERREIRA (1997), os Sistemas de Informações Geográficas podem ser considerados um instrumento para mapear e indicar propostas às várias questões relacionadas ao planejamento urbano e regional, descrevendo os mecanismos das mudanças que operam no meio ambiente e auxiliando o planejamento e manejo dos recursos naturais de regiões específicas.

De acordo com VETTORAZZI (1992) os SIG's podem ser empregados no monitoramento e análise ambiental; planejamento do uso da terra; projetos de engenharia (transportes, irrigação, mineração) e manejo florestal.

Pelo fato das informações inseridas nos SIG's estarem localizadas por coordenadas geográficas, em relação a algum sistema de referência (georreferenciamento), torna-se possível a combinação e superposição dos dados de diferentes fontes, tais como mapas topográficos, temáticos, imagens de satélite, fotografias aéreas, etc.

Como o estudo de sistemas naturais é complexo, pois envolvem uma grande quantidade de variáveis e processos, a aplicação dos SIG's na manipulação dessas inúmeras informações otimizou a análise e facilitou a interpretação conjunta dos diferentes dados.

Desta forma, uma base de dados geográfica não se restringe ao mero armazenamento e representação de variações de determinada classe de fenômeno, mas, principalmente, objetiva organizar o conhecimento de tal forma que informações mais complexas possam ser agregadas e derivadas das unidades básicas de informação nela contidas (MEIRELLES, 1997).

De acordo com o mesmo autor, uma base de dados georreferenciados (tal como é gerada em um SIG) deve ser capaz de organizar os dados de forma a permitir que sejam realizadas generalizações, agregações e acesso fácil a todos os dados armazenados, permitindo ainda, de forma simples, a inserção de novos dados e modificação de dados pré-existentes.

Os estudos e as caracterizações envolvendo a bacia hidrográfica evoluíram juntamente com as novas tecnologias. As ferramentas contidas nos diversos componentes de um SIG permitem a execução de diversos estudos, dentre eles a análise morfométrica de bacias hidrográficas, que permite a análise quantitativa das interações entre a fisiografia e a sua dinâmica hidrológica (COSTA & GUIMARÃES, 2005; TEXEIRA & CRUZ, 2005; LINDNER *et al.*, 2007; OLIVEIRA, 2008).

Neste sentido, a integração de informações por meio dos SIG's auxilia no conhecimento da dinâmica hidrológica das bacias hidrográficas, bem como as relações existentes entre ela e seus diversos componentes do meio físico e biótico.

Apesar de facilitar a tomada de decisões, a utilização de SIG's para análises ambientais deve ser entendida apenas como uma ferramenta que auxilia a análise do ambiente, devendo o usuário do sistema manter sua visão crítica e verificar se as informações fornecidas e as interpretações condizem com a realidade no campo. Dessa maneira, o sucesso na utilização dessa ferramenta depende, exclusivamente da competência do usuário.

2.5 Identificação de Áreas Prioritárias

Para o estudo de grandes bacias hidrográficas a atuação em toda a área de abrangência é onerosa e muitas vezes inviável, tornando-se necessário efetuar o zoneamento da bacia. Este zoneamento consiste em dividir a bacia em setores com similaridades físicas e ambientais, onde em cada setor adotam-se ações distintas de manejo, em concordância com as demandas ambientais e hidrológicas de cada local. A capacidade de atuar em áreas estratégicas otimiza a alocação e distribuição dos recursos e gera resultados para todo o sistema (toda a bacia).

A definição de áreas prioritárias a serem conservadas em uma bacia hidrográfica deve partir do entendimento do funcionamento hidrológico da bacia, onde a combinação de fatores físicos e ambientais acarreta modificações na administração da água dentro do sistema. A compreensão de que os diferentes setores da bacia (diferentes zonas hidrográficas) apresentam comportamento e funções distintas, torna-se essencial para a identificação de zonas com maior vocação para a produção de água, bem como áreas mais suscetíveis a degradação.

As zonas hidrográficas podem ser entendidas como setores (regiões) da bacia que tendem a modelar os deflúvios pluviais e fluviais, apresentando características e funções distintas em função da confluência de atributos físicos e ambientais (OTTONI NETO, 1995). De uma maneira geral, as bacias hidrográficas são divididas em três zonas hidrográficas: zona de captação (ou recarga); zona de transmissão (ou erosão) e zona de afloramento (ou sedimentação).

De acordo com OTTONI NETO (1995), a zona de captação da bacia, está contida entre o divisor de águas principal da bacia e a zona dinâmica e caracteriza-se por apresentar solo residual, com alto intemperismo. Nesta região predomina-se a infiltração e o escoamento subsuperficial, contribuindo para manter a umidade do solo, favorecendo a permanência da

cobertura florestal. A zona de transmissão contém as bordas exteriores das áreas sedimentares de fundo de vale. Nesta zona é comum encontrar depressões onde há acúmulo de sedimentos, as denominadas áreas coluviais importantes para a recarga hídrica da bacia. Em épocas de alta taxa pluviométrica domina o fenômeno de escoamento superficial, em função de suas características morfológicas caracterizada por uma topografia acidentada que influencia diretamente na gênese dos processos erosivos. Dessa forma, esta zona deve ter seu uso restrito e planejado, visando minimizar o desencadeamento da dinâmica erosiva. A zona de afloramento contém a rede potamográfica (drenagens) e as planícies sedimentares de fundo de vale. Esta região caracteriza-se pela presença dos maiores índices ocupacionais da bacia (maior densidade demográfica), em função, sobretudo, por apresentar-se como uma zona de topografia mais plana, além de possuir solos mais férteis. Segundo o mesmo autor, esta zona contribui imediatamente para os escoamentos fluviais, afetando diretamente para a qualidade da água produzida pela bacia, onde verifica-se que nas épocas chuvosas (época de cheias) os escoamentos subsuperficiais e superficiais têm acesso quase que imediato às calhas; já nas épocas de estiagem o controle final é dependente do controle hidráulico exercido pelo nível d'água da calha, ou seja, esta zona constitui-se como uma região importante para a perenização da bacia.

Dessa forma, o zoneamento ambiental de determinada bacia hidrográfica demanda o conhecimento de grande número de variáveis tanto do meio físico e biótico, como também de características sociais e econômicas, cujas combinações podem produzir diferentes alternativas de aproveitamento. Dentro contexto, ferramentas de análise que permitam reunir características tão diversas, atribuir pesos e valores a elas, dando prioridades às diferentes opções, facilitam a tomada de decisão (FRANCISCO *et al.*, 2008).

Essa necessidade de representar espacialmente as áreas prioritárias exige a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) capazes de analisar e confrontar dados de natureza espacial.

Diversos são os métodos utilizados para espacialização de áreas prioritárias destacando-se aqueles baseados na análise de múltiplos critérios (VETTORAZZI, 2006).

A análise multicriterial se refere a uma seqüência de etapas que permite classificar um conjunto de alternativas e selecionar as mais eficientes (GENELETTI, 2004).

Na abordagem multicriterial é possível combinar e transformar os dados espaciais (planos de informação), gerando mapas finais que auxiliam a tomada de decisão (MALCZEWSKI, 1996). Os critérios são a base do processo de tomada de decisão e podem ser medidos e avaliados (VALENTE, 2005).

De acordo com EASTMAN (2001) os critérios podem ser de dois tipos: fatores e restrições, onde os primeiros irão realçar ou diminuir a suscetibilidade de uma ação específica para uma atividade ou objetivo e os segundos constituem-se em características restritivas das alternativas (fatores), excluindo áreas e limitando espacialmente a distribuição das possibilidades de escolha.

A atribuição de pesos aos critérios (valoração) refere-se a quantificação da importância relativa de cada um deles no processo de decisão. Apesar de não existir um método consensual para a atribuição de pesos, várias propostas são encontradas na literatura (COLLINS, *et al.*, 2001; CALIJURI *et al.*, 2002; FERRAZ & VETTORAZZI, 2003).

Dentre os diversos métodos utilizados na abordagem multicriterial para a integração dos diferentes fatores, os métodos da Combinação Linear Ponderada e da Média Ponderada Ordenada tem sido os mais amplamente utilizados na definição de áreas prioritárias e suscetíveis (MALCZEWSKI, 1996).

Na Combinação Linear Ponderada os critérios são padronizados para uma escala numérica comum, recebem pesos e são combinados por meio de uma média ponderada (VATENTE, 2005). Dessa forma, essa técnica de agregação permite a compensação total entre os fatores por meio da aplicação de pesos ponderados, o que significa que a baixa adequabilidade em um dado fator pode ser compensada por um conjunto de boas adequabilidades em outros (CALIJURI *et al.*, 2002). A Média Ponderada Ordenada diferencia-se da Combinação Linear Ponderada pela presença de um segundo grupo de pesos, denominados de ordenação, permitindo implementar uma ampla gama de opções de agregação (CALIJURI *et al.*, 2002; VALENTE, 2005).

A escolha dos critérios na análise multicriterial para seleção de locais ou áreas para estudos ambientais deve ser função dos objetivos do estudo. A análise multicriterial em ambiente SIG tem sido aplicada em diferentes situações: seleção de áreas prioritárias para instalação de aterros sanitários, conservação, planejamento urbano, projetos viários, recuperação de áreas degradadas, delimitação de áreas suscetíveis a erosão, entre outras (CALIJURI *et al.*, 2002; VALENTE & VETTORAZZI, 2005; MOLIN & STAPE, 2007; SAMIZAVA, *et al.*, 2008; FRANCISCO *et al.*, 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

3.1.1 Localização

A bacia do rio Macacu/RJ abrange grande parte da bacia de drenagem da Baía de Guanabara, estendendo-se da serra dos Órgãos até a serra de Macaé, entre as latitudes médias de 22° 24' e 22° 57' S e longitudes médias 42° 33' e 43° 19' W (Figura 1).

É limitada ao norte e noroeste pela serra dos Órgãos, à nordeste pela serra de Macaé de Cima, à leste pelas serras da Botija e de Monte Azul e ao sul pelas serras do Sambê e dos Garcias. O município de Cachoeira de Macacu tem 90% de sua área nesta bacia, Guapimirim tem aproximadamente 95% e Itaboraí, 12%. O rio Macacu nasce na serra dos Órgãos, a cerca de 1.700 m de altitude, no município de Cachoeiras de Macacu, e percorre aproximadamente 74 km até a sua junção com o Guapimirim.

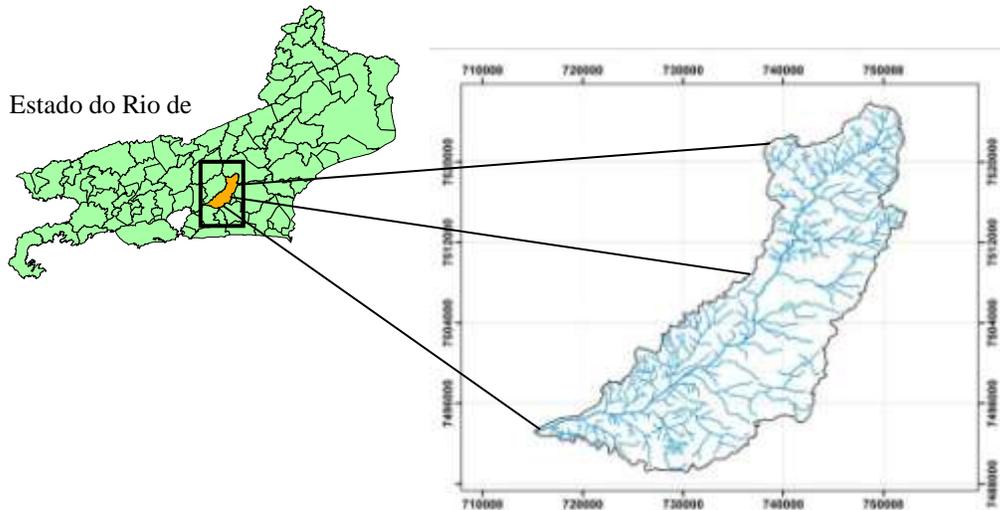


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

3.1.2 Histórico de uso da bacia hidrográfica do rio Macacu

A bacia hidrográfica do rio Macacu vem sofrendo intervenções antrópicas crescentes desde a invasão e ocupação europeia. Iniciou-se com a atividade extrativista, seguido pelo ciclo da cana-de-açúcar no século XVII, o ciclo da mineração, do café e da expansão urbana entre 1870 e 1930 e o desenvolvimento urbano-industrial entre 1930 e 1990 (PEREIRA & CASTRO JUNIOR, 2003). O rio Macacu foi um importante eixo de comunicação ao norte do estado do Rio de Janeiro, a Minas Gerais e à região dos Lagos, onde pequenos portos localizavam-se ao longo dos rios, servindo para escoar os produtos agrícolas da região. A rede de estradas foi se expandindo a medida que as fazendas eram abertas. Com a expansão agrícola da região surgiram-se problemas referentes ao assoreamento dos cursos d'água, exigindo freqüentes trabalhos de desobstrução dos leitos dos rios (RETIS, 2010).

Em meados do século XIX foi construída a estrada de ferro Leopoldina, abandonando-se gradativamente a navegação fluvial da região. Com a decadência das culturas da cana-de-açúcar e café, devido ao esgotamento do solo, muitas fazendas improdutivas foram abandonadas e as terras foram convertidas a pastagens. Com o aumento do assoreamento dos cursos d'água a navegação pelos pequenos rios da Baixada da Guanabara praticamente desapareceu (DANTAS *et al.*, 2007).

No início do século XX, as culturas da laranja e da banana alteraram novamente a paisagem da bacia, com o retorno às áreas abandonadas no final do século anterior, complementada pelo saneamento da Baixada Fluminense, que ampliou a área aproveitável do vale. Já nas décadas de 1930 e 1940, a Segunda Guerra Mundial, ocasionou a perda dos mercados europeus e muitos laranjais foram abandonados.

A partir de 1933 foi iniciado um grande projeto de saneamento e drenagem da Baixada da Guanabara, que consistiu na construção de uma série de canais e adutoras, além de diques marginais aos rios. O rio Macacu foi separado do rio Caceribu com a construção do Canal de Imunana, retificando o seu curso até encontrar o baixo Guapimirim. Além das obras de engenharia hidráulica, o projeto de Saneamento da Baixada também realizou drenagens subterrâneas e aterros (DANTAS *et al.*, 2007). Atualmente, a bacia do Macacu possui uma área de drenagem de cerca de 1.640 km² e uma população estimada em 106.341 mil habitantes.

O uso atual do solo é predominantemente rural, com áreas de vegetação natural, agricultura e pastagens.

Em 2002 foi criada a Área de Proteção Ambiental (APA) da bacia do Rio Macacu, com o objetivo de proteger importantes mananciais que abastecem os municípios de Cachoeiras de Macacu, Niterói, São Gonçalo e Itaboraí. A Unidade de Conservação estadual compreende todos os terrenos situados às margens do curso de água numa faixa complementar de proteção com largura de 150 metros, desde a nascente até o exutório da bacia na Baía de Guanabara (área da APA Guapimirim). Entre as unidades de conservação presentes no entorno da APA da Bacia do Rio Macacu estão o Parque Nacional da Serra dos Órgãos (11.800 ha), o Parque Estadual Três Picos (46.350 ha), a Estação Ecológica do Paraíso (4.920 ha), a Área de Proteção Ambiental Federal de Guapimirim (14.000 ha) e a Área de Proteção Ambiental Federal de Petrópolis (59.049 ha). (INSTITUTO BIOATLÂNTICA, 2008).

Em fevereiro de 2008 o atual governador do estado do Rio de Janeiro, lançou o Projeto de Recuperação Ambiental da bacia do Rio Macacu. O projeto, que conta com investimento da ordem de R\$ 10 milhões, visa o reflorestamento das margens do Rio Macacu e a criação de um Parque Fluvial. O novo Parque Fluvial formará um corredor florestal ao longo das margens do rio Macacu e do rio Guapiaçu. O projeto de recuperação desta bacia inclui obras de recuperação do canal dos rios, de barrancas e margens, que têm graves problemas de erosão (PMCM, 2008).

3.1.3 Hidrografia

O rio Macacu é um dos rios constituintes da bacia da Baía de Guanabara (SEMADS, 2001), uma unidade hidrográfica composta por dez afluentes que conformam um padrão de drenagem dendrítico.

A bacia do rio Macacu/RJ é uma bacia de 5ª ordem, com direção do curso d'água principal NE-SW. Suas nascentes localizam-se no município de Cachoeiras de Macacu, na serra do Mar, dentro dos limites do Parque Estadual dos Três Picos, acima da localidade conhecida como Meio da Serra. O curso d'água principal apresenta fluxo torrencial típico de regiões declivosas e ao encontrar a baixada, perde a energia e passa a meandrar. Atualmente o rio encontra-se retificado, mas ainda assim apresenta regiões de manguezais que dependem da dinâmica do rio e das suas funções originais, sofrendo influência da maré e de uma zona de interconexões de canais (AMADOR, 1997).

A dinâmica hidrológica do rio Macacu modificou-se por meio das obras de drenagem realizadas pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento – DNOS na década de 30. A maior parte dos meandros dos rios localizados na parte baixa da bacia foi substituída por canais retilíneos aprofundados e alargados.

Os principais afluentes são os rios São Joaquim, Bela Vista, Bengala, Soarinho, das Pedras, Pontilhão e Alto Jacu, pela margem esquerda, e os rios Duas Barras, Cassiano e Guapiaçu, seu maior afluente pela margem direita. A partir da confluência do Guapiaçu com o Macacu inicia-se o Canal de Imunana, construído pelo extinto DNOS com o objetivo de drenar as áreas adjacentes frequentemente inundadas. Com a construção do canal o curso natural do Macacu foi desviado e se uniu ao Guapimirim. Sua área de drenagem, por essa razão, foi enormemente aumentada e o rio Guapimirim, após receber as águas do Macacu/Guapiaçu passou a ser chamado de Guapi até a sua foz na Baía de Guanabara (ARAUJO & COREIXAS, 2002; NEGREIROS *et al.*, 2002).

Os rios da bacia são considerados, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, que classifica as águas doces, salobras e salinas, como de Classe 2, cujas águas são destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho);
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas, parques e jardins;
- e) à aqüicultura e à atividade de pesca.

3.1.4 Clima

O clima da região é classificado como Aw/Af e Cf segundo a classificação de Köppen, com clima quente e úmido e uma estação seca curta no inverno, amenizada pelas frentes frias ocasionais e a altitude, com déficit hídrico nulo a 30 mm/ano.

A bacia apresenta umidade relativa do ar média de 83%, precipitação média anual em torno de 2.500 mm, nas escarpas da serra e 1.500 mm, nas áreas baixas, com 140 dias chuvosos no ano, e temperatura variando de 9° a 35°C, com a média anual variando de 18° a 23° C (DANTAS *et al.*, 2000).

A região encontra-se sob influência da bacia aérea de Cachoeiras de Macacu (BARBOZA, 2004), onde os ventos úmidos oriundos do oceano, são conduzidos até o topo da serra, resfriam-se, condensam-se e precipitam-se na forma de nevoeiro ou chuva oculta. Suas encostas encontram-se, assim, sob influência da Massa Tropical Marítima (RADAMBRASIL, 1983).

3.1.5 Geologia e Geomorfologia

A Serra dos Órgãos, pertencente à cadeia da Serra do Mar, é formada basicamente por rochas intrusivas e metamórficas Paleozóicas (gnaisse e granitos) do Complexo Paraíba do Sul expostas em diversos pontos, sendo composta de três unidades estratificadas: um corpo intrusivo sirogenético, rochas intensamente migmatizadas e corpos graníticos pós-orogênese (Granito Nova Friburgo). O relevo movimentado é oriundo dos falhamentos e dobramentos da morfoestrutura geológica, que resultaram num embasamento complexo, cuja origem está relacionada a movimentos tectônicos iniciados há aproximadamente 80 milhões de anos, (período Cretáceo), com o soergimento da borda do continente (epirogênese) em todo o sudeste brasileiro (DANTAS *et al.*, 2000).

Nas partes mais baixas, ocorrem depósitos aluviais holocênicos ao longo do rio Macacu e seus tributários (RADAMBRASIL, 1983).

No interior da bacia do rio Macacu observa-se a presença de duas unidades sedimentares: a Formação Macacu, que é constituída de uma sucessão de lentes e camadas pouco espessas de sedimentos predominantemente arenosos, arredondados e pouco consolidados, de idade plio-pleistocênica e a unidade “pré-Macacu”, definida como “produto da colmatação de blocos tectonicamente rebaixados no Terciário Médio” (DANTAS, 2000; EIRADO *et al.*, 2003a;b).

O processo evolutivo desses sedimentos é relacionado ao do Grupo Barreiras (RADAMBRASIL, 1983), embora essa correlação tenha sido reavaliada, os dados estratigráficos (CABRAL *et al.*, 1992), palinológicos e geocronológicos (LIMA *et al.*, 1996) e estruturais (SANTOS *et al.*, 2007) permitiram dissociar os sedimentos Macacu e pré-Macacu e considerá-los como parte de uma bacia tafrogênica relacionada ao Sistema de *Riftes* Continentais do Sudeste do Brasil (SRCSB) (RICCOMINI & RODRIGUES-FRANCISCO, 1992).

Segundo SANT'ANA (1999), a Bacia de Macacu foi preenchida por um pacote sedimentar eocênico-oligocênico, depositado em ambiente de leques aluviais, intercalado com fácies de natureza provavelmente lacustre.

A maior parte dos afloramentos rochosos é composta de granitos, que em alguns casos já foram 'inselbergs' no passado, acompanhados nas áreas de baixada de áreas sedimentares, oriundas da decomposição química das rochas graníticas (DANTAS *et al.*, 2000).

Segundo os dados apresentados no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (PDRH-BG) a formação geológica da região é caracterizada pela implantação do *grabén* da Guanabara no Paleogeno. No Eoceno médio, sob atuação da extensão NO-SE, se forma a bacia do Macacu. No Neogeno foram retrabalhados os depósitos ocorridos durante o Paleoceno, contribuindo para a formação do conglomerado de Itambi e a segmentação holocênica, acompanhando a extensão E-O.

A deposição do Itambi direcionado para a transição do terciário para o quaternário acompanhou a erosão intensa observada na borda norte da bacia do Macacu, responsável pela remoção de depósitos em leques aluviais. A ausência destes depósitos fica caracterizada pelo desnível acentuado entre a serra do Mar e a bacia do Macacu.

De acordo com o mapa de geologia da bacia (Figura 2) observa-se que 46,14% da sua área total está classificada como Complexo Paraíba do Sul. Ao longo do curso do rio Macacu verifica-se a predominância de Depósitos Colúvio-Aluvionares, contemplando 15,16% da área total da bacia. A Formação Macacu ocupa especificamente a parte mais baixa da bacia, próximo ao seu exutório.

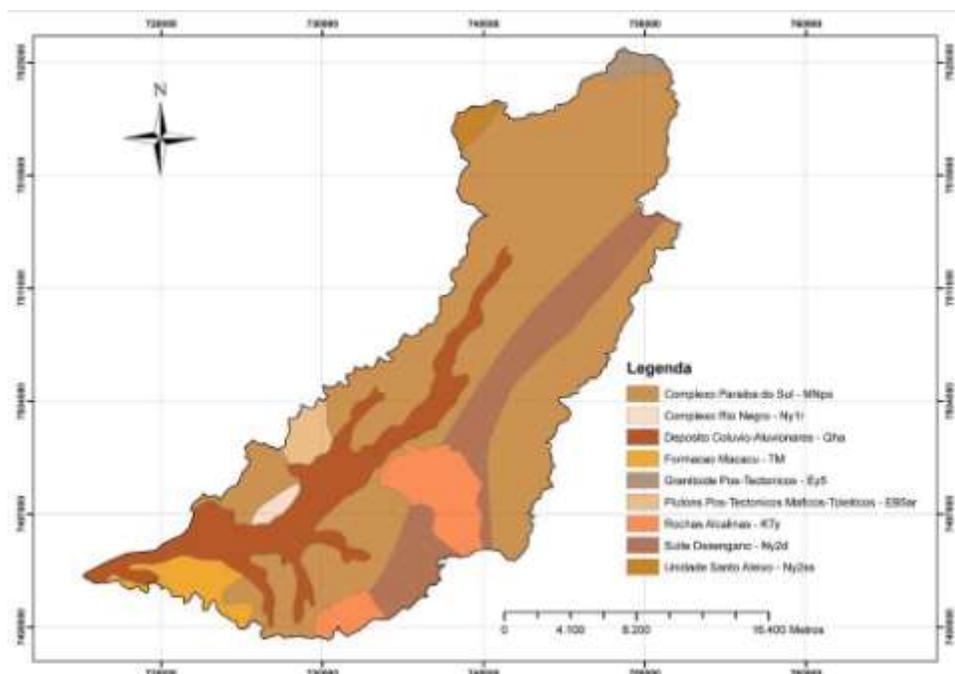


Figura 2: Mapa Geológico da bacia hidrográfica do rio Macacu.

Fonte: CPRM/Silva (2000)/DRM (2004); Folhas Topográficas 1:50000 IBGE/DSG; Base Cartográfica Planialtimétrica Digital IEF (Escala Original 1:50000). Dados obtidos a partir do PDRH-BG (2005).

A bacia do Rio Macacu comporta três grandes domínios hidro-geomorfológicos: o domínio das escarpas, o domínio das colinas e o domínio da baixada. No domínio das escarpas

rochosas, predominam declividades maiores que 35°, concavidades estreitas e alongadas e extensos afloramentos rochosos. O domínio das colinas apresenta-se com declividades médias variando entre 10°-35°, com a presença de concavidades circulares e mais largas. No domínio da baixada, a declividade é inferior a 10°, onde predominam os processos deposicionais.

3.1.6 Pedologia

Os solos da bacia são resultantes de uma combinação da litologia (gnaisse/granito), do relevo altamente dissecado, do clima no Holoceno, e da cobertura florestal densa, que exerce forte influência por meio de processos físicos e hidrológicos. São solos bem drenados e de fertilidade moderada, em função da drenagem intensa, geralmente apresentando baixos pH e teores de nutrientes. Os principais tipos de solos da região são: Latossolos, Argissolos, Cambissolos, Neossolos, Planossolos, Gleissolos, Solos Indiscriminados de Mangue e Afloramento Rochoso (RADAMBRASIL, 1983; DANTAS *et al.*, 2000; EMBRAPA, 2006).

3.1.7 Vegetação

A região pertence ao bioma Mata Atlântica, apresentando quatro classes de vegetação: Floresta Tropical Úmida (Floresta Ombrófila Densa), Manguezal, Brejos e Campos Inundáveis (Formações Pioneiras) e Campos de Altitude (COSTA, 1999).

Na bacia do rio Macacu a Floresta Ombrófila Densa abrange quatro sub-formações: de Terras Baixas, Sub-Montana, Montana e Alto-Montana.

De acordo com os estudos florísticos e fitossociológicos realizados por KURTZ & ARAÚJO (2000) na Estação Ecológica Estadual do Paraíso, localizada no município de Cachoeiras de Macacu, as famílias que se destacam quanto ao número de espécies são: Myrtaceae, Sapotaceae, Lauraceae e, em menor escala, Rubiaceae, Meliaceae, Moraceae e Leguminosae.

O índice de diversidade de Shannon encontrado por esses autores ($H = 4,20$), compreende um dos mais altos já registrados para a Mata Atlântica.

Dentre as espécies com maior Valor de Importância (VI) destacam-se: *Neoraputia magnifica var. magnifica*, *Euterpe edulis*, *Gallesia integrifolia*, *Chrysophyllum flexuosum*, *Calycorectes sellowianus*, *Chrysophyllum lucentifolium subsp. lucentifolium*, *Lonchocarpus filipes*, *Guarea kunthiana*, *Pausandra megalophylla*, *Psychotria subspathacea* e *Quararibea turbinata*.

Atualmente a cobertura da bacia é constituída, além das áreas com vegetação natural remanescente, por florestas secundárias em diferentes estágios sucessionais, plantios florestais, pastagens, agricultura e olericultura intensiva (CIDE, 2003).

3.1.8 Caracterização da paisagem da área de estudo

Apesar da área de abrangência da bacia hidrográfica do rio Macacu estender-se até a Baía de Guanabara, o presente estudo atuará da sua nascente na Serra do Mar (a montante do município de Cachoeiras de Macacu) até o ponto onde o rio Macacu encontra-se com o rio Guapiaçu. Desta forma, a seção de controle da bacia estudada encontra-se acima do Canal de Imunana (canal formado após a junção do rio Macacu e o rio Guapiaçu).

Os padrões de paisagem da bacia do rio Macacu são contrastantes. Na parte baixa da bacia verifica-se a presença de extensas áreas de pastagem, associadas ao uso intensivo das encostas e a presença de pequenos fragmentos, localizados, sobretudo, nos topos de morro e nas partes mais altas observa-se a presença de extensas áreas cobertas por vegetação nativa em estado de conservação avançado (Figura 3).



Figura 3: Padrões de paisagem ocorrentes na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ (a) parte baixa da bacia e (b) parte alta da bacia.

A bacia caracteriza-se de montante para jusante, pela presença de um relevo escarpado próximos aos divisores topográficos, seguido por montanhas com relevo ondulado a forte ondulado, colinas, morrotes e, finalmente, grandes áreas de relevo plano com modelados de acumulação fluvial (NEGREIROS *et al.*, 2002) (Figuras 4).

Constata-se também que as margens do rio Macacu a montante do município de Cachoeiras de Macacu encontram-se estabilizadas, com abundância de pedras, enquanto as margens do rio a jusante do município apresentam processos erosivos dinâmicos, indicando que o talvegue do rio ainda não está estruturado e encontra-se em processo de ajuste (Figura 5). Este fato pode estar associado aos efeitos gerados pela obra de retificação do rio Macacu, realizada entre as décadas de 1930-1940 pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), que ocasionou mudanças hidrológicas na dinâmica do rio.

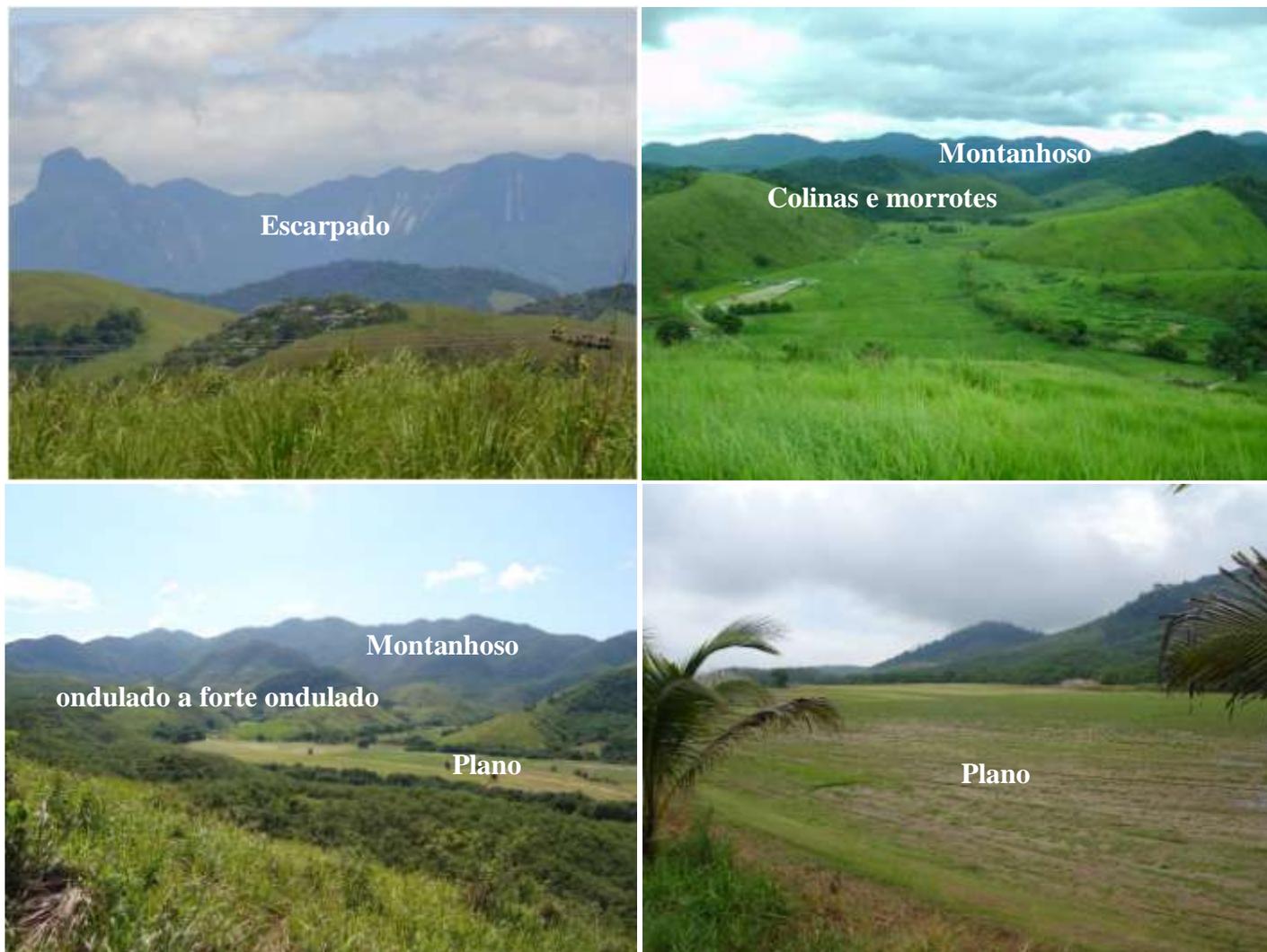


Figura 4: Padrões de relevo existentes no interior da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.



Figura 5: Conformação das margens do rio Macacu a jusante (a) e a montante (b) do município de Cachoeiras de Macacu/RJ.

Outro problema ocorrente ao longo do rio Macacu é a atividade de extração de areia na sua calha. Embora a Lei no. 4.018/2002, responsável pela criação da APA da bacia do rio Macacu, proibir a exploração de areia no leito e margens do rio e suspender todas as licenças ambientais referentes a esse tipo de atividade, observa-se nos dias atuais a prática ilegal de extração de areia em diferentes trechos do rio (Figura 6).



Figura 6: Atividade clandestina de extração de areia no leito do rio Macacu/RJ.

A exploração de areia no leito no rio ocasiona uma série de conseqüências ambientais como a desconfiguração da calha do rio (aprofundamento do talvegue) e elevação das margens (criação de barrancos).

3.2 Unidades de Estudo

As análises foram realizadas a nível de microbacia hidrográfica. A delimitação das microbacias foi estabelecida em função da análise do relevo, da distribuição dos cursos d'água e da hierarquia fluvial.

Inicialmente foram delimitadas as microbacias dos rios contribuintes do rio Macacu. Em seguida delimitou-se as microbacias de primeira, segunda e terceira ordem dos mesmos, baseando-se na análise geomorfológica do relevo.

Na impossibilidade de se delimitar as microbacias de alguns dos contribuintes do rio Macacu, considerou-se como unidade de estudo a microbacia do próprio rio contribuinte.

A escolha da demarcação das microbacias nestes níveis hierárquicos deve-se ao fato das mesmas apresentarem áreas reduzidas e serem sensíveis hidrológicamente às ações de manejo efetuadas em suas encostas, ou seja, apresentam sensibilidade hidrológica, respondendo de acordo com as mudanças de uso em suas vertentes.

A opção em se trabalhar a nível de microbacia possibilitou a combinação dos diferentes fatores físicos (morfométricos) e ambientais, permitindo gerar ao final do cruzamento dos dados, uma escada de prioridade entre as microbacias delimitadas.

As microbacias foram numeradas, no sentido horário, iniciando-se a numeração naquela situada no ponto de maior cota.

3.3 Modelo Digital de Elevação (MDE)

O Modelo Digital de Elevação (MDE) hidrologicamente consistente da bacia do rio Macacu foi gerado a partir da interpolação das curvas de nível das cartas topográficas vetoriais, obtidas do IBGE na escala de 1:50.000, utilizando-se o software *ArcGIS 9.3*.

A hidrografia da bacia também foi obtida a partir de cartas do IBGE na escala de 1:50.000.

3.4 Faces de Exposição e Radiação Solar

Os mapas das faces de exposição (orientação) das encostas e o mapa da radiação solar global foram obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação da bacia, utilizando-se as ferramentas *Surface/Aspect* e *Solar Radiation* do programa *ArcGIS 9.3*, respectivamente.

O cálculo da radiação global foi obtido, baseado no algoritmo desenvolvido por RICH *et al.* (1994), modificado por FU & RICH (2000). Essa simulação envolve uma representação no formato *raster* que exibe a posição aparente do sol, calculada com base na latitude da área de estudo e variando de acordo com a hora do dia e os dias do ano.

A radiação solar global total obtida refere-se ao ano de 2009.

3.5 Uso do Solo e Distribuição dos Fragmentos

O mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Macacu foi obtido a partir da interpretação visual das imagens de satélite da bacia (imagens do satélite ALOS - Sensor PRISM, pancromático, resolução espacial de 2,5 m, de março de 2008 e imagens do satélite Quickbird, multiespectral, resolução espacial de 2,5m, de dezembro de 2009), com posterior verificação no campo. A vetorização foi realizada diretamente no monitor do computador utilizando o software *ArcGIS 9.3*.

O sistema de classificação foi dividido nas seguintes classes de uso (Figura 7):

- Corpos hídricos - compreendendo principais rios e lagos;
- Florestas - discriminadas em 3 subclasses de sucessão secundária: Avançado, Médio e Inicial;
- Capoeira - vegetação aberta com forração de gramíneas, associadas a ervas, arbustos e árvores esparsamente distribuídas;
- Área Urbana – área caracterizada por edificação contínua;
- Área Agrícola - engloba culturas temporárias diversificadas;
- Pastagens – campos antrópicos; e
- Solo Exposto – Áreas de terraplanagem recente, áreas de empréstimo e lixões.

Com o mapa de uso do solo foi possível avaliar a distribuição, tamanho e conectividade dos fragmentos dentro da bacia.



Figura 7: Classes de uso do solo no interior da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

3.6 Levantamento dos Solos

No levantamento de solos, o estudo do terreno bem como das características principais dos perfis, demanda uma descrição morfológica associada à caracterização química e física, classificação taxonômica e espacialização dos limites das unidades de mapeamento. Embora, todas estas informações estejam disponíveis deste início da década dos anos 80, considerando o levantamento exploratório de solos produzido pelo Projeto RADAMBRASIL - Folha SF23/24 (1983) em escala de 1:1.000.000, sua utilidade é limitada uma vez que o grau de detalhamento de um mapa está diretamente relacionado à sua escala. Assim, mapas de solos em escalas pequenas não são adequados para o planejamento de uso e manejo de solos em municípios, bacias hidrográficas e/ou propriedades rurais, sendo necessários levantamentos em escalas que proporcione mais e melhores detalhes.

Para o mapeamento de solos da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ foi realizado inicialmente um levantamento de reconhecimento de alta intensidade na escala de 1:200.000, visando a avaliação qualitativa e semiquantitativa dos solos. Este nível de reconhecimento fornece as informações básicas para o planejamento geral de programas de conservação e manejo dos solos (IBGE, 2003). Realizou-se ainda uma revisão bibliográfica considerando os aspectos geológicos, cobertura vegetal e, principalmente, pedológicos da área em estudo, particularmente no que se refere às áreas cársticas do Estado do Rio de Janeiro.

A frequência de amostragem foi de um perfil completo e um ponto de amostra extra por classe de solo componente de unidade de mapeamento simples ou de associação. Todas as classes de solos identificadas na área foram caracterizadas por um perfil representativo completo e georreferenciado.

As unidades de mapeamento foram identificadas por observações e amostragem ao longo de percursos que cruzaram diferentes padrões de drenagem, relevo, vegetação, geologia e geomorfologia. Grande parte dos limites entre unidades de mapeamento foi estabelecida no campo e os limites definidos por sensoriamento remoto com verificação e ajuste de campo.

As unidades de mapeamento foram constituídas por unidades simples ou por associações de até três componentes de Subgrupos de solos.

As descrições dos perfis foram realizadas de acordo com o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SANTOS *et al.*, 2005). As amostras de solos coletadas foram analisadas física e quimicamente no Laboratório de Solos/UFRRJ, segundo metodologia proposta por EMBRAPA (1997). As análises realizadas para classificação dos solos foram: composição granulométrica, pH em água e em KCl, $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$, Na^{+1} , Al^{+3} , K^{+1} , $\text{H} + \text{Al}^{+3}$, P assimilável e carbono orgânico total - COT. Por meio destes dados foram calculados os valores de saturação por alumínio ($m = 100 \cdot \text{Al}^{3+} / \text{Valor S} \cdot \text{Al}^{3+}$); Hidrogênio extraível $\{(H + \text{Al}^{3+}) - \text{Al}^{3+}\}$, capacidade de troca de cátions - CTC e percentagem de saturação de bases ($\text{Valor V} = 100 \cdot \text{Valor S} / \text{Valor T}$).

A vetorização das classes de solo foi realizada utilizando o software *ArcGIS 9.3*.

Os critérios utilizados para o estabelecimento das classes de solo baseou-se nos princípios preconizados por EMBRAPA (2006).

3.7 Fatores Morfométricos das Microbacias

3.7.1 Obtenção dos fatores morfométricos

Após a delimitação das microbacias e a obtenção do Modelo Digital de Elevação foram levantadas para cada microbacia as seguintes características físicas: área de drenagem; perímetro; coeficiente de compacidade; declividade média; altitude média; orientação (exposição); densidade de drenagem e sistema de drenagem (ordem dos cursos d'água).

A área de drenagem da microbacia corresponde à área plana (projeção horizontal) inclusa entre os seus divisores topográficos (CARVALHO & SILVA, 2003), constituindo-se no elemento básico para o cálculo das outras variáveis morfométricas. De acordo com LIMA (1986) a maior parte das características da bacia está, de alguma forma, relacionada com a sua área.

A forma da microbacia tem efeito direto sobre seu comportamento hidrológico, influenciando no tempo de concentração e, conseqüentemente, na suscetibilidade a inundações e enchentes. Esta variável foi avaliada por meio do Coeficiente de Compacidade (K_c), baseado na seguinte equação:

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Onde:

K_c = Coeficiente de Compacidade;

P = Perímetro da microbacia (m);

A = Área da microbacia (m^2).

O K_c é sempre um valor maior que 1 (um), caso fosse 1, a bacia seria um círculo perfeito. Quanto menor o K_c (mais perto da unidade), mais circular é a bacia e maior a tendência de gerar picos de enchentes (CARVALHO & SILVA, 2003).

A declividade está relacionada a diversos processos hidrológicos, destacando-se o processo de infiltração e escoamento superficial, influenciando a relação entre precipitação e deflúvio (LIMA, 1986).

A variação altitudinal e altitude média da bacia estão relacionados com a precipitação (efeito orográfico) e temperatura (LIMA, 1986).

A declividade e altimetria das microbacias foram obtidas a partir do MDE, utilizando-se ferramentas do software *ArcGIS 9.3*. As classes de declividade foram separadas em seis intervalos distintos, de acordo com EMBRAPA (1979) (Tabela 1).

Tabela 1: Classificação da declividade segundo EMBRAPA (1979).

| Declividade (%) | Discriminação |
|-----------------|------------------------------|
| 0-3 | Relevo plano |
| 3-8 | Relevo suavemente ondulado |
| 8-20 | Relevo ondulado |
| 20-45 | Relevo fortemente ondulado |
| 45-75 | Relevo montanhoso |
| >75 | Relevo fortemente montanhoso |

A orientação da microbacia consiste na direção geral para a qual sua declividade está exposta (Figura 8).

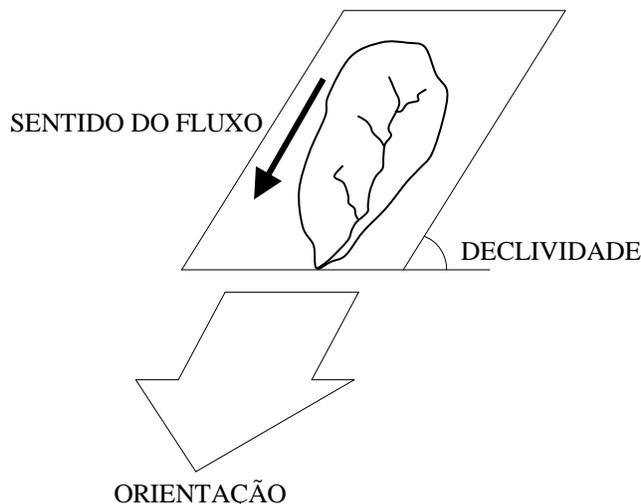


Figura 8: Representação esquemática da orientação (exposição) da microbacia hidrográfica.

Este fator afeta as perdas por evapotranspiração, em função de sua influencia na quantidade de radiação solar recebida pela bacia (LIMA, 1986). Na região do estudo a orientação da bacia influencia ainda na oferta de umidade, em função da bacia aérea de Cachoeiras de Macacu que condiciona a condução das massas de ar úmidas oriundas do oceano (BARBOZA, 2004).

Para o levantamento desta variável, dividiu-se a rosa dos ventos em oito faces e seu eixo central foi posicionado no ponto superior de cada bacia, onde marcou-se sua orientação (SPOLIDORO, 1998 apud MARQUES, *et al.*, 2005) (Figura 9).

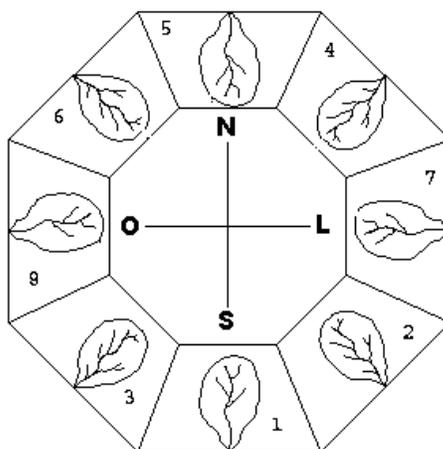


Figura 9: Orientação das microbacias. Fonte: MARQUES, *et al.* (2005).

A ordem dos cursos d'água foi determinada de acordo com a classificação apresentada por STRAHLER (1957), em que os canais sem tributários são designados de primeira ordem. Os canais de segunda ordem são os que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem; os canais de terceira ordem originam-se da confluência de dois canais de segunda ordem, e assim sucessivamente (SILVEIRA, 2001). A junção de um canal de determinada ordem a um canal de ordem superior não altera a ordem deste (Figura 10).

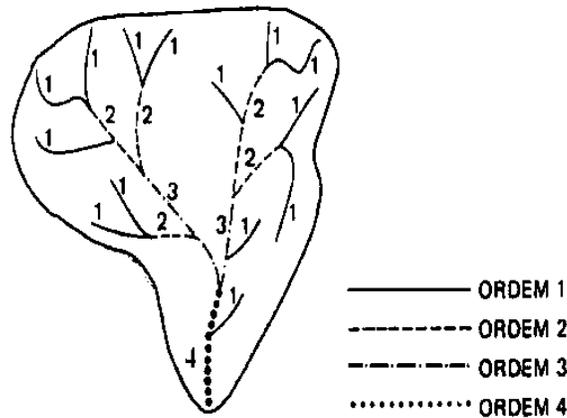


Figura 10: Classificação dos cursos d'água (STRAHLER, 1957).

A densidade de drenagem indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica, tendo relação direta com o tempo de concentração. Esse índice é influenciado pela geologia, topografia, solo e vegetação (LIMA, 1986).

O clima influencia diretamente na densidade de drenagem, por meio do regime e vazão dos cursos d'água e indiretamente por meio de sua influência sobre a vegetação. A geologia e solos desempenham papel fundamental para este índice, uma vez que determinam a maior ou menor resistência à erosão e conseqüentemente a capacidade de infiltração (LIMA, 1986).

Bacias hidrográficas com geologia predominante de argilitos tendem a apresentar densidade de drenagem mais alta que bacias com substrato predominante de arenitos, em função da diferenciação da porosidade e taxas de infiltração (MORISAWA, 1968 *apud* LIMA, 1986).

Esta variável foi determinada a partir da seguinte equação:

$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

Onde:

Dd = Densidade de drenagem (km/km²);

$\sum L$ = Comprimento total de todos os cursos d' água (km)

A = Área da microbacia (km²).

Em relação a este fator, as bacias hidrográficas são classificadas, de acordo com o exposto na Tabela 2.

Tabela 2: Classificação da drenagem em bacias hidrográficas, de acordo com VILLELA & MATTOS (1975).

| Drenagem da bacia | Densidade de Drenagem (km/ km ²) |
|------------------------------|--|
| Pobre | $Dd < 0,5$ |
| Regular | $0,5 \leq Dd < 1,5$ |
| Boa | $1,5 \leq Dd < 2,5$ |
| Muito boa | $2,5 \leq Dd < 3,5$ |
| Excepcionalmente bem drenada | $Dd \geq 3,5$ |

3.7.2 Obtenção do mapa de fatores morfométricos

O mapa final dos fatores morfométricos foi obtido por meio da combinação dos pesos atribuídos aos diferentes atributos físicos calculados (coeficiente de capacidade; declividade média; altitude média; orientação, insolação e densidade de drenagem). Essa combinação foi realizada por meio de álgebra de mapas simples, utilizando-se o comando *Map Algebra* do programa *ArcGIS 9.3* (Figura 11).

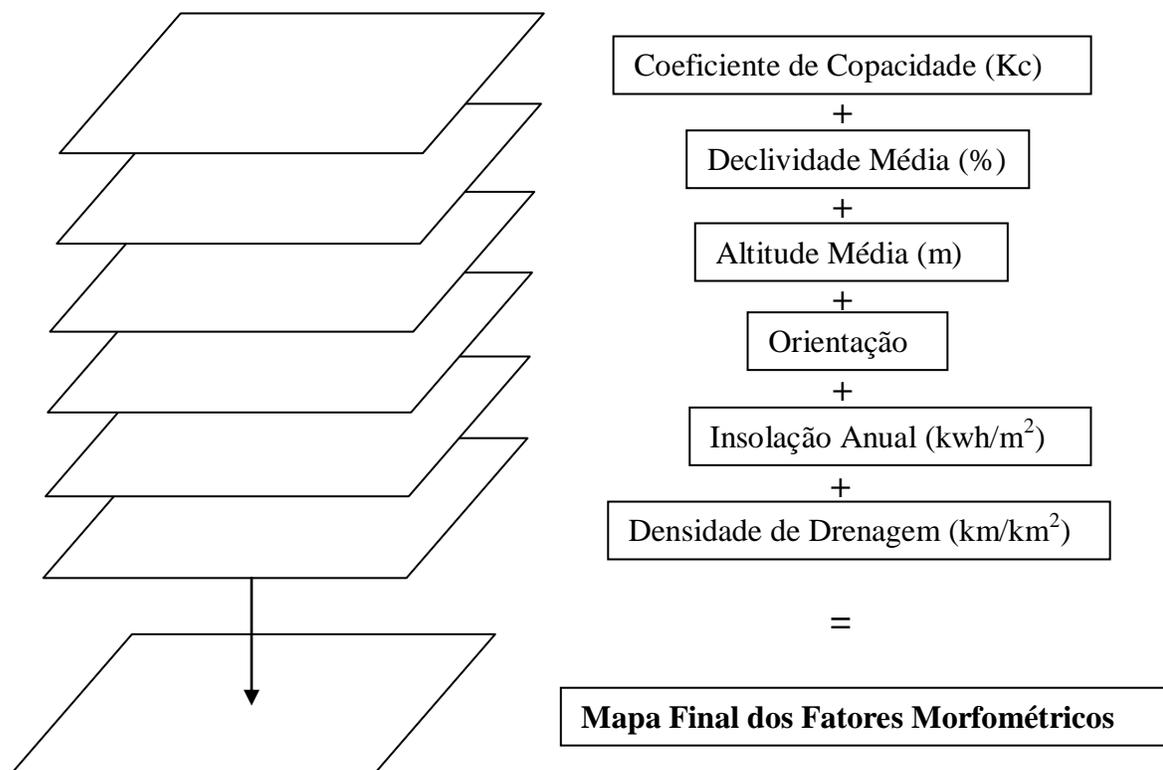


Figura 11: Representação esquemática da obtenção do mapa de fatores morfométricos das microbacias hidrográficas.

A definição dos pesos dentro de cada plano de informação (mapa) baseou-se na análise da influência que cada fator exerce no comportamento hidrológico e na manutenção do equilíbrio ecológico-ambiental dos ecossistemas, tais como tempo de concentração, capacidade de infiltração, suscetibilidade ao fogo, oferta de umidade e temperatura.

Cada um dos diferentes fatores foi dividido em 8 (oito) intervalos de classes, culminando na formação de uma escala de pesos variando de 3 à 10, sendo os maiores valores o intervalo mais importante (prioritário) e os menores valores os menos importantes (menos prioritários) (Figura 12).

Optou-se por essa escala de valores, com o intuito de minimizar o grau de importância entre as classes, evitando-se que uma classe assumisse peso excessivamente maior que outra. Dentro desta escala a diferença entre a classe mais importante em relação à classe menos importante é sempre menor que 4 (quatro).

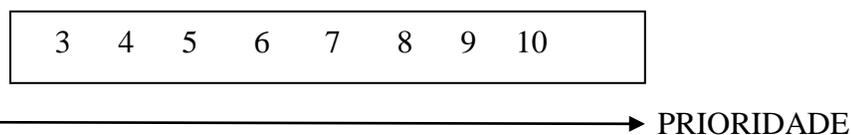


Figura 12: Escala de prioridades para as variáveis dentro dos planos de informação (mapas).

Considerou-se como prioritárias aquelas áreas que apresentam maior oferta de atributos ambientais, conforme estabelecido na Tabela 3.

Tabela 3: Critérios utilizados para valoração dos intervalos de classe. Valorização das áreas mais resilientes.

| Critérios |
|--|
| Maior tempo de concentração ¹ Maior umidade Temperatura mais amena Menor suscetibilidade ao fogo |

3.7.2.1 Valoração dos Fatores Morfométricos

➤ Forma das Microbacias

A forma das microbacias foi determinada por meio do coeficiente de compacidade (Kc), onde priorizou-se as microbacias hidrográficas que apresentam um formato mais alongado e consequentemente condicionam um maior tempo de concentração (CARVALHO & SILVA, 2003).

A amplitude das classes foi obtida por meio da relação entre a amplitude total dos dados encontrados para esta variável e o número de classes estabelecidas (8 classes) (Tabela 4).

Tabela 4: Classes estabelecidas para a variável Coeficiente de Compacidade (Kc) e seus respectivos pesos.

| Kc | Pesos |
|--------------|-------|
| 1,00- 1,13 | 3 |
| 1,13 - 1,26 | 4 |
| 1,26- 1,39 | 5 |
| 1,39 - 1,52 | 6 |
| 1,52 - 1,65 | 7 |
| 1,65 - 1,78 | 8 |
| 1,78 - 1, 91 | 9 |
| 1,91 – 2,00 | 10 |

¹ Tempo necessário para que a água afluyente pela precipitação a todos os pontos da bacia, passe pelo exutório (LIMA, 1986), ou seja, corresponde ao tempo necessário para que o ponto mais afastado da bacia contribua com a descarga no exutório.

➤ Declividade Média das Microbacias

A declividade média de cada uma das microbacias analisadas foi extraída a partir do mapa de declividade total da bacia hidrográfica do rio Macacu.

Priorizou-se as microbacias que apresentam as maiores declividades médias, em função das mesmas apresentarem maior suscetibilidade à erosão, maior sensibilidade hidrológica (respostas mais perceptíveis), além de estarem sob influência direta do efeito da orografia (chuvas orográficas) e menor pressão de uso antrópico, devido à dificuldade de acesso.

A amplitude das classes foi obtida por meio da relação entre a amplitude total dos dados encontrados para esta variável e o número de classes estabelecidas (8 classes) (Tabela 5).

Tabela 5: Classes estabelecidas para a variável declividade média e seus respectivos pesos.

| Declividade Média (%) | Pesos |
|------------------------------|--------------|
| 1 - 11 | 3 |
| 11 - 21 | 4 |
| 21 - 31 | 5 |
| 31 - 41 | 6 |
| 41 - 51 | 7 |
| 51 - 61 | 8 |
| 61 - 71 | 9 |
| 71 - 81 | 10 |

➤ Altitude Média da Microbacia

A altitude média das microbacias foi obtida a partir do Modelo Digital de Elevação da bacia.

Foram priorizadas as microbacias com maior altitude média, em função das mesmas apresentarem temperatura mais amena e tenderem a apresentar maior índice pluviométrico devido ao efeito orográfico do relevo, conforme demonstrado no mapa de isoietas da bacia (Figura 13).

A amplitude das classes foi obtida por meio da relação entre a amplitude total dos dados encontrados para esta variável e o número de classes estabelecidas (8 classes) (Tabela 6).

Tabela 6: Classes estabelecidas para a variável altitude média e seus respectivos pesos.

| Altitude média | Pesos |
|-----------------------|--------------|
| 13 - 215,5 | 3 |
| 215,5 - 418 | 4 |
| 418 - 620,5 | 5 |
| 620,5 - 823 | 6 |
| 823 - 1025,5 | 7 |
| 1025,5 - 1228 | 8 |
| 1228 - 1430,5 | 9 |
| 1430,5 - 1633 | 10 |

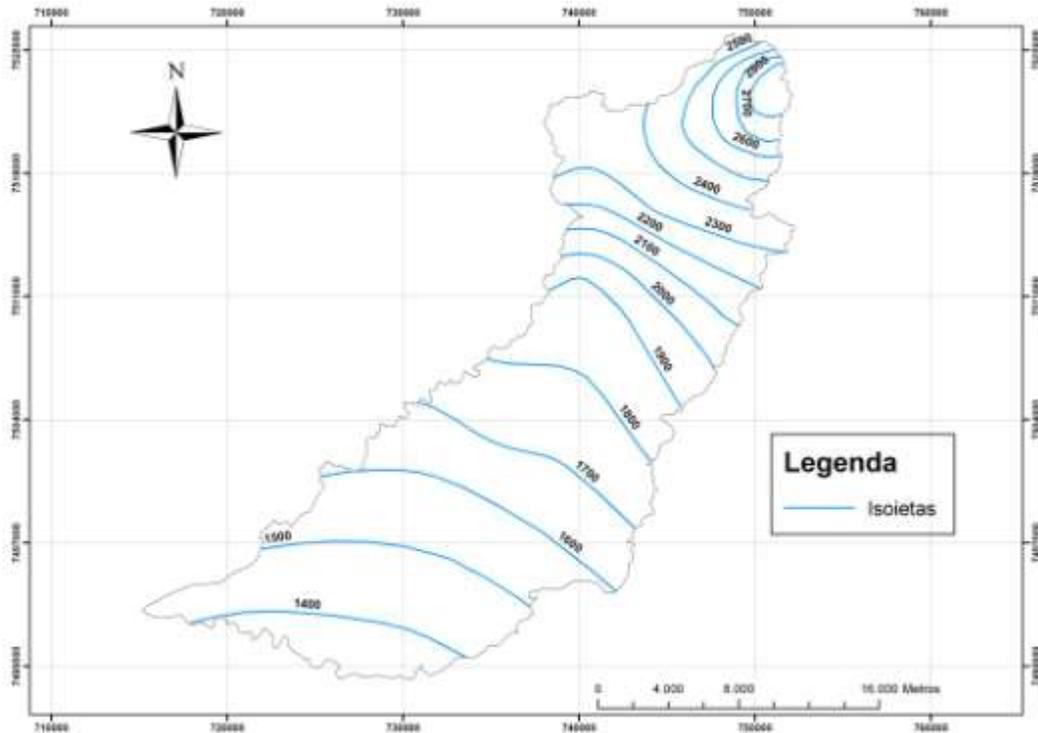


Figura 13: Mapa de isoietas da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. Fonte: Fonte: CPRM, 2000; Folhas Topográficas 1:50.000 IBGE/DSG; Base Cartográfica Planialtimétrica Digital IEF (Escala Original 1:50.000). Dados obtidos a partir do PDRH-BG (2005).

➤ **Orientação das Microbacias**

Para definição dos pesos a serem associados a cada uma das microbacias em função da orientação (exposição) das mesmas, considerou-se a influência deste fator sobre as variáveis temperatura e umidade, onde foram priorizadas as orientações que propiciam temperaturas mais amenas e maior oferta de umidade (Figura 14).

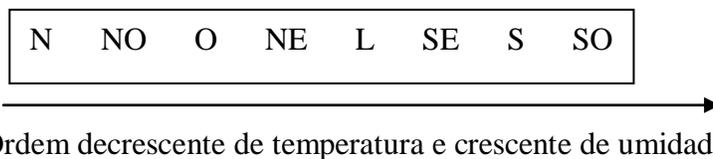


Figura 14: Escala de temperatura e umidade em função da orientação da microbacia hidrográfica.

Dentro deste contexto, priorizou-se as microbacias voltadas para os quadrantes que tendem a receber menor incidência solar e maior incidência de ventos úmidos.

Considerando-se a posição latitudinal da bacia hidrográfica, a orientação leste-oeste do movimento solar e a influência direta da bacia área de Cachoeiras de Macacu, que condiciona a predominância dos ventos úmidos oriundos da direção Sudoeste (BARBOZA, 2004), procedeu-se a valoração de acordo com o exposto na Tabela 7.

Tabela 7: Classes estabelecidas para a variável orientação e seus respectivos pesos.

| Orientação | Pesos |
|------------|-------|
| SO | 10 |
| S | 9 |
| SE | 8 |
| E | 7 |
| NE | 6 |
| O | 5 |
| NO | 4 |
| N | 3 |

➤ Radiação Solar

Após a obtenção da radiação solar dentro da bacia hidrográfica do rio Macacu, foi obtido um valor médio anual dentro de cada uma das microbacias analisadas.

Priorizou-se as microbacias que recebem menor radiação solar, ou seja, aquelas que tendem a apresentar maior umidade, menor temperatura e conseqüentemente menor suscetibilidade ao fogo.

A amplitude das classes foi obtida por meio da relação entre a amplitude total dos dados encontrados para esta variável e o número de classes estabelecidas (8 classes) (Tabela 8).

Tabela 8: Classes estabelecidas para a variável Radiação Solar e seus respectivos pesos.

| Insolação (kwh/m ²) | Pesos |
|---------------------------------|-------|
| 837 – 905 | 10 |
| 905 – 973 | 9 |
| 973 – 1041 | 8 |
| 1041 – 1109 | 7 |
| 1109 – 1177 | 6 |
| 1177 – 1245 | 5 |
| 1245 – 1313 | 4 |
| 1313 - 1381 | 3 |

➤ Densidade de drenagem

A densidade de drenagem de cada uma das microbacias foi obtida por meio da divisão do comprimento total dos cursos d'água pertencentes à microbacia pela sua área.

De acordo com NETO *et al.* (2007) o sistema de drenagem de uma bacia permite caracterizar uma maior ou menor velocidade com que a água escoar ao longo desta, fornecendo subsídios sobre a permeabilidade e o grau de infiltração da água. Segundo LIMA (1986) valores baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis.

As bacias hidrográficas que apresentam uma densidade de drenagem mais pobre tendem a apresentar menor probabilidade de gerar picos de enchente (VITAL & ZAMPARONI, 2007), ou

seja, apresenta uma saída de água (escoamento) em seu exutório de forma mais bem distribuída no tempo, culminando em respostas hidrológicas mais lentas.

Uma baixa densidade de drenagem significa uma maior superfície de contribuição, fazendo com que o deflúvio demore mais para atingir os rios (GARCEZ, 1974 *apud* BORSATO & MARTONI, 2004), aumentando, dessa forma, o tempo de concentração.

Dentro deste contexto, foram priorizadas as microbacias com menor densidade de drenagem, pelo fato das mesmas tenderem a apresentar um maior tempo de concentração, solos mais porosos e conseqüentemente maior infiltração.

A amplitude das classes foi obtida por meio da relação entre a amplitude total dos dados encontrados para esta variável e o número de classes estabelecidas (8 classes) (Tabela 9).

Tabela 9: Classes estabelecidas para a variável Densidade de Drenagem e seus respectivos pesos.

| Dd (km/km²) | Pesos |
|-------------------------------|--------------|
| 0,49 - 1,19 | 10 |
| 1,19 - 1,89 | 9 |
| 1,89 - 2,59 | 8 |
| 2,59 - 3,29 | 7 |
| 3,29 - 3,99 | 6 |
| 3,99 - 4,69 | 5 |
| 4,69 - 5,39 | 4 |
| >5,39 | 3 |

Após a combinação dos diferentes fatores, o mapa final foi normalizado (padronizado) para um escala numérica comum (variando de 0-255 bytes), utilizando-se o módulo *fuzzy* do programa *IDRISI*.

A padronização dos dados é essencialmente um processo de conversão dos valores originais em escores de aptidão ao propósito desejado. A normalização é utilizada para uniformizar as unidades de todos os mapas, atribuindo-lhes uma escala comum de valores de prioridade, possibilitando a agregação dos mesmos e a obtenção de um mapa final de prioridades.

A descrição metodológica detalhada do processo de normalização dos dados é apresentada no item 4.16.

3.8 Levantamento Pluviométrico da Bacia

O mapa de precipitação da bacia do rio Macacu foi gerado a partir da interpolação das isoietas obtidas do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, na escala de 1:50.000, elaborado pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro (2005), utilizando-se a ferramenta *Spatial Analyst Tools/Interpolation* do programa *ArcGIS 9.3*.

3.9 Vulnerabilidade à Erosão

A vulnerabilidade à erosão é o resultado da combinação de diferentes fatores físicos e ambientais (GUERRA *et al.*,2005). As características e magnitudes de cada fator vão determinar uma maior ou menor suscetibilidade ao fenômeno erosão.

De acordo com SILVA *et al.*(2003) os principais fatores que exercem influência sobre o processo erosivo são: o solo, o embasamento geológico, o clima, a topografia e a cobertura do solo.

Baseando-se nesta premissa, o mapa de vulnerabilidade à erosão foi obtido por meio da combinação dos pesos atribuídos à classes de solos, pluviosidade, uso do solo e declividade, através de álgebra de mapas, utilizando-se o comando *Map Algebra* do programa *ArcGIS 9.3*.

A valoração das classes de cada um dos planos de informação baseou-se na classificação proposta por CREPANI *et al.* (2001) (Tabelas10, 11, 12 e 13).

Tabela 10: Valoração das diferentes classes de solo. Fonte: CREPANI *et al.*(2001).

| Classe de solo | Vulnerabilidade/Estabilidade |
|------------------------|------------------------------|
| Latossolo | 1,0 |
| Argissolo | 2,0 |
| Luvisolo | 2,0 |
| Alissolo | 2,0 |
| Nitossolo | 2,0 |
| Chernossolo | 2,0 |
| Planossolo | 2,0 |
| Espodossolo | 2,0 |
| Cambissolo | 2,5 |
| Neossolo | 3,0 |
| Neossolo Quartzarênico | 3,0 |
| Vertissolo | 3,0 |
| Organossolo | 3,0 |
| Gleissolo | 3,0 |
| Plintossolo | 3,0 |
| Chernossolo Rêndzico | 3,0 |

Tabela 11: Valoração das diferentes classes pluviométricas. Fonte: CREPANI *et al.* (2001).

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

Tabela 12: Valoração das diferentes classes de uso do solo. Fonte: CREPANI *et al.* (2001).

| Classe de Uso do Solo | Vulnerabilidade |
|-----------------------|-----------------|
| Água | 1,5 |
| Cultura Perene | 2,5 |
| Cultura Anual | 3,0 |
| Pastagem | 2,0 |
| Mata | 1,0 |
| Várzea | 3,0 |
| Cidade | 1,0 |
| Reflorestamento | 1,5 |

Tabela 13: Valoração das diferentes classes de declividade. Fonte: CREPANI *et al.* (2001).

| Declividade (%) | Vulnerabilidade |
|-----------------|-----------------|
| <3,5 | 1,0 |
| 3,5-5,8 | 1,1 |
| 5,8-8,2 | 1,2 |
| 8,2-10,3 | 1,3 |
| 10,3-12,9 | 1,4 |
| 12,9-15,1 | 1,5 |
| 15,1-17,4 | 1,6 |
| 17,4-19,8 | 1,7 |
| 19,8-22,2 | 1,8 |
| 22,2-24,5 | 1,9 |
| 24,5-27,2 | 2,0 |
| 27,2-29,6 | 2,1 |
| 29,6-32,1 | 2,2 |
| 32,1-34,6 | 2,3 |
| 34,6-37,2 | 2,4 |
| 37,2-39,8 | 2,5 |
| 39,8-42,4 | 2,6 |
| 42,4-45,3 | 2,7 |
| 45,3-48,1 | 2,8 |
| 48,1-50 | 2,9 |
| >50 | 3,0 |

Após a atribuição dos pesos à cada classe dentro dos planos de informação efetuou-se a padronização de cada mapa para um escala numérica comum (variando de 0-255 bytes), utilizando-se o módulo *fuzzy* do programa *IDRISI*.

A normalização dos dados permitiu efetuar posteriormente a combinação dos diferentes mapas por meio de álgebra de mapas simples e a obtenção do mapa final de vulnerabilidade à erosão.

Com essa combinação foram gerados valores maiores que 255 bytes, o que tornou necessária a realização de nova normalização, obtendo-se o mapa final de vulnerabilidade à erosão variando entre 0 a 255 bytes, sendo os maiores valores atribuídos às áreas mais vulneráveis a erosão e os menores valores às áreas mais estáveis.

Com o intuito de se obter uma visualização mais clara e precisa dos graus de vulnerabilidade à erosão dos diferentes setores da bacia hidrográfica, procedeu-se uma reclassificação final do mapa de vulnerabilidade em cinco classes de risco: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

3.10 Proximidade entre os Fragmentos Florestais

A fragmentação de habitats é uma das mais citadas causas de extinção das espécies e perda diversidade biológica (PRIMACK & RODRIGUES, 2001).

De acordo com VIANA & PINHEIRO (1998) a fragmentação afeta de forma diferenciada os parâmetros demográficos de mortalidade e natalidade de diferentes espécies e, portanto, a dinâmica e estrutura dos ecossistemas.

Neste sentido, o isolamento ao qual os fragmentos são submetidos tem efeito negativo sobre a riqueza de espécies, diminuindo as taxas de imigração e recolonização (ALMEIDA, 2008).

Como a distância entre fragmentos pode constituir uma barreira para o fluxo gênico das espécies vegetais e animais, ações que promovam a conexão entre os fragmentos são desejáveis, uma vez que promovem um ganho para a biodiversidade regional, além de fortalecer a integridade dos processos ecológicos ao longo do tempo.

Por meio do mapa de distância entre os fragmentos florestais foram priorizadas as uniões entre os mesmos, independentemente dos seus tamanhos.

O mapa com as distâncias entre os remanescentes florestais foi obtido através do algoritmo da distância euclidiana gerado no programa *ArcGIS 9.3* (ferramenta *Distance/Euclidean Distance*).

O referido mapa permitiu priorizar os locais que apresentavam as menores distâncias entre fragmentos, valorizando as conexões entre os mesmos, conforme VALENTE (2005).

Posteriormente, o mapa do fator proximidade à cobertura florestal foi normalizado (escala de 0-255 bytes), adotando-se uma função linear decrescente, de forma a garantir que quanto mais próximo à cobertura florestal maior a importância (prioridade).

3.11 Priorização dos Maiores Fragmentos Florestais

Como citado anteriormente o processo de fragmentação de florestas tem efeitos negativos sobre as comunidades bióticas, por meio da perda de espécies, alterações na estrutura e composição da vegetação e aumento da proporção de árvores mortas ou danificadas (ALMEIDA & SOUZA, 1997). A magnitude de tais alterações tem sido associada principalmente ao tamanho dos remanescentes florestais. Afirma-se que fragmentos pequenos apresentariam um número menor de espécies, pois muitas não sobreviveriam em áreas reduzidas. Além disso, florestas pequenas estariam mais expostas ao efeito de borda, devido sua maior razão borda:interior (PRIMACK & RODRIGUES, 2001).

Seguindo-se esta premissa, as regiões de maior importância na bacia foram aquelas com os maiores fragmentos e ainda os mais próximos uns dos outros. Para obter essa relação de importância, primeiramente os fragmentos foram divididos em classes de tamanho.

Para definição das classes de tamanho, procurou-se obter intervalos com números semelhantes de fragmentos.

Ressalta-se que cada classe de tamanho passou a constituir um novo mapa, a partir dos quais foram gerados mapas com as distâncias entre os fragmentos, através do algoritmo da distância euclidiana gerado no programa *ArcGIS 9.3* (ferramenta *Distance/Euclidean Distance*).

A etapa seguinte consistiu na padronização (normalização) dos mapas de distâncias para uma escala numérica comum, variando de 0-255 bytes. A padronização dos dados permitiu a combinação entre os diferentes mapas, por meio de álgebra de mapas, utilizando a ferramenta *Overlay Weight Sum* do programa *ArcGIS 9.3*. Com o intuito de priorizar as menores distâncias (os locais mais próximos aos fragmentos), utilizou-se uma função linear decrescente.

Para que os maiores fragmentos fossem priorizados em detrimento dos menores fragmentos, atribui-se pesos para cada um dos mapas de distância, sendo os maiores valores atribuídos aos mapas com os maiores fragmentos, conforme demonstrado na Tabela 14.

Tabela 14: Intervalos de classes de tamanho dos fragmentos florestais e seus respectivos pesos.

| Classes de tamanho dos fragmentos florestais (ha) | Pesos |
|---|-------|
| 1-2 | 5 |
| 2-3 | 6 |
| 3-5 | 7 |
| 5-10 | 8 |
| 10-30 | 9 |
| >30 | 10 |

Após a combinação dos diferentes mapas de distância, foi obtido um mapa final com valores superiores a 255 bytes, tornando-se necessária uma nova normalização de valores para gerar o mapa final do fator proximidade entre os maiores fragmentos florestais. Desta vez, foi utilizada uma função linear crescente, que tem a propriedade de manter a escala de importância do mapa original.

3.12 Áreas de Preservação Permanente (APP's) e seus Usos Conflitantes

Após a geração do mapa de uso do solo da bacia foram delimitadas as Áreas de Preservação Permanente (APP's) da bacia por meio do programa *ArcGIS 9.3*. As APP's foram demarcadas de acordo com as distâncias estabelecidas pela Lei Federal nº 4.771/65 (Código Florestal) e Resoluções CONAMA 302/2002 e 303/2002. As categorias de APP's existentes na bacia são: nascentes (raio de 50 m); faixa marginal dos cursos d'água (30 metros de largura para os cursos d'água com menos de 10 metros de largura e 50 metros para os cursos d'água que tenham de 10 a 50 m de largura); encostas com declividade superior a 45°; topos de morros e montanhas (terço superior) e linhas de cumeada (área a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura, em relação à base do pico mais baixo da cumeada).

O mapa das APP's foi confrontado com o mapa de uso do solo identificando-se as áreas que apresentam uso conflitante (vegetação natural substituída por uso antrópico).

Com o intuito de priorizar as microbacias que apresentam a maior área relativa de APP com usos conflitantes, quantificou-se para cada microbacia os tipos de usos do solo presentes em suas APP's.

Em seguida, atribui-se pesos a cada microbacia de acordo com as suas porcentagens de uso conflitantes, conforme explicitado na Tabela 15.

Tabela 15: Intervalos de classe, referentes à porcentagem de usos conflitantes dentro de cada microbacia e seus respectivos pesos.

| % de uso conflitantes dentro da microbacia | Pesos |
|--|-------|
| 0-12,5 | 3 |
| 12,5-25 | 4 |
| 25-37,5 | 5 |
| 37,5-50 | 6 |
| 50-62,5 | 7 |
| 62,5-75 | 8 |
| 75-87,5 | 9 |
| 87,5-100 | 10 |

Dessa forma, foi possível priorizar as microbacias que apresentam a maior porcentagem de suas APP's desprovidas de vegetação nativa.

Após a obtenção do mapa dos usos incongruentes das APP's dentro cada microbacia, procedeu-se a padronização dos dados para uma escala numérica comum variando de 0-255 bytes, utilizando-se uma função linear crescente, de forma a priorizar as microbacias com maior área relativa de APP's com uso incongruente.

3.13 Áreas Degradadas

A identificação das principais áreas degradadas da bacia do rio Macacu apresenta importância relevante, uma vez que essas áreas constituem-se em fontes pontuais de produção de sedimentos, degradando a qualidade dos mananciais, além de dificultar e onerar os custos de tratamento da água. Alguns exemplos de fontes pontuais de produção de sedimentos são loteamentos, corte de estradas, mineradoras (extração de saibro, areia, brita, etc), áreas terraplanadas, voçorocas, etc.

Foram consideradas áreas degradadas toda e qualquer área que sofreu modificações antrópicas a tal ponto que a mesma não apresenta mais mecanismos capazes de reverter a tendência de degradação em um período equivalente ao de uma geração humana, ou seja, áreas que perderam a capacidade de resiliência (PINHEIRO, 2004), necessitando, dessa forma, da intervenção antrópica para sua reabilitação.

A delimitação das fontes produtoras de sedimentos foi realizada a partir da análise de imagens de satélites, visitas de campo e informações coletadas com autoridades municipais de meio ambiente.

Com o intuito de priorizar as microbacias que apresentam o maior número de áreas degradadas, quantificou-se o número de fontes pontuais de emissão de sedimentos dentro de cada uma das microbacias. Em seguida atribuiu-se pesos às microbacias conforme os intervalos de classe apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Intervalos de classe, referentes ao número de áreas degradadas dentro de cada microbacia e seus respectivos pesos.

| Nº de fontes pontuais dentro da microbacia | Pesos |
|--|-------|
| 0-3 | 3 |
| 3 a 6 | 4 |
| 6 a 9 | 5 |
| 9 a 12 | 6 |
| 12 a 15 | 7 |
| 15 a 18 | 8 |
| 18 a 21 | 9 |
| >21 | 10 |

Assim, foi possível priorizar as microbacias que tendem a apresentar maior produção de sedimentos, em função da presença de um maior número de áreas degradadas.

Após a obtenção do mapa de fontes pontuais dentro cada microbacia, procedeu-se a padronização dos dados para uma escala numérica comum variando de 0-255 bytes, adotando-se uma função linear crescente.

3.14 Distância dos Núcleos Urbanos e da Malha Viária

3.14.1 Distância dos centros urbanos

Os fragmentos florestais próximos aos centros urbanos sofrem forte pressão de uso, com constante ameaça de redução de sua área, em função do aumento do risco de incêndios e da própria expansão do centro urbano. Dessa maneira, priorizou-se as áreas que encontram-se afastadas dos núcleos urbanos, possibilitando atuar em locais onde a probabilidade de sucesso é maior.

O mapa dos centros urbanos foi obtido a partir do mapa de uso do solo da bacia.

Após o mapeamento dos núcleos urbanos foi gerado o mapa das distâncias em relação aos mesmos, através do algoritmo da distância euclidiana gerado no programa *ArcGIS 9.3* (ferramenta *Distance/Euclidean Distance*).

Esse mapa de fator foi normalizado (escala de 0-255 bytes) e adotada uma função linear crescente, de forma a priorizar as áreas mais afastadas dos núcleos urbanos.

3.14.2 Distância da malha viária

Assim como o efeito de aglomerados urbanos sobre os fragmentos florestais, a presença da malha viária próxima à fragmentos tende a gerar efeitos negativos, no que se refere a probabilidade de predação e suscetibilidade ao fogo.

Dentro deste contexto, priorizou-se as áreas mais distantes das rodovias e estradas.

O plano de informação da malha viária foi gerado por meio da interpretação visual das imagens de satélite da bacia e posterior verificação no campo. A vetorização foi realizada diretamente no monitor do computador utilizando-se o programa *ArcGIS 9.3*.

Após o mapeamento das estradas e rodovias da bacia, foi gerado um mapa de proximidade da malha viária, através do algoritmo da distância euclidiana gerado no programa *ArcGIS 9.3* (ferramenta *Distance/Euclidean Distance*), possibilitando avaliar a distribuição dos fragmentos florestais em relação às mesmas.

Esse mapa de fator foi normalizado (escala de 0-255 bytes) e adotada uma função linear crescente, de forma a priorizar as áreas mais afastadas da malha viária.

Posteriormente, este mapa foi sobreposto ao mapa de distância dos centros urbanos, utilizando-se a ferramenta *Map Algebra* do programa *ArcGIS 9.3*, considerando os dois mapas com o mesmo valor de importância entre si.

Após a combinação dos diferentes mapas de distância, foi obtido um mapa final com valores superiores a 255 bytes, tornando-se necessária uma nova normalização de valores para gerar o mapa final de distância da malha viária e dos centros urbanos. Adotou-se novamente uma função linear crescente, que tem a propriedade de manter a escala de importância do mapa original.

3.15 Extração das Informações dentro das Microbacias Hidrográficas

Com o intuito de focar as análises à nível de microbacia, procedeu-se a ferramenta *Extraction by Mask* do programa *ArcGIS 9.3*, que permitiu “extrair” os mapas em formato *raster* (grid) em função dos limites das microbacias hidrográficas analisadas (Figura 15).

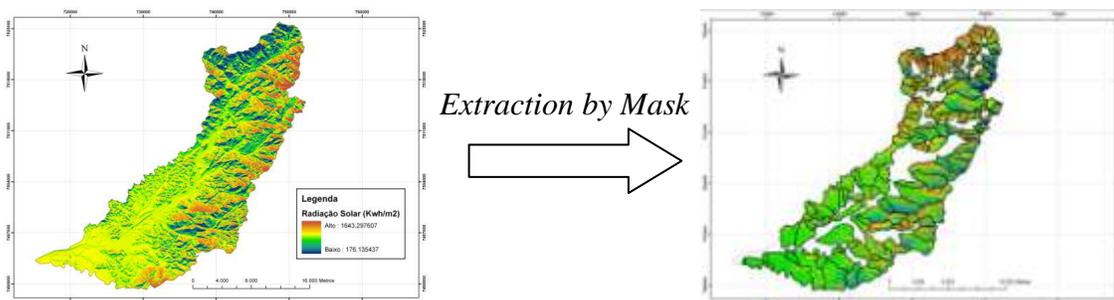


Figura 15: Representação da ferramenta *Extraction by Mask* do programa *ArcGIS 9.3*, para obtenção de valores apenas dentro dos limites definidos pelo usuário.

Utilizou-se a referida ferramenta para todos os mapas de interesse, com exceção dos mapas dos fatores morfométricos, número de áreas degradadas e usos conflitantes em APP's, cujos valores já estavam estabelecidos para dentro de cada uma das microbacias hidrográficas.

Em seguida, visando à obtenção da amplitude total dos dados, dos valores médios e do desvio padrão de cada fator ambiental dentro de cada uma das microbacias, utilizou-se a ferramenta *Zonal Statistics as Table* do programa *ArcGIS 9.3*. Esta ferramenta sumariza os valores do *raster* (mapa) dentro dos limites definidos pelo usuário (neste caso as microbacias) e reporta os resultados em forma de tabela.

Assim foi possível obter todas as informações de interesse dentro de cada uma das microbacias analisadas para posterior combinação e obtenção do mapa de áreas prioritárias.

3.16 Identificação das Áreas Prioritárias para Recomposição Florestal

Para a elaboração do mapa das áreas prioritárias a serem reflorestadas dentro da bacia hidrográfica do rio Macacu foi empregada a abordagem multicriterial em ambiente SIG, por meio da Combinação Linear Ponderada (CLP), utilizando-se o Módulo MCE (*Multicriteria Evaluation*) do programa *IDRISI*.

Na Combinação Linear Ponderada os fatores são padronizados para uma escala numérica comum, recebem pesos e são combinados por meio de uma média ponderada (VOOGD, 1983). Como resultado final (após a combinação entre os fatores) tem-se a obtenção de um mapa de prioridades que pode ser limitado espacialmente por uma ou mais restrições booleanas (EASTMAN, 2001) (Figura 16).

Essa técnica de agregação permite a compensação total entre os fatores por meio da aplicação de pesos ponderados, o que significa que a baixa adequabilidade em um dado fator pode ser compensada por um conjunto de boas adequabilidades em outros.

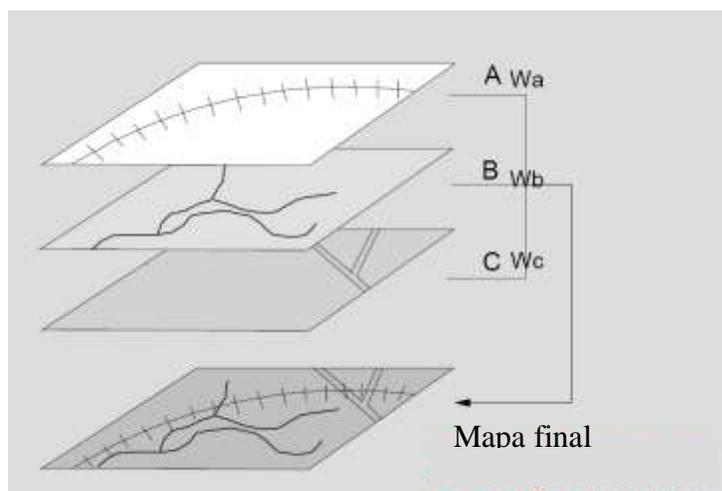


Figura 16: Representação esquemática da Combinação Linear Ponderada. Fonte: Leão (2005).
Legenda: W_x =peso atribuído ao respectivo plano de informação.

Os critérios adotados para obter o mapa final de prioridades foram: tamanho dos fragmentos florestais; proximidade entre fragmentos; vulnerabilidade à erosão; distância aos centros urbanos e da malha viária; fatores morfométricos; grau de degradação da microbacia (número de áreas degradadas) e usos conflitantes nas Áreas de Preservação Permanente (APP's) (Figura 17). Os critérios escolhidos para selecionar as áreas prioritárias baseou-se na relevância dos mesmos como indicadores da fragilidade e vocação de cada setor da bacia.

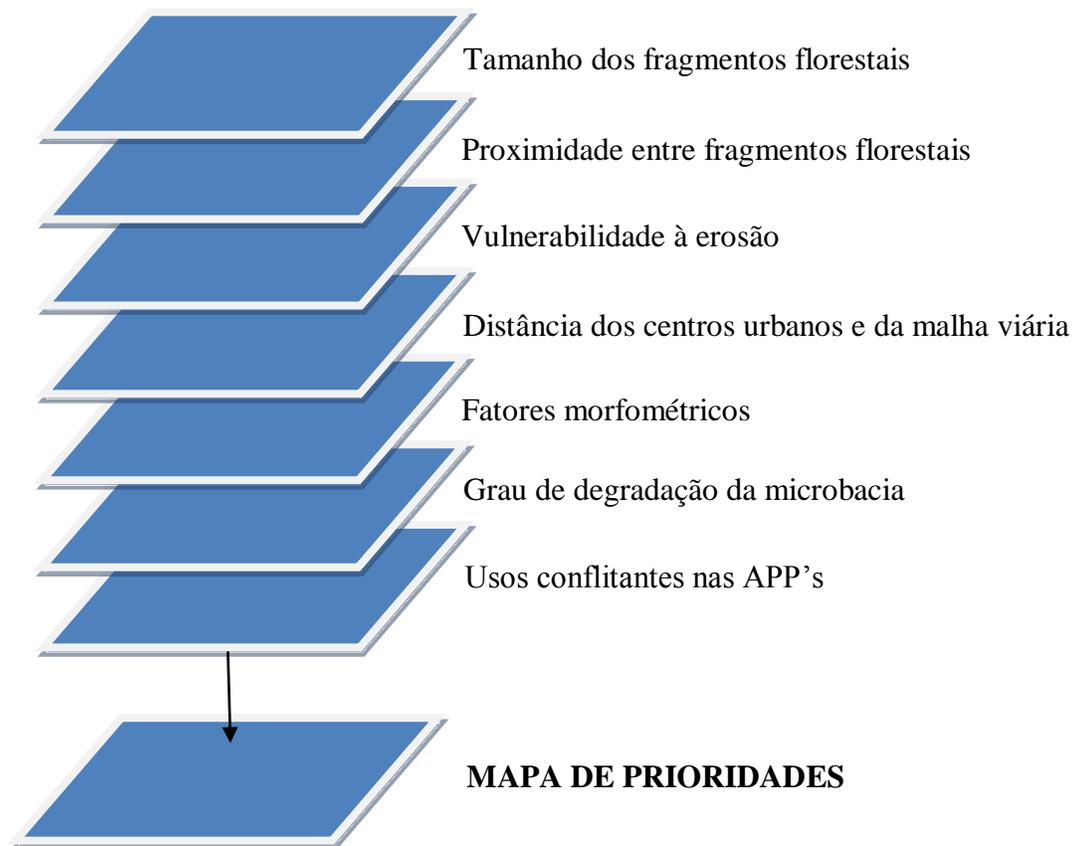


Figura 17: Esquema representativo da combinação dos diferentes critérios utilizados na geração do mapa final de prioridades.

Para possibilitar a combinação entre os diferentes planos de informação, que apresentam unidades distintas foi necessário realizar a padronização dos dados de cada critério para uma escala numérica comum (conforme já descrito nos itens anteriores).

A padronização ou normalização dos critérios baseou-se na lógica *fuzzy*, utilizando-se o módulo *fuzzy* do programa *IDRISI*. Como citado anteriormente, por essa lógica, um conjunto de valores expressos uma dada escala é convertido em outro comparável, expresso em uma escala normalizada. O conjunto *fuzzy* é definido a partir de um domínio contínuo que varia de 0-1 ou de 0-255 (Figura 18). De forma que os valores mais próximos de zero são os menos importantes ou prioritários e os valores mais próximos de 255 são os mais prioritários. A escolha da função mais adequada para a padronização de cada critério foi dependente da relação existente entre o critério avaliado e o objetivo do estudo.

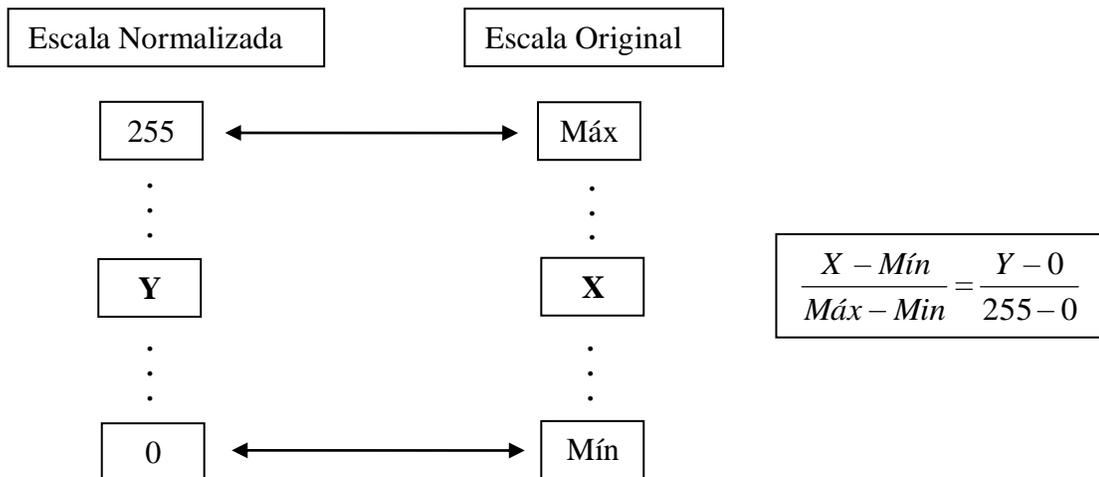


Figura 18: Representação esquemática da padronização dos dados dos diferentes planos de informação. Fonte: Leão (2005).

3.17 Priorização entre os Planos de Informação (Mapas) – Atribuição de Pesos

A definição dos pesos dos fatores (planos de informação) foi feita com base na Técnica Participatória, instrumentalizada pela Matriz de Comparação Pareada. Essa técnica consiste inicialmente na reunião entre especialistas das diferentes áreas de interesse do projeto para auxiliar na definição dos pesos. Para tanto foram enviadas mensagens eletrônicas à especialistas, contendo um resumo do projeto, uma tabela com os fatores considerados e uma outra a ser preenchida com os pesos a serem atribuídos a cada um dos fatores em uma escala de 1-10, dependendo da importância que cada critério considerado exerce no processo de identificação das áreas prioritárias, focando a sustentabilidade ambiental da bacia e a otimização dos recursos hídricos da região.

Após a obtenção desses dados, os mesmos foram processados utilizando-se a extensão Processo Analítico Hierárquico (AHP) do programa *IDRISI*. Esse método baseia-se na elaboração de uma matriz de comparação entre os fatores, de acordo com a importância relativa entre pares de fatores. Dessa forma, os fatores são comparados, dois a dois, utilizando como referência uma escala contínua de nove pontos e classificados segundo a importância relativa entre eles (Figura 19). Como produto final tem-se a obtenção dos pesos para cada um dos critérios. Essa ferramenta avalia ainda a consistência da matriz de comparação, que pode ser avaliada pela Taxa de Consistência (indica a probabilidade de os valores da matriz terem sido gerados ao acaso). Segundo a literatura (SAATY, 1980) valores de Taxa de Consistência superiores a 0,1 indicam que a matriz deve ser reorganizada.

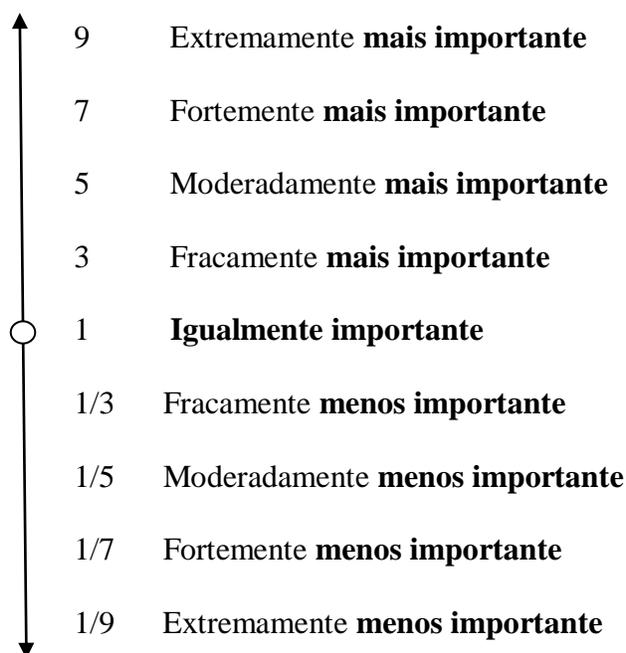


Figura 19: Escala contínua para elaboração da matriz de comparação pareada. Fonte: Leão (2005).

3.18 Análises Complementares - Análise de Agrupamento e Análise de Componentes Principais

Após o cruzamento dos dados, com o intuito de aprimorar e subsidiar as discussões referentes às microbacias identificadas como prioritárias, procedeu-se uma análise de agrupamento das microbacias e uma análise de componentes principais.

As referidas análises permitiram identificar a existência ou não de algum padrão entre as microbacias consideradas como prioritárias de acordo com a abordagem multicriterial empregada, bem como seus fatores físicos determinantes.

No presente estudo a análise de agrupamento, teve como objetivo dividir o grupo original de observações (todas as microbacias delimitadas) em grupos segundo algum critério de similaridade, de forma que as microbacias pertencentes ao mesmo grupo fossem similares a respeito das características físicas. A tipificação das microbacias consiste em uma ferramenta importante na extrapolação dos resultados para áreas similares.

Com o intuito de analisar a semelhança física possivelmente existente entre as 180 microbacias estudadas foi realizada uma análise de similaridade (*cluster analysis*). Para tal, foram selecionadas nove variáveis ambientais, consideradas importantes descritores de microbacias e que influenciam diretamente na dinâmica hidrológica das mesmas (HIRUMA & PONÇANO, 1994; PISSARRA *et al.*, 2004; SANTOS *et al.*, 2007; ANDRADE *et al.*, 2008; OLIVEIRA, 2008). As variáveis adotadas na referida análise foram: área (m²); coeficiente de compacidade; densidade de drenagem (km/km²); ordem da microbacia; declividade média (%); altitude média (m); radiação solar anual média (kwh/m²); orientação (N, S, L, O, NO, NE, SE e SO) e precipitação (mm/ano).

Estes dados foram organizados em uma matriz contendo todas as 180 microbacias e os valores mensurados de suas respectivas variáveis ambientais, onde as microbacias ocupavam as linhas e as variáveis ambientais as colunas. Esta matriz foi usada para gerar uma nova matriz, contendo a similaridade entre cada uma das áreas. Para o cálculo de similaridade entre as áreas, foi usada a distância euclidiana relativa, que mede de fato a dissimilaridade (complemento da similaridade) entre as unidades amostrais. Esta é apontada como mais eficiente que a simples distância euclidiana, usualmente empregada por ser considerada apropriada para dados ambientais (KENT & COKER, 1992; MCCUNE & GRACE, 2002). Os dados foram previamente transformados por uma função de normalização fornecida no programa *Primer 6*, de modo a atender as premissas do uso desta medida de distância. A partir da nova matriz gerada foi então construído, através de um agrupamento por médias não ponderadas (UPGMA), o dendrograma de similaridade.

Este método de agrupamento foi escolhido por ser espaço-conservador e evitar a distorção durante a análise, sendo bastante difundido na literatura (MCCUNE & GRACE, 2002). As análises foram feitas com auxílio do programa *PCORD 5.0* (MCCUNE & MEFFORD, 1999).

Partindo da mesma matriz de dados usada na análise de similaridade, foi efetuada uma Análise de Componentes Principais (Principal Components Analysis – ACP ou PCA). Esta análise foi feita com o intuito de identificar possíveis variáveis ambientais responsáveis pelos agrupamentos identificados na análise de similaridade. Isto porque esta é uma análise tipicamente aplicada a dados ambientais e ordena as unidades amostrais resumindo, nos eixos da análise, suas relações com essas variáveis (GAUCH, 1982; KENT & COKER, 1992; MCCUNE & GRACE, 2002; GOTELLI & ELLISON, 2004).

O programa utilizado para esta análise foi o *PCORD 5.0*. Partindo da matriz de dados originais o programa gera a matriz de produtos cruzados, a qual foi calculada na forma de uma matriz de correlação de Pearson. Este caminho foi escolhido, pois tal opção possui embutida em seu algoritmo de cálculo uma transformação para tornar as variáveis ambientais (colunas) comparáveis entre si (GREG-SMITH, 1983). Assim, os dados não foram previamente tratados, como para a análise de similaridade, porém foram devidamente transformadas no decorrer da ACP em si. Foram interpretados eixos resultantes da ACP considerados significativos segundo o critério do “brocken-stick”, onde autovalores reais devem ser maiores do que os autovalores gerados pelo modelo “brocken-stick”, ou segundo um teste de aleatorização de Monte Carlo (1000 repetições), ou ambos (MCCUNE & GRACE, 2002). Para os três primeiros eixos das ACPs feitas, sejam eles significativos ou não, foi dada a percentagem de variância (dos 100% total da análise) capturada individual e cumulativamente. As correlações de Pearson com cada eixo significativo da ordenação foram consideradas e interpretadas quando eram maiores que 0,3 ou menores que -0,3.

Procedeu-se a correlação de Pearson no programa Excel quando identificou-se uma possível relação entre as variáveis analisadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Unidades de Estudo (Microbacias Hidrográficas)

Após a análise das feições geomorfológicas e da distribuição dos cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Macacu delimitou-se um total de 180 microbacias (Figura 20).

As áreas das microbacias variaram de 10,22 ha a 1.434,85 ha. As maiores microbacias foram aquelas dos rios contribuintes do Macacu na parte baixa da bacia, que em função do relevo plano e da baixa sensibilidade hidrológica não foi possível desmembrar em áreas menores. Verificou-se que a maior parte das microbacias apresenta área até 300 ha (78,33% ou 141 microbacias), sendo 80 delas com área até 100 ha (Figura 21). A adoção de microbacias de pequeno porte nos estudos possibilita um controle mais efetivo dos fatores hidrológicos atuantes.

De acordo com LIMA (1986) a área de cada microbacia tem influência direta sobre a quantidade de água produzida como deflúvio.

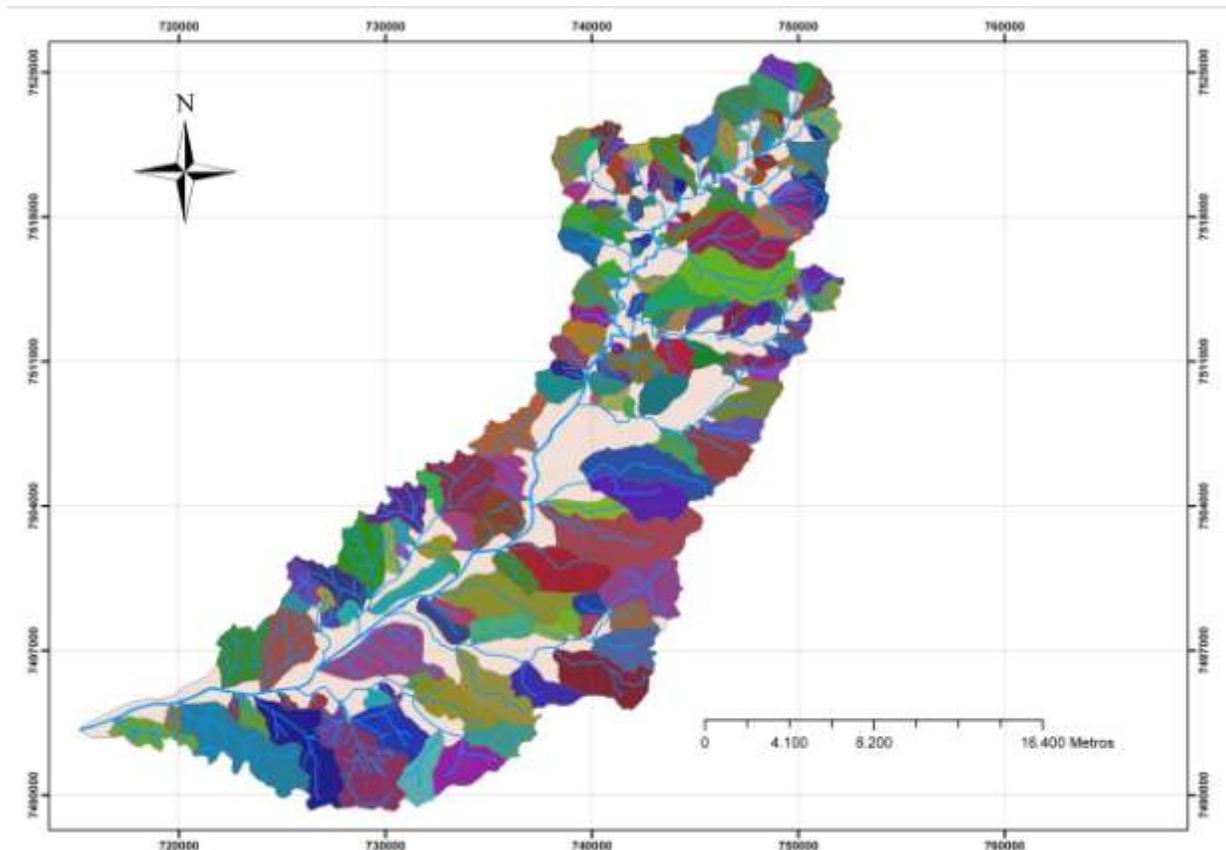


Figura 20: Mapa das microbacias da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

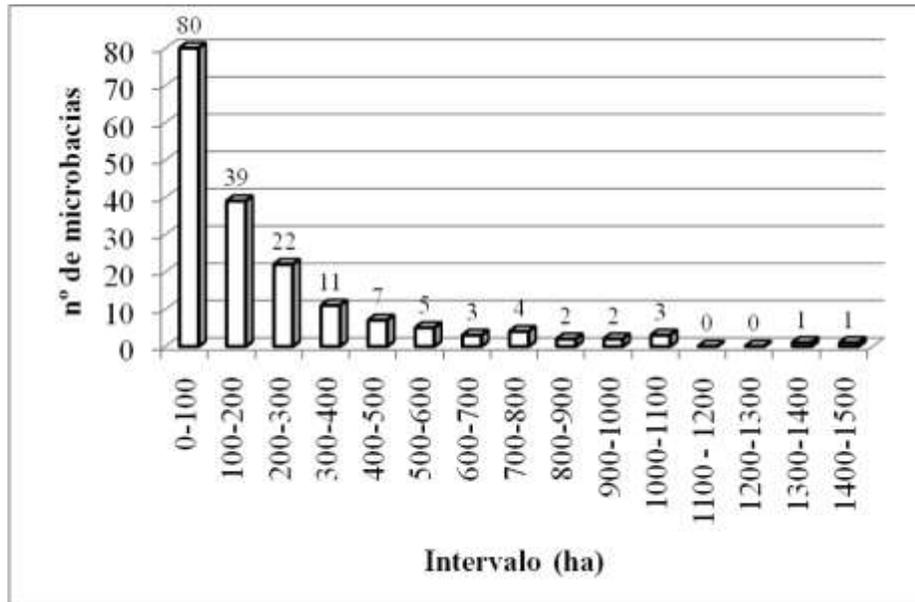


Figura 21: Número de microbacias por classes de tamanho.

4.2 Mapas da Bacia Hidrográfica do Rio Macacu

4.2.1 Modelo digital de elevação

Analisando-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia hidrográfica do rio Macacu observa-se uma variação altitudinal de 2.220 metros (Figura 22).

Em função desse gradiente de altitude, verifica-se a presença de padrões geomorfológicos variados caracterizados por planícies de inundação e pequenas colinas na parte inferior da bacia que estendem-se ao longo do curso do rio Macacu até o município de Cachoeiras de Macacu (Figura 23), seguida pela presença de morros e montanhas com altitude média variando de 400 a 700 m na parte média da bacia hidrográfica, onde a presença de morros denominados “meia laranjas” encontram-se apenas em pequenas porções da paisagem (Figura 24) e relevo montanhoso escarpado próximo aos divisores topográficos da bacia, sobretudo na porção norte-nordeste da bacia (Figura 25).

De acordo com TONELLO *et al.* (2006), a conformação do relevo influencia a dinâmica hidrológica da bacia e, conseqüentemente, os processos de sedimentação.

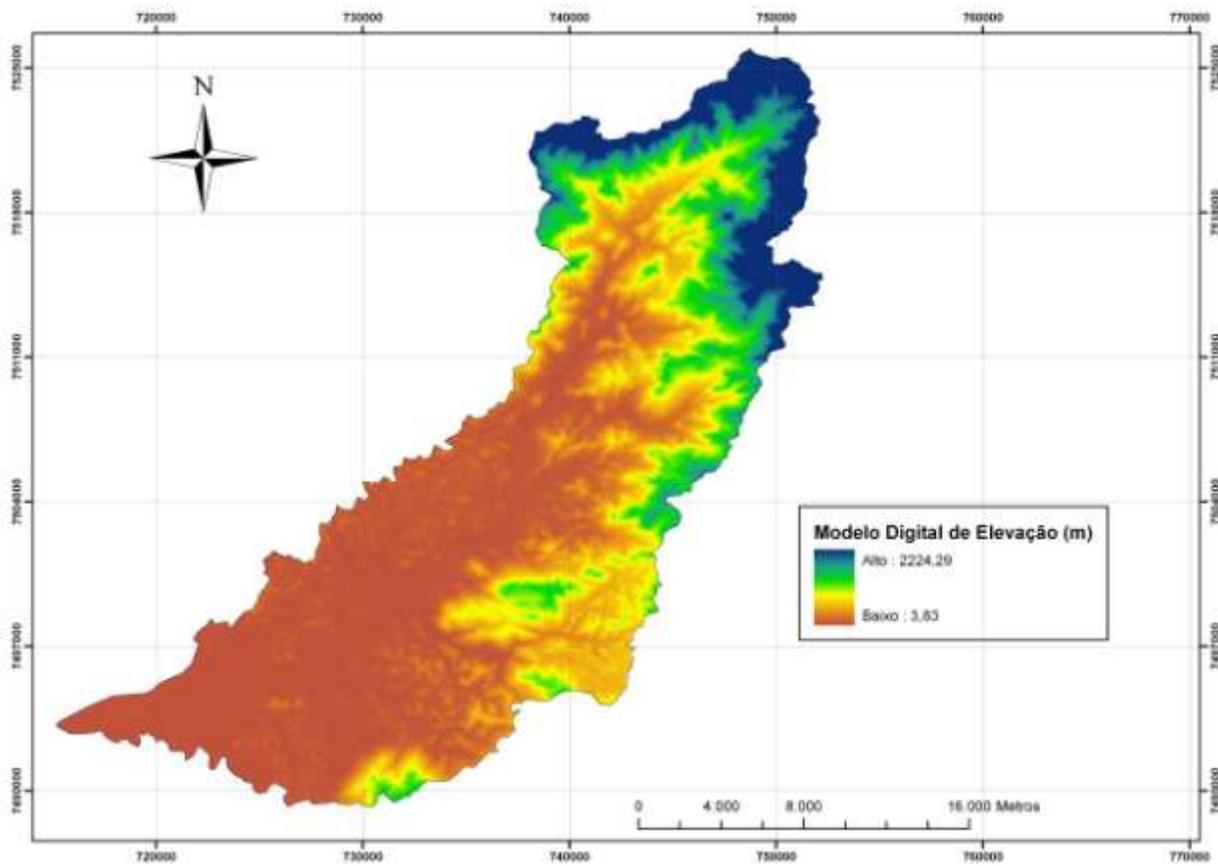


Figura 22: Modelo Digital de Elevação da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ (escala: 1:50.000).



Figura 23: Padrão da paisagem na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. Predomínio de áreas de baixada associadas a colinas.



Figura 24: Padrão da paisagem na parte média da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. Predomínio de morros e montanhas com até 700 m de altitude.



Figura 25: Padrão da paisagem na parte alta da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. Predomínio relevo montanhoso e escarpado, associado à presença de afloramentos rochosos.

4.2.2 Declividade e face de orientação

O mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Macacu é apresentado na Figura 26. De maneira geral, observa-se um padrão de declividade concordante as feições geomorfológicas identificadas a partir do MDE, com declividades superiores a 45° nas partes mais altas da bacia (escarpas da serra do Mar) e declividades suaves de $0-10^\circ$ na parte inferior da bacia, ocupando aproximadamente 30% da área total. A declividade média da bacia é de 16° .

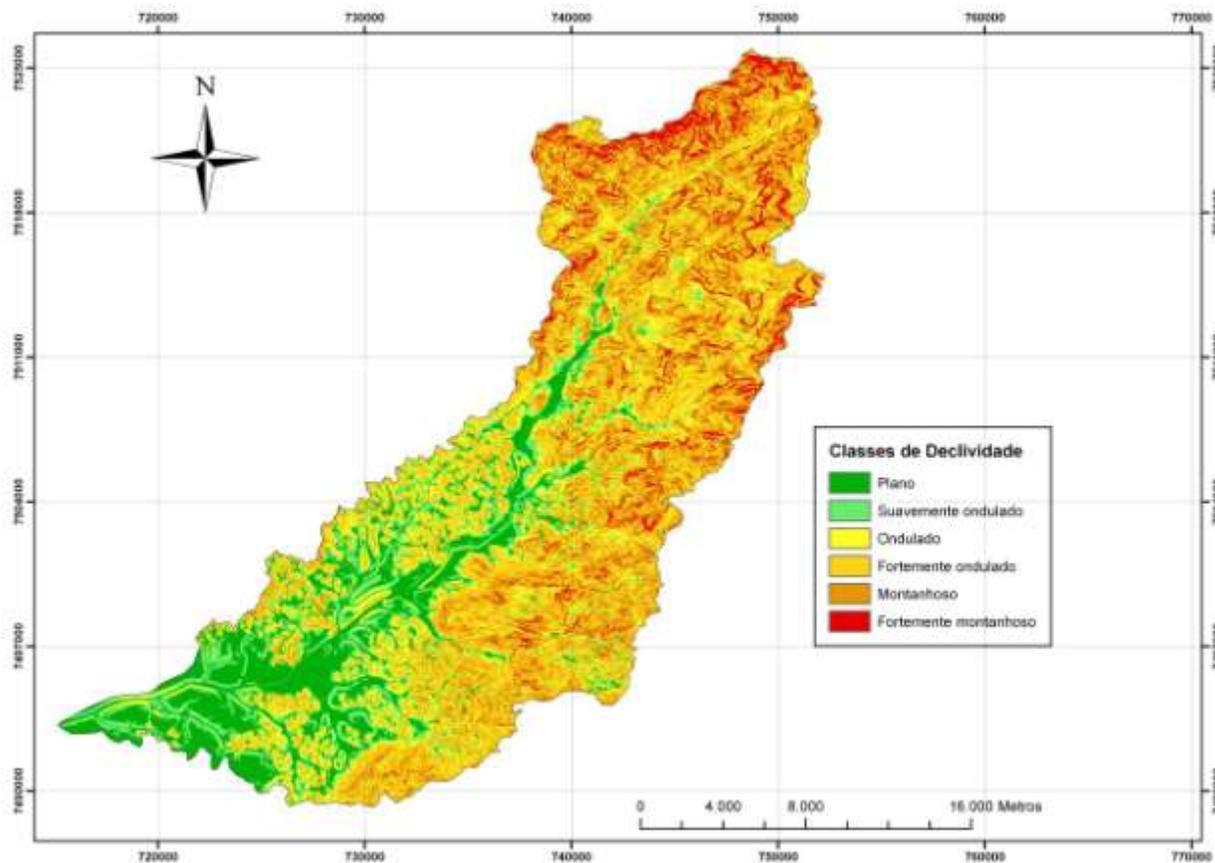


Figura 26: Distribuição das classes de declividade na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ (escala – 1:50.000).

Segundo classificação proposta por EMBRAPA (1979), aproximadamente 60,14% da bacia apresenta relevo variando de fortemente ondulado à fortemente montanhoso.

A declividade influencia o comportamento hidrológico da bacia, pois atua diretamente no escoamento superficial, na umidade do solo, na infiltração de água no solo, além de regular o tempo de concentração da precipitação no território da bacia hidrográfica (FARIA *et al.*, 2009).

A partir do MDE foi possível obter o mapa da face de orientação das encostas (Figura 27). Na região de estudo a orientação das microbacias constitui-se em um fator importante, em função da influência da bacia aérea de Cachoeiras de Macacu e conseqüentemente da dinâmica das massas de ar úmidas oriundas do oceano. Essas massas úmidas são conduzidas ao longo dos vales até as escarpas da serra do Mar, contribuindo de forma substancial para a oferta de umidade e atributos ambientais para a região (BARBOZA, 2004). Como a orientação predominante das massas de ar úmidas nessa região é a direção Sudoeste, as microbacias voltadas para essa direção tendem a apresentar maior resiliência.

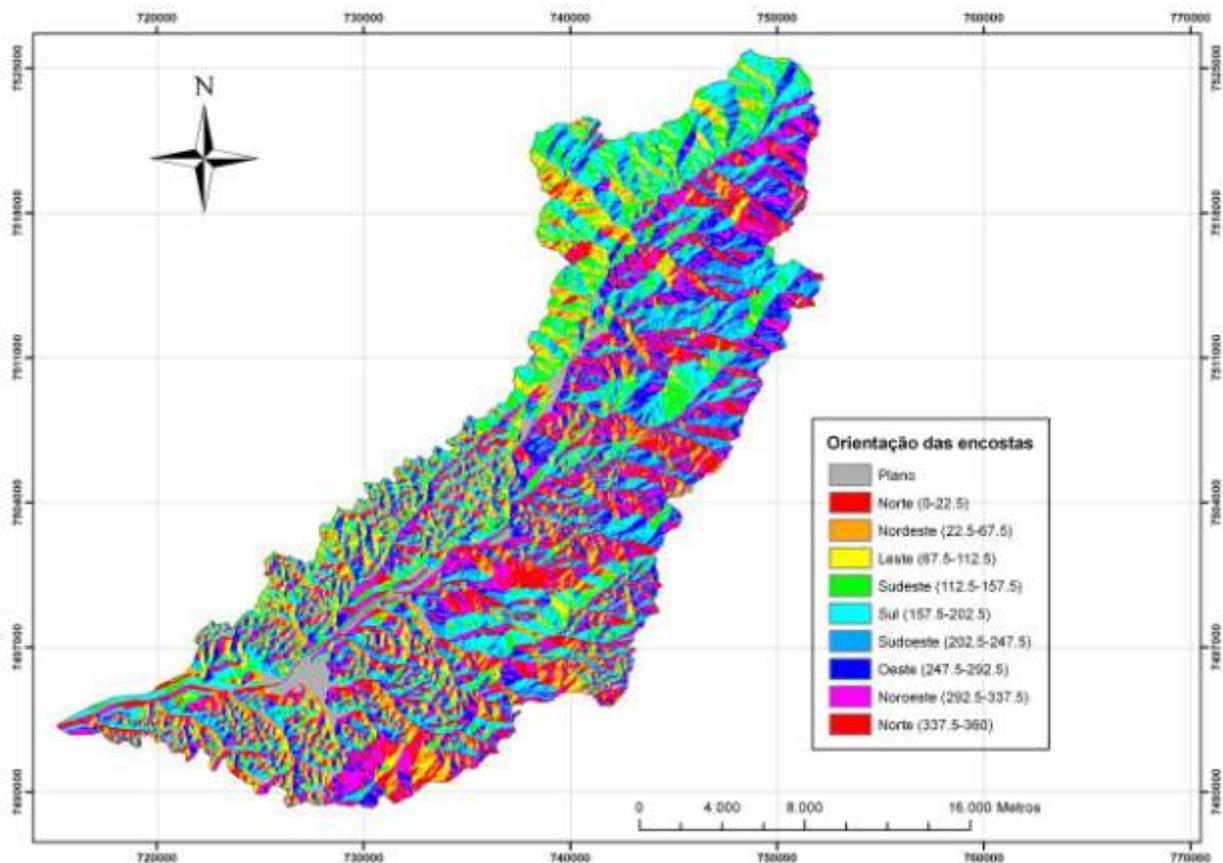


Figura 27: Mapa da face de exposição das encostas da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ (escala – 1:50.000).

4.2.3 Radiação solar global

O ciclo hidrológico constitui-se no fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, sendo impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (CARVALHO & SILVA, 2003).

De acordo, com LIMA (1986) o ciclo da água é mais que do que uma simples seqüência de processos, constitui-se um conjunto de fases, as quais representam os diferentes caminhos percorridos pela água na natureza.

A interrelação entre o ciclo hidrológico impulsionado pela radiação solar e as bacias hidrográficas, está no fato destas últimas condicionarem a dinâmica e o percurso da água na fase terrestre.

À nível global a variação da radiação solar é ocasionada pela inclinação do eixo da Terra e seu movimento de translação ao redor do Sol, no entanto em escala local, os fatores mais influentes são a topografia (relevo), orientação, declividade e a latitude, que influencia o ângulo da radiação na superfície terrestre (CORRÊA, 2008).

Baseando-se na latitude e no modelo digital da bacia hidrográfica do rio Macacu foi obtido o mapa da Radiação Solar Global Anual da bacia (Figura 28).

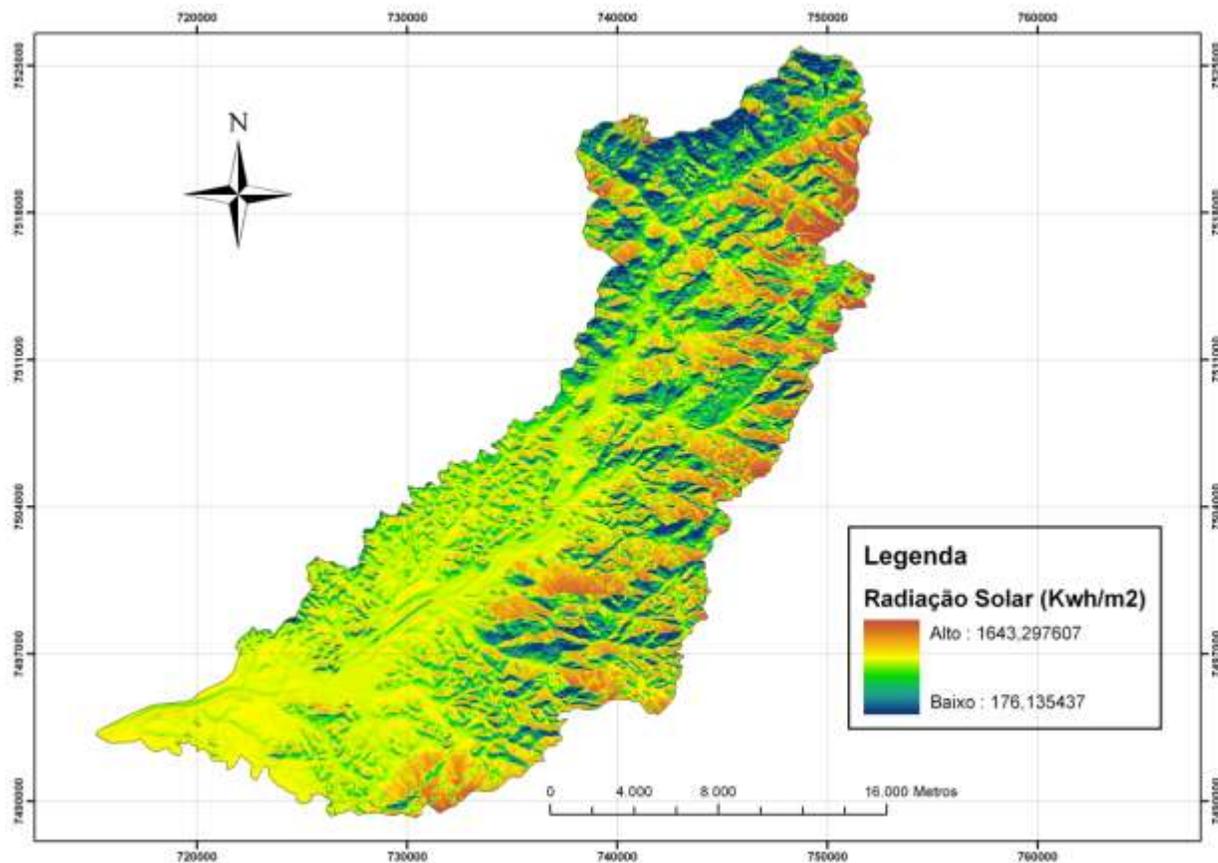


Figura 28: Mapa da Radiação Solar Global Anual da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

Verifica-se que a insolação é maior nas vertentes voltadas para a direção norte (Figura 29).

No hemisfério sul, as vertentes orientadas para norte recebem maior radiação solar, quando comparadas com as vertentes voltadas para o sul, em função do movimento aparente do sol ao redor da esfera terrestre (SILVA & OLIVEIRA, 2004).

O mesmo acontece entre as vertentes voltadas para a direção oeste e leste. Observa-se que as vertentes voltadas para leste tendem a apresentar maior conforto térmico, uma vez que recebem a insolação de forma direta pela manhã, período em que as temperaturas são mais amenas, enquanto as vertentes direcionadas para a direção oeste, recebem a radiação solar direta durante o período da tarde, momento em que a temperatura está mais elevada.

Esta diferenciação entre as taxas de radiação solar ao longo dos diferentes setores da bacia influenciam por sua vez a dinâmica das comunidades vegetais.

CORRÊA (2008) estudando a influência da radiação solar na regeneração natural de fragmentos da Mata Atlântica verificou, nas duas áreas estudadas no estado do Rio de Janeiro, que as vertentes do relevo voltadas para o sul, sudeste e sudoeste apresentaram as maiores áreas de fragmentos em processo de regeneração espontânea, assim como os menores valores de radiação solar global anual quando comparadas com as demais vertentes analisadas.

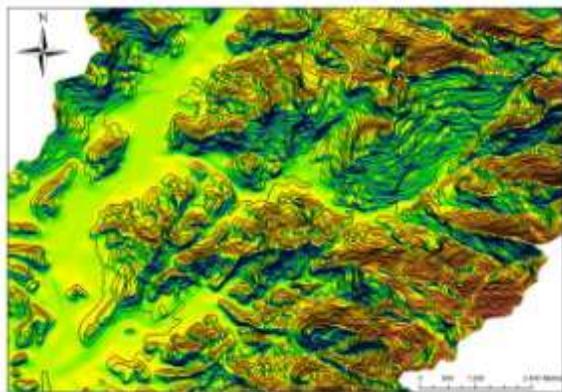


Figura 29: Detalhe da radiação solar em um trecho da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. Destaque para a predominância de radiação para as encostas voltadas para a direção Norte.

4.3 Uso do Solo

Por meio da interpretação visual das imagens de satélite gerou-se o mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Macacu na escala de 1:10.000 (Figura 30). As porcentagens dos diferentes usos do solo em relação à área total da bacia estão expostas na Tabela 17.

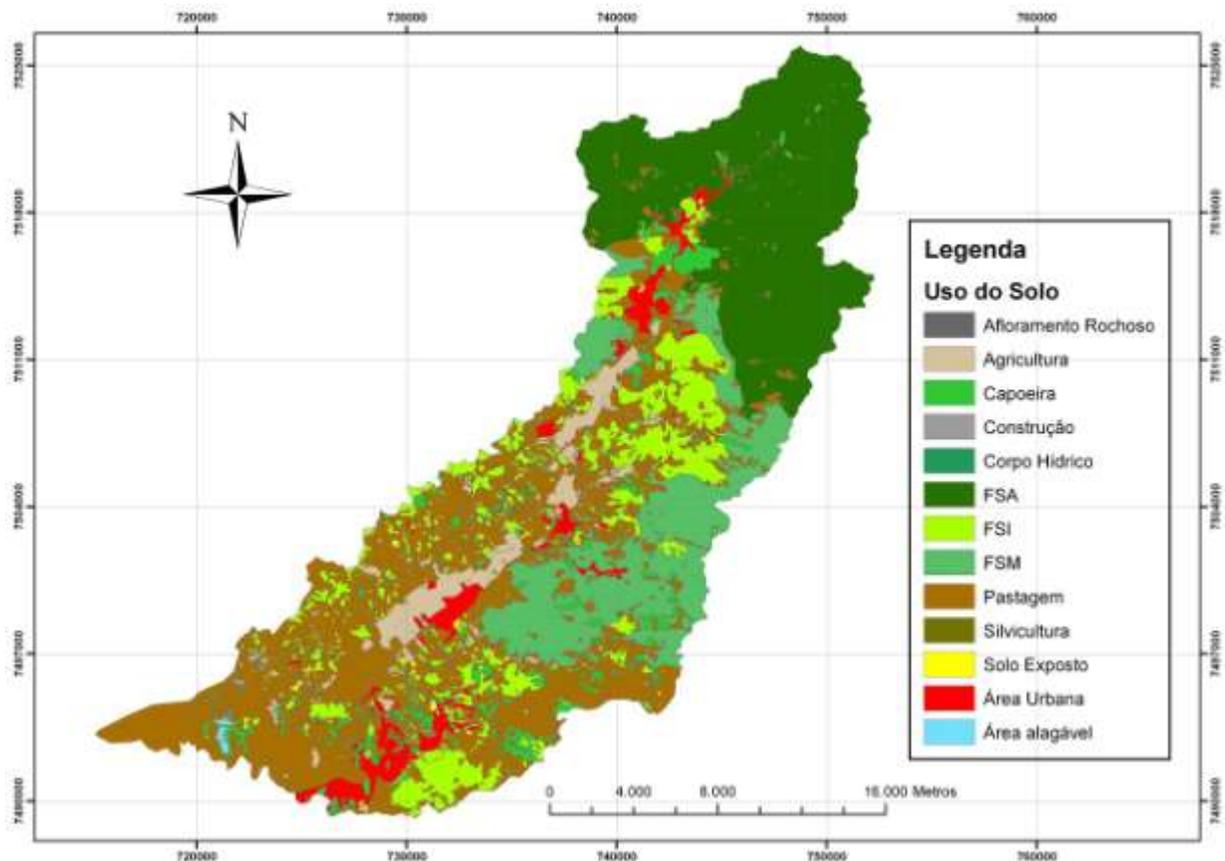


Figura 30: Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. Legenda: FSA = Floresta Secundária em estágio avançado de sucessão; FSI = Floresta Secundária em estágio inicial de sucessão; e FSM = Floresta Secundária em estágio Médio de Sucessão.

Analisando-se o mapa de uso do solo observa-se que aproximadamente 50,14% da bacia encontra-se coberta por vegetação florestal, em diferentes estágios sucessionais. Ressalta-se que a maior parte da floresta secundária em estágio avançado de sucessão - FSA encontra-se concentrada dentro dos limites do Parque Estadual dos Três Picos (Unidade de Conservação de Proteção Integral), situado na parte alta da bacia hidrográfica, próximo aos divisores topográficos e associadas a solos rasos e afloramentos rochosos, em locais de difícil acesso (Figura 31). A floresta secundária em estágio médio de sucessão – FSM ocorre predominantemente na porção Leste/Sudeste da bacia, ocupando, principalmente os topos de morros e montanhas e a floresta em estágio inicial de sucessão – FSI encontra-se pulverizada ao longo da bacia, com a presença dos menores fragmentos nas partes baixas da bacia e os maiores nas regiões mais altas, próximas às bordas dos fragmentos mais conservados (Figura 32).

As pastagens ocupam 35,23% da bacia, seguida por capoeira (5,03%) e agricultura (4,40%).

Somando-se todos os usos antrópicos verifica-se que aproximadamente 44,47% da bacia encontram-se cobertos por alguma atividade humana, com destaque para a agropecuária.

As áreas ocupadas por agricultura encontram-se essencialmente concentradas nas áreas de várzea, região comumente mais produtiva, com a presença de relevo plano. As áreas urbanas também encontram-se centralizadas ao longo do curso do rio principal da bacia, ocupando pouco mais que 4 % de sua área total, indicando a baixa densidade populacional residente na bacia.

As áreas de pastagem concentram-se predominantemente no trecho inferior da bacia, ocupando extensas áreas na planície de inundação e estendendo-se ao longo do rio Macacu até o município de Cachoeiras de Macacu.

Tabela 17: Uso do solo na bacia hidrográfica do rio Macacu-RJ. Legenda: FSA = Floresta Secundária em estágio avançado de sucessão; FSI = Floresta Secundária em estágio inicial de sucessão; e FSM = Floresta Secundária em estágio Médio de Sucessão.

| Uso do Solo | Área (ha) | % |
|------------------------|-----------|--------|
| Silvicultura | 1,48 | 0,003 |
| Afloramento Rochoso | 5,95 | 0,012 |
| Construção | 19,76 | 0,039 |
| Corpo Hídrico | 67,83 | 0,134 |
| Área alagável | 107,97 | 0,213 |
| Solo Exposto | 291,22 | 0,574 |
| Área Urbana | 2136,56 | 4,212 |
| Agricultura | 2232,43 | 4,401 |
| Capoeira | 2551,30 | 5,030 |
| FSI | 6299,85 | 12,420 |
| FSM | 6941,81 | 13,685 |
| FSA | 12195,27 | 24,042 |
| Pastagem | 17873,10 | 35,236 |
| Total geral | 50724,53 | 100 |

Conforme exposto no início do trabalho, a bacia hidrográfica do rio Macacu vivenciou diferentes ciclos econômicos desde o século XVII, onde ocorreu a substituição

gradativa das áreas de Mata Atlântica por agricultura e posteriormente por pastagens, hoje exauridas e com baixa produtividade.



Figura 31: Floresta densa, situada nas partes mais altas da bacia hidrográfica do rio Macacu e associada aos afloramentos rochosos.

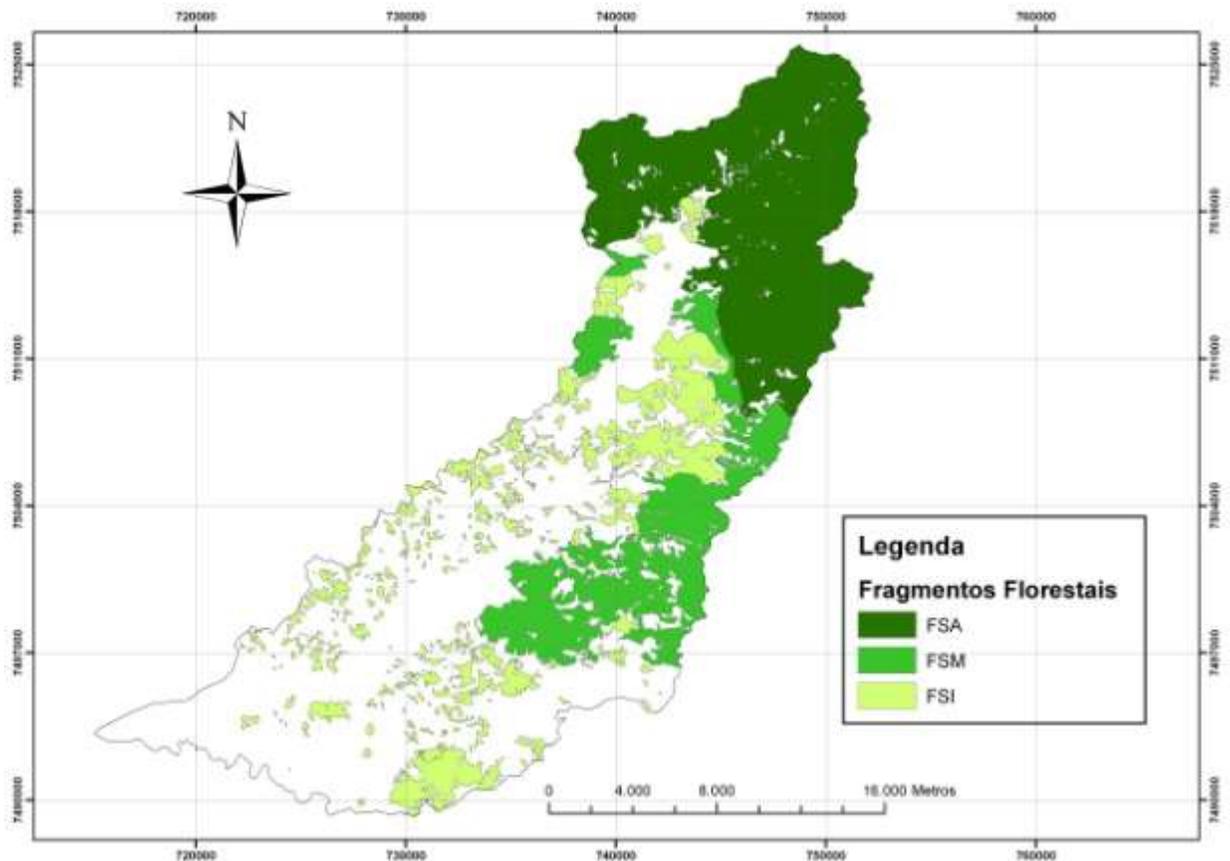


Figura 32: Distribuição geográfica dos fragmentos florestais na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. Legenda: FSA = Floresta Secundária em estágio avançado de sucessão; FSI = Floresta Secundária em estágio inicial de sucessão; e FSM = Floresta Secundária em estágio Médio de Sucessão.

Em determinados trechos da parte alta da serra é possível observar a presença de um tipo de vegetação típica de regiões de altitude, caracterizadas por caráter rupestre e campos de altitude (Figura 33). Essa tipologia por ocupar apenas uma pequena porção da bacia, foi enquadrada na classe da FSA.

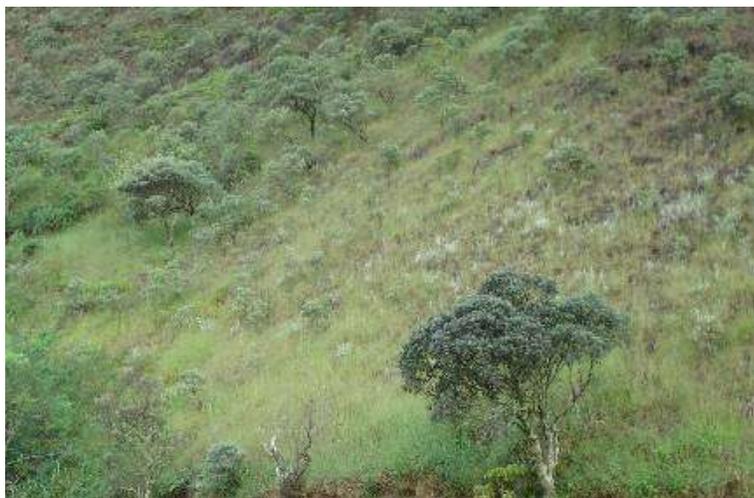


Figura 33: Domínio de campos de altitude em setores da parte alta da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

4.4 Levantamento Semi-Detalhado dos Solos

Para elaboração do levantamento semi-detalhado dos solos da bacia hidrográfica do rio Macacu foi realizada a abertura de 17 perfis de solo completos (trincheiras com até 2 metros de profundidade) e coleta três amostras extras, distribuídos ao longo da bacia (terço inferior, médio e superior), englobando as diferentes feições do relevo. Para cada perfil de solo foram separados os horizontes pedogenéticos e realizada sua descrição de acordo com SANTOS *et al.* (2005).

Após a realização das análises em laboratório e da confirmação das classes de solo foram identificados dentro da bacia 6 (seis) classes de solo (1º nível categórico): Gleissolo, Planossolo, Neossolo, Argissolo, Latossolo e Cambissolo (Figura 34).

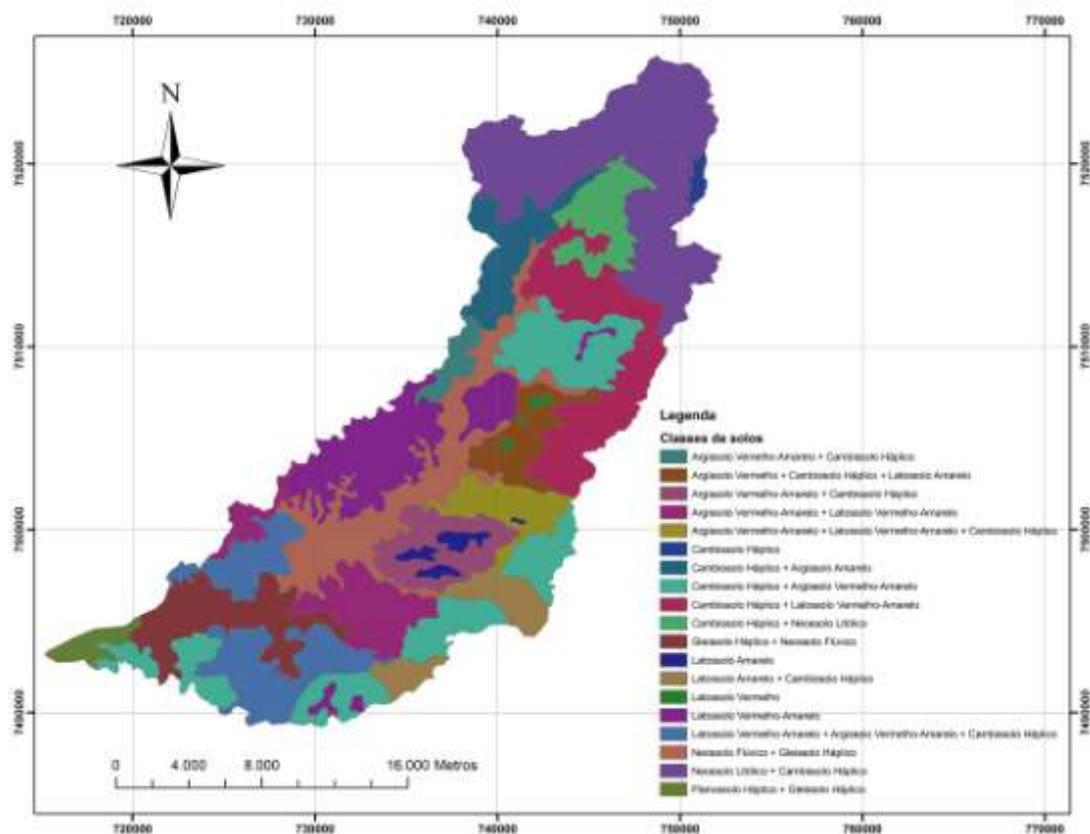


Figura 34: Classes de solos da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

O padrão de solos na bacia caracteriza-se pelo predomínio de GLEISSOLOS HÁPLICOS associados à PLANOSSOLOS HÁPLICOS na parte baixa da bacia, mais restritamente próximo ao seu exutório, seguido pelo domínio de NEOSSOLOS FLÚVICOS ao longo da área de inundação do rio Macacu. Na parte média da bacia predominam-se associações de ARGISSOLOS AMARELO, VERMELHO e VERMELHO-AMARELO e LATOSSOLOS AMARELO, VERMELHO e VERMELHO-AMARELO nas colinas e morrotes, com a presença de CAMBISSOLOS HÁPLICOS nas encostas mais declivosas. Na parte alta da bacia verifica-se o domínio de solos rasos, representados pelos NEOSSOLOS LITÓLICOS associados à CAMBISSOLOS HÁPLICOS.

4.4.1 Descrição das unidades de mapeamento

Foram descritas as características distintivas de cada classe de solo identificadas na área em estudo e que compõe as unidades de mapeamento com referências aos ambientes em que ocorrem de forma mais expressiva.

4.4.1.1 Gleissolo háptico

Esta classe compreende solos constituídos por material mineral, hidromórficos e que apresentam horizonte glei dentro de 150 cm da superfície do solo, imediatamente abaixo de

horizonte A ou E (com ou sem gleização) ou H (Hístico) com espessura insuficiente para definir Organossolos (EMBRAPA, 2006).

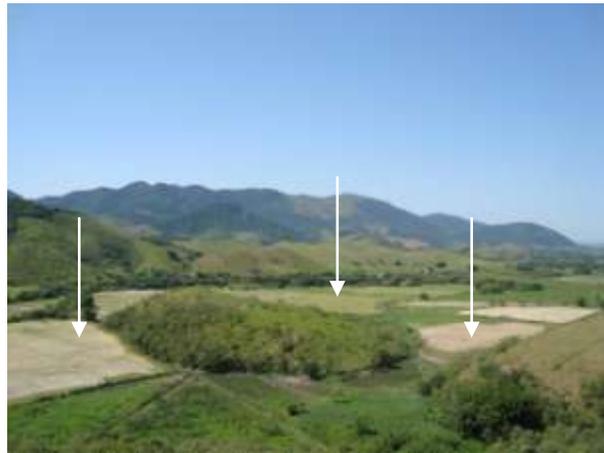
Sua característica principal consiste na saturação de água natural permanente ou periódica, que favorece o processo de gleização, culminando na manifestação de cores cinzentas, azuladas ou esverdeadas, devido à redução e solubilização do ferro.

Os solos desta classe, nas condições de saturação, possuem sequências de horizontes do tipo A-Cg, A-Big,-Cg, A-Btg-Cg, A-E-Btg-Cg, A-Eg-Bt-Cg, Ag-Cg ou H-Cg, onde o horizonte superficial tem cores de cinzentas a pretas, espessura entre 10 e 50 cm e teores médios a altos de carbono orgânico (EMBRAPA, 2006).

Na bacia hidrográfica do rio Macacu a ocorrência de GLEISSOLOS está restrita e localizada às partes baixas da paisagem (Figura 35), mais especificamente próximo ao seu exutório. O relevo é plano e constituído por sedimentos argilo-arenosos e argilosos do Quaternário, ricos em matéria orgânica, em ambiente redutor proporcionado pelo lençol freático alto. Essa classe de solo encontra-se sob vegetação predominante de campos hidrófilos com remanescentes de floresta perenifólia de várzea.



(a)



(b)

Figura 35: (a) Perfil de GLEISSOLO e (b) Posição de ocorrência dessa classe de solo na paisagem da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

4.4.1.2 Planossolo háplico

Os Planossolos são solos imperfeitamente ou mal drenados, apresentando diferenciação acentuada entre os horizontes A e E e o B, devido à mudança textural abrupta (EMBRAPA, 2006).

Na bacia hidrográfica do rio Macacu os Planossolos encontram-se associados aos Gleissolos, ocupando as partes mais baixas da bacia (Figura 36).

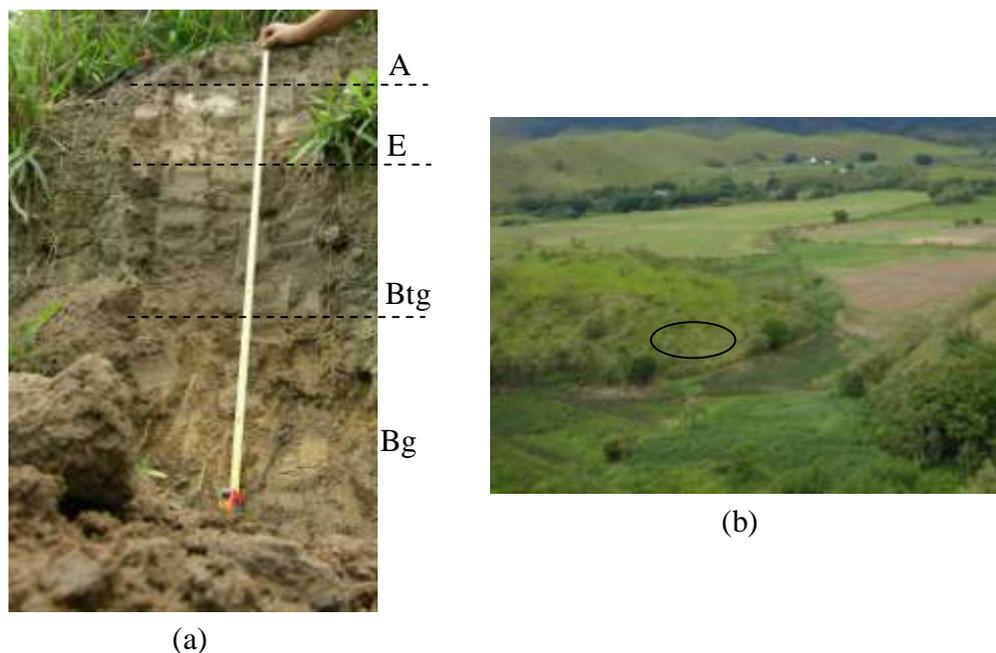


Figura 36: (a) Perfil do PLANOSSOLO e (b) Posição de ocorrência dessa classe de solo na paisagem da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

Tipicamente os horizontes subsuperficiais apresentam-se adensados, com elevados teores de argila dispersa, condição essa que responde pela restrição à percolação de água, independente da posição do lençol freático. Devido ao excesso de umidade, ainda que por períodos curtos, as cores no horizonte B são predominantemente pouco vivas, tendendo a acizentadas ou escurecidas (EMBRAPA, 2006).

Os solos desta classe ocorrem preferencialmente em áreas de relevo plano ou suave ondulado, onde as condições ambientais e do próprio solo favorecem a ocorrência periódica de excesso de água. Nas baixadas, várzeas e depressões, sob condições de clima úmido, estes solos são verdadeiramente solos hidromórficos (EMBRAPA, 2006).

4.4.1.3 Neossolo flúvico

Esta classe, anteriormente designada como Solos Aluviais (CAMARGO *et al.*, 1987), compreende solos constituídos por material mineral ou orgânico com menos de 20 cm de espessura. Podem ser desenvolvidos a partir de depósitos aluviais recentes e constituídos por seqüência de camadas A-R, A-C-R, A-Cr-R, A-Cr, A-C, O-R ou H-R, e portanto, sem relação pedogenética entre si e não apresentam qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2006).

As muitas condições nas quais são originados estes solos possibilitam também o aparecimento de características muito diversificadas, com grande variabilidade espacial tanto em sentido vertical como horizontal (Figura 37).

Em áreas de baixadas com relevo plano, verificam-se evidências de gleização em subsuperfície, caracterizando condições de hidromorfismo pelo afloramento do lençol freático.

Esta classe de solo encontra-se restritos às áreas de várzeas do rio Macacu, nas quais, por influência de sedimentos holocênicos provenientes do intemperismo de rochas calcárias, apresentam normalmente, saturação por bases elevada (solo eutrófico).

Em função da fertilidade natural elevada e da proximidade da fonte de água estes solos apresentam condições favoráveis à exploração agrícola, sendo ocupados na bacia por diferentes culturas (milho, côco, grama, goiaba, etc).

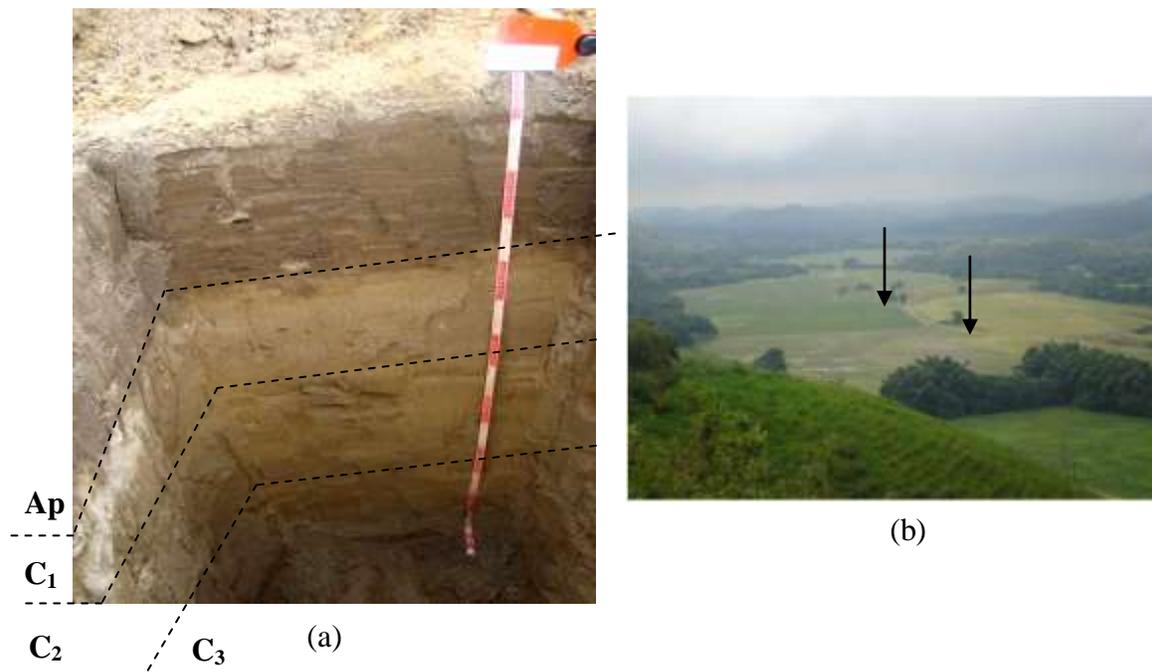


Figura 37: (a) NEOSSOLO FLÚVICO Eutrófico textura indiscriminada fase floresta tropical subperenifólia relevo plano e (b) Posição de ocorrência nas áreas de baixada.

4.4.1.4 Latossolo vermelho, amarelo e vermelho-amarelo

Na bacia hidrográfica do rio Macacu foram identificadas três classes de LATOSSOLO (2º nível categórico): VERMELHO, AMARELO E VERMELHO- AMARELO (Figura 38).

Os Latossolos são solos em avançado estágio de intemperização, como resultado das transformações do material constitutivo. Normalmente são solos bem drenados, embora ocorram solos com drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenados (EMBRAPA, 2006).

São normalmente solos profundos, ácidos, com baixa saturação de bases e cerosidade pouca ou fraca, ocorrendo predominantemente em relevo plano e suave ondulado, embora possam ocorrer em área acidentadas e até mesmo em relevo montanhoso.

Na área de estudo, os LATOSSOLOS VERMELHOS são encontrados associados aos ARGISSOLOS VERMELHOS nos terços superiores das encostas, em relevo forte ondulado, apresentando horizonte A moderado (Figura 39).

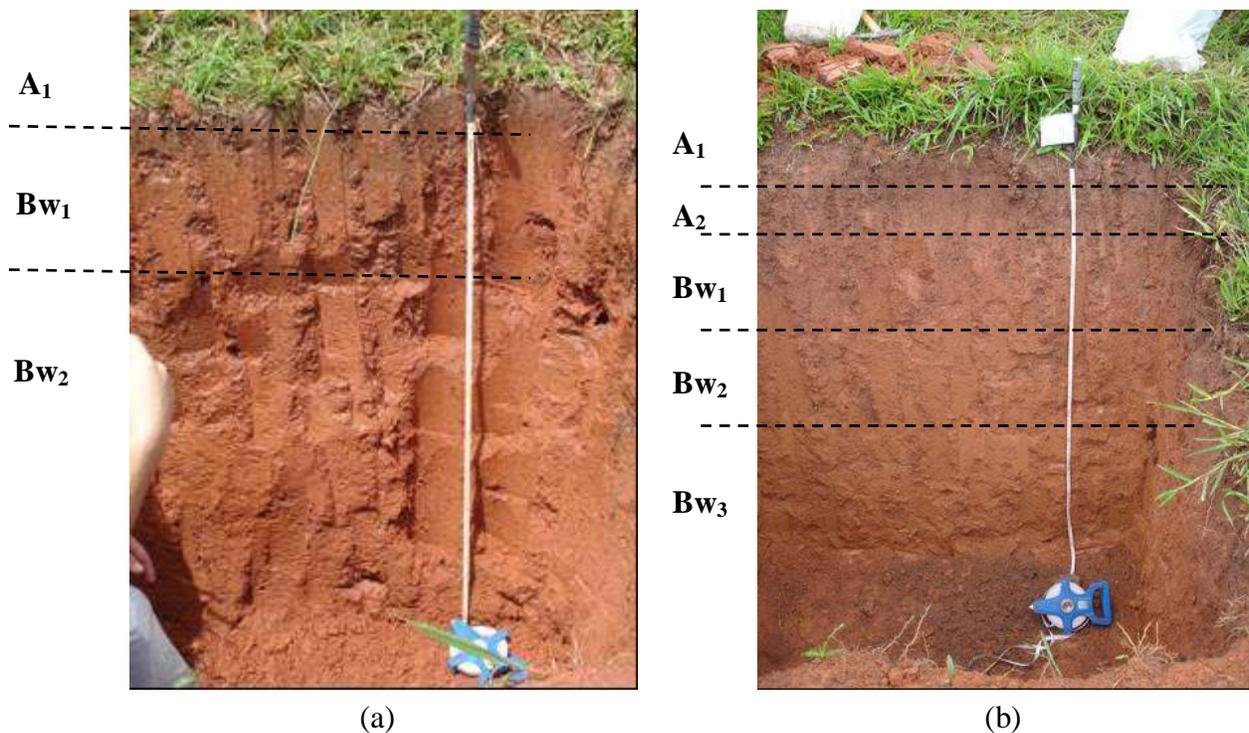


Figura 38: Exemplos de perfis de LATOSSOLO VERMELHO abertos na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. (a) LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado textura franco argilosa fase floresta tropical subperenifólia relevo forte ondulado (Perfil 4) e (b) LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado textura argilosa fase floresta tropical subperenifólia relevo forte ondulado (Perfil 2).



Figura 39: Posição de ocorrência de LATOSSOLO VERMELHO^(a) na paisagem da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. (a) Vista do terço superior onde foi aberta trincheira para descrição e coletas de amostras de terra (Perfil 4) e (b) Abertura de trincheira em terço médio de encosta para descrição e coletas de amostras de terra (Perfil 2).

Os LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS encontram-se predominantemente nos topos de morro, com relevo plano a forte ondulado (Figuras 40 e 41).

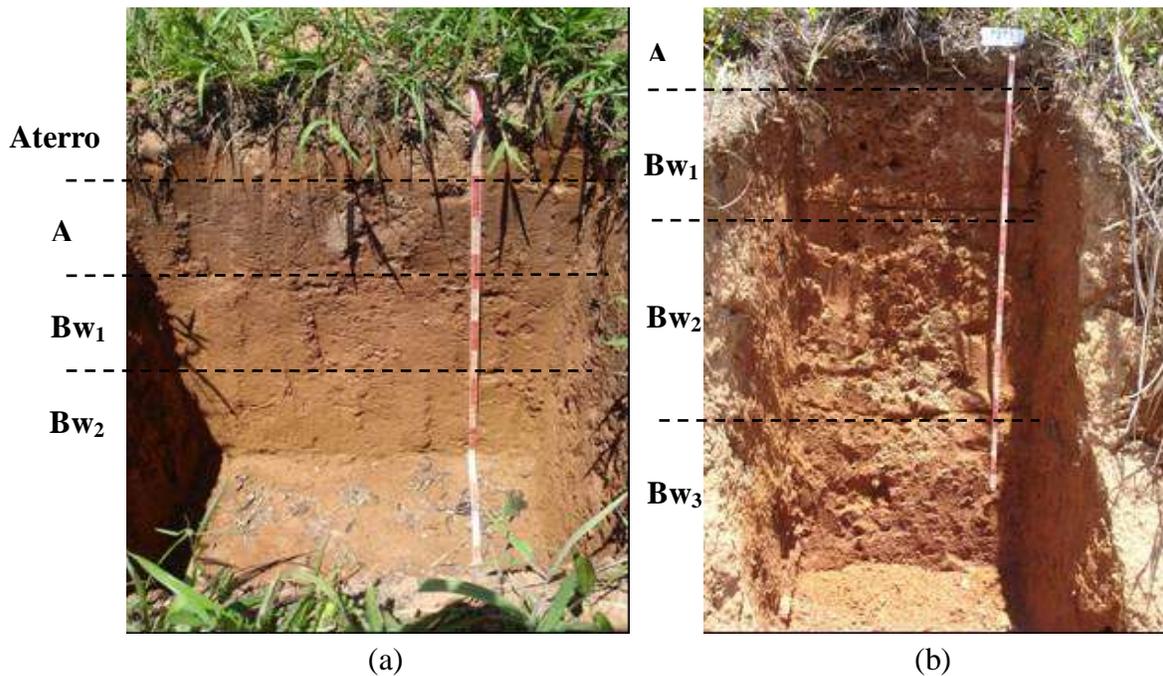


Figura 40: Exemplos de perfis de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO abertos na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. (a) LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura franco argiloarenosa fase floresta tropical subperenifólia relevo plano (Perfil 7) e (b) LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa fase floresta tropical subperenifólia relevo forte ondulado (Perfil 8).



Figura 41: Posição de ocorrência de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO na paisagem da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. (a) Vista do topo de morro onde foi aberta trincheira para descrição e coletas de amostras de terra (Perfil 7) e (b) Vista do terço médio de encosta onde foi realizada a descrição e coleta de amostras de terra em barranco (Perfil 10).

Os LATOSSOLOS AMARELOS são encontrados no terço inferior com declividade aproximada de 15%, sofrendo influência do lençol freático. A textura varia de franco-argilo-arenosa a argilosa e em área de relevo ondulado (Figura 42).

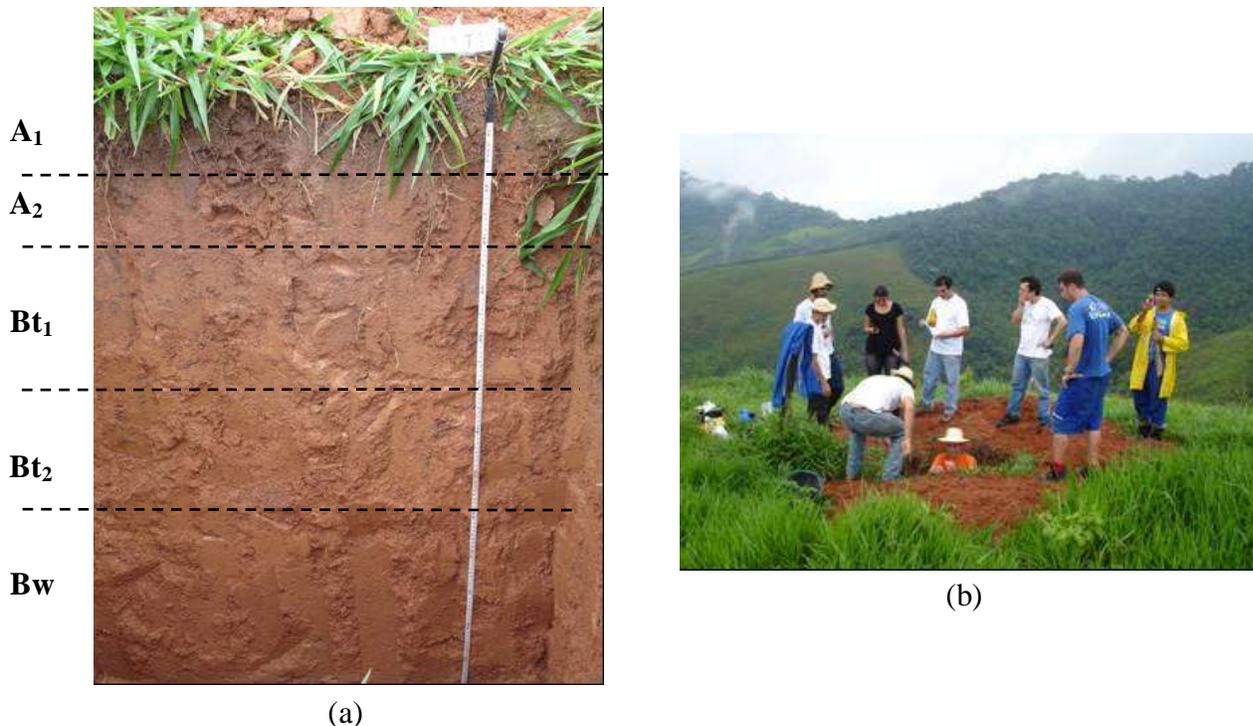


Figura 42: (a) LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa fase floresta tropical subperenifólia relevo forte ondulado (Perfil 6) e (b) Posição de ocorrência de LATOSSOLO AMARELO na paisagem da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

4.4.1.5 Argissolo vermelho, amarelo e vermelho-amarelo

Os Argissolos compreendem os solos que têm como característica diferencial a presença de horizonte B textural, evidenciado pelo incremento do teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B. São de profundidade variável, desde forte à imperfeitamente drenados (EMBRAPA, 2006).

Na bacia hidrográfica do rio Macacu, os ARGISSOLOS VERMELHOS encontram-se, normalmente, associados às áreas de ocorrência dos LATOSSOLOS VERMELHOS sendo ambos encontrados em terço superior de encosta, sob relevo suave ondulado a forte ondulado. A textura é média com gradiente textural relativamente baixo e pouca expressão de cerosidade (Figura 43).

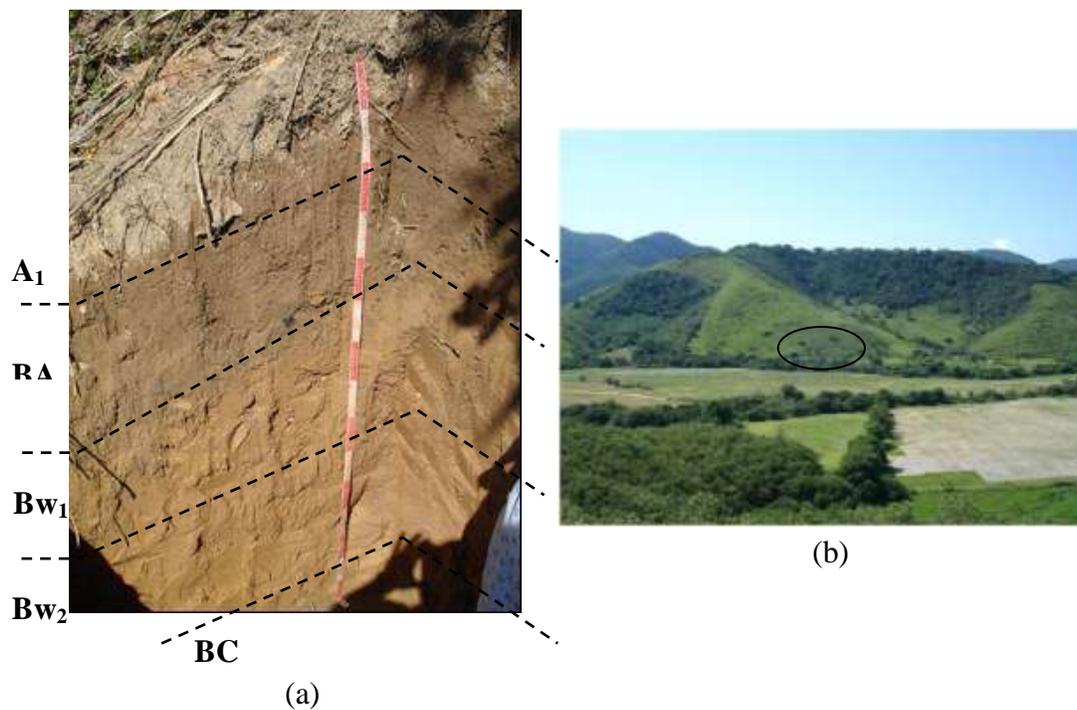


Figura 43: (a) ARGISSOLO VERMELHO Distrófico latossólico A moderado textura argilosa fase floresta tropical subperenifólia relevo suave ondulado (Perfil 1) e (b) Posição de ocorrência em terço superior de morro (Perfil 1).

Os ARGISSOLOS AMARELOS encontram-se associados às mesmas áreas de ocorrência dos LATOSSOLOS AMARELOS, ou seja, em terço inferior, sob relevo forte ondulado, apresentando horizonte A moderado de textura variável de franco-argilo-arenosa a muito argilosa e perfil profundo (Figura 44).

Os ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS encontram-se associados aos CAMBISSOLOS HÁPLICOS e aos LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS, em terço médio de encosta, sob relevo forte ondulado (Figura 45).

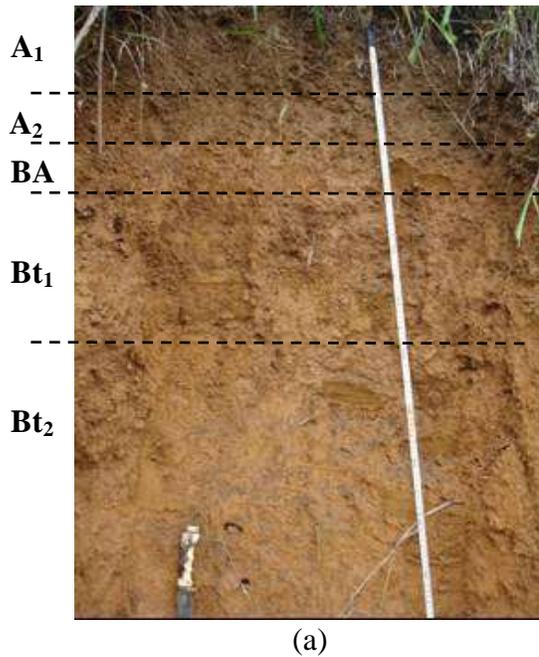


Figura 44: (a) ARGISSOLO AMARELO Distrófico abruptico A moderado textura muito argilosa fase floresta tropical subperenifólia relevo forte ondulado (Perfil 3) e (b) Posição de ocorrência em terço inferior de encosta (Perfil 3).

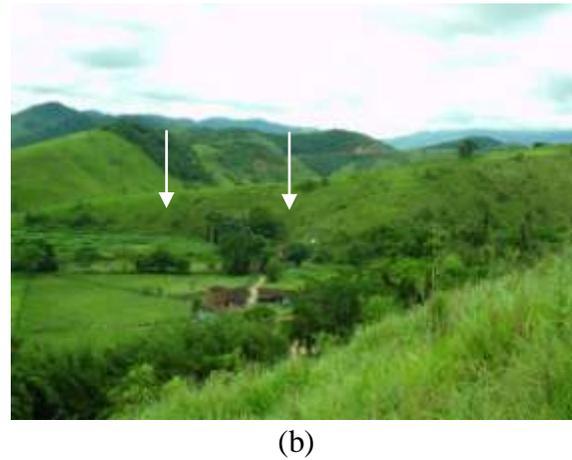
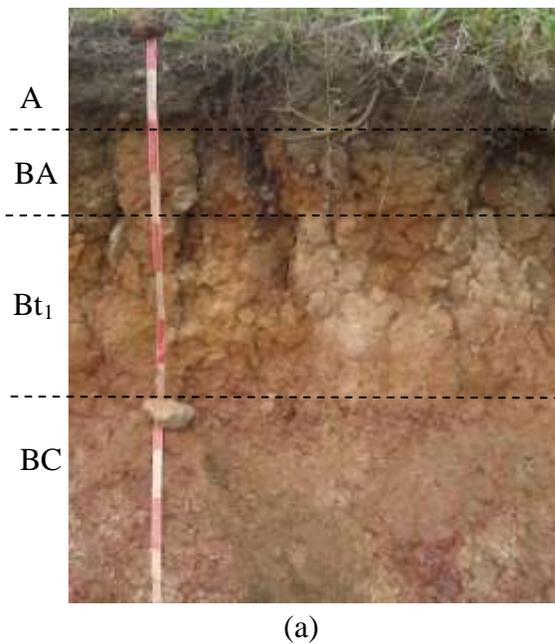


Figura 45: (a) Perfil do ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO e (b) Posição de ocorrência dessa classe de solo na paisagem da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

4.4.1.6 Cambissolo háplico

Os Cambissolos compreendem solos com horizonte B incipiente. Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características desses solos são muito variáveis, podendo apresentar-se de fortemente à imperfeitamente drenados e de rasos à profundos (EMBRAPA, 2006).

Na área de estudo esses solos encontram-se nos terços médios e superiores das encostas, sob relevo forte ondulado, apresentando-se associados aos Latossolos, Argissolos e Neossolos Litólicos, sobretudo nas partes mais altas e declivosas da bacia (Figuras 46 e 47).

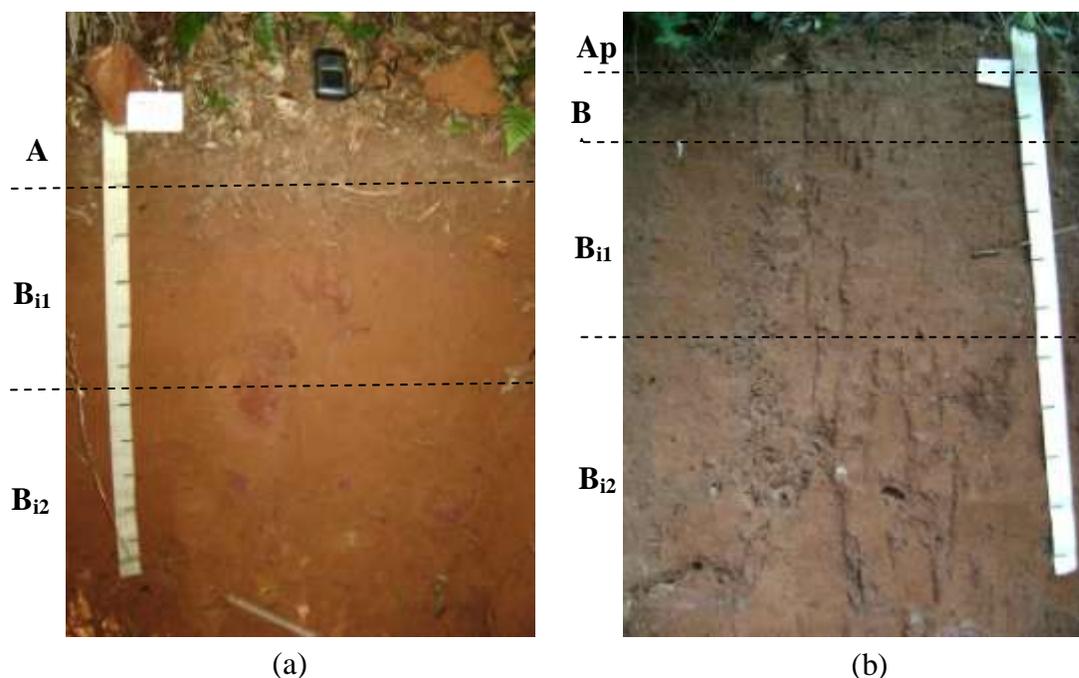


Figura 46: (a) CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico A moderado textura franco-argilosa fase floresta tropical perenifólia relevo forte ondulado (Perfil JM4) e (b) CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico A moderado textura franco-argilosa fase floresta tropical perenifólia relevo forte ondulado (Perfil JM6).



Figura 47: Posição de ocorrência de CAMBISSOLOS HÁPLICOS na paisagem da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ, terço médio/superior de encosta, sob relevo fortemente ondulado.

4.4.1.7 Neossolo litólico

Os NEOSSOLOS LITÓLICOS caracterizam-se por apresentar horizonte superficial assentado sobre rocha parcialmente alterada ou inalterada, com a seguinte seqüência de horizontes: A – R ou A – C – R (EMBRAPA, 2006).

Esta classe de solo encontra-se restrita às partes mais altas da bacia hidrográfica, sob relevo fortemente ondulado à montanhoso, associados à afloramentos rochosos (Figura 48).

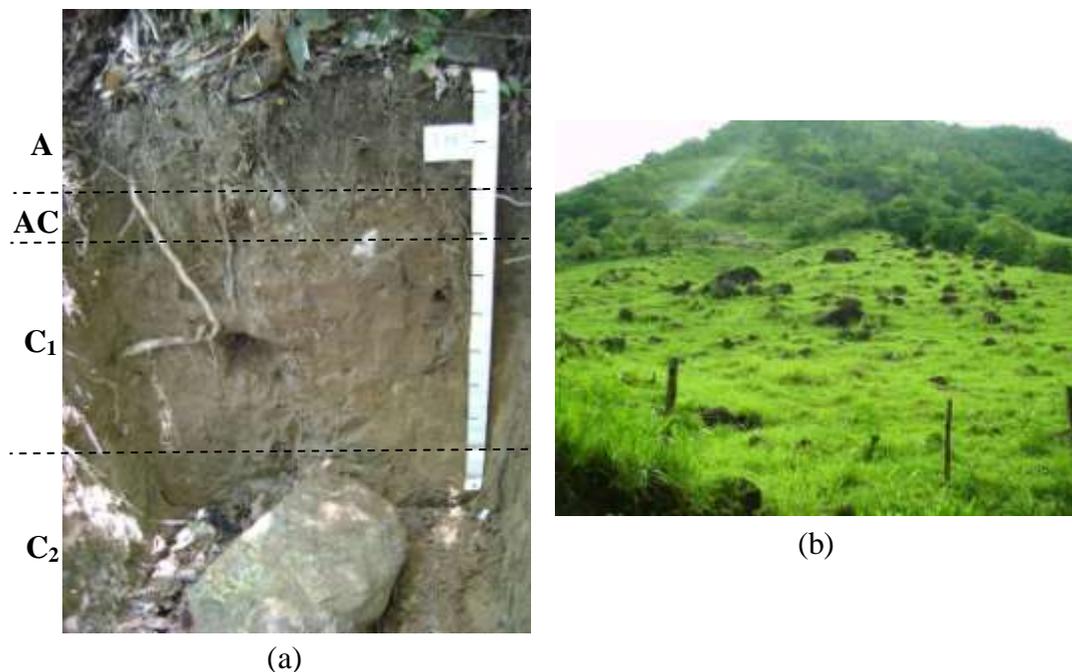


Figura 48: (a) NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário A moderado textura franco-arenosa fase floresta tropical perenifólia relevo forte ondulado à montanhoso (Perfil JM5) e (b) Posição de ocorrência de NEOSSOLO LITÓLICO na paisagem da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

Cada classe de solo apresenta características específicas que influenciam diretamente na capacidade de infiltração da água no solo e, conseqüentemente, na dinâmica erosiva (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990), trazendo conseqüências na quantidade e qualidade da água produzida na bacia hidrográfica.

No presente estudo, as diferentes classes de solos foram incorporadas na obtenção do mapa de vulnerabilidade à erosão.

4.5 Fatores Morfométricos

A análise morfométrica em bacias hidrográficas permite elucidar e compreender grande parte das diversas questões relacionadas à dinâmica ambiental local (CHRISTOFOLETTI, 1969 *apud* SILVA *et al.*, 2003).

De acordo com COSTA *et al.* (2007) a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica subsidia ainda a obtenção de indicadores para previsão do grau de vulnerabilidade da bacia à fenômenos como enchentes, inundações e erodibilidade.

Para PINHEIRO (2003) os parâmetros quantitativos em bacias hidrográficas constituem um meio de análise das condições hidrológicas que, associadas a outros elementos de sua estrutura, permitem a compreensão das dinâmicas naturais e evolução de fenômenos decorrentes das intervenções antrópicas.

Neste sentido, efetuou-se a caracterização morfométrica das 180 microbacias analisadas a partir da estimativa dos parâmetros: coeficiente de compacidade; declividade média (%), altitude média (m), orientação, hierarquia fluvial (ordem), radiação solar anual (Kwh/m²) e densidade de drenagem (Km/Km²).

Das microbacias delimitadas 112 (62,22%) são de primeira ordem; 61 (33,89%) de segunda ordem e apenas 7 (3,89%) das microbacias são de terceira ordem (Figura 49).

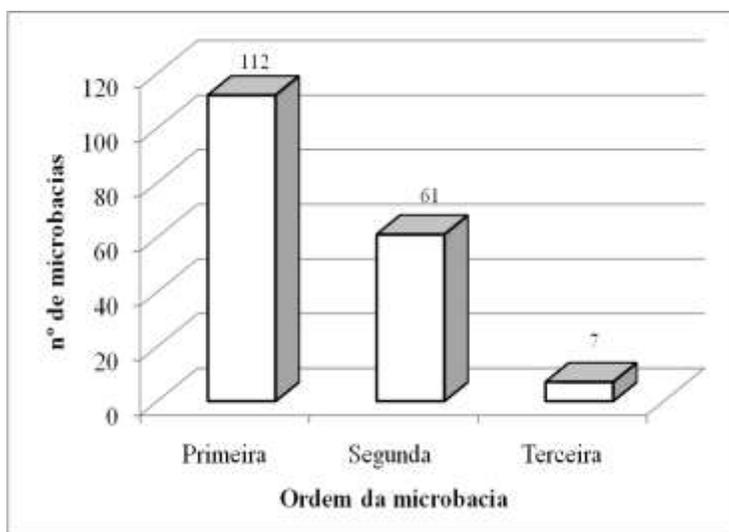


Figura 49: Distribuição das microbacias em relação ao ordenamento dos canais de drenagem.

Verificou-se que as microbacias de terceira ordem concentram-se predominantemente nas partes baixas da bacia hidrográfica, próximas ao seu exutório (Figura 50). Nestes setores a conformação plana do relevo condicionou a delimitação de microbacias maiores culminando, dessa forma, na obtenção de microbacias com maior hierarquia fluvial.

De acordo com MATTOS JUNIOR (2008) a ordem dos contribuintes está intimamente ligada às classes de áreas, portanto, bacias de primeira ordem tendem a apresentar áreas inferiores às bacias de nível superior.

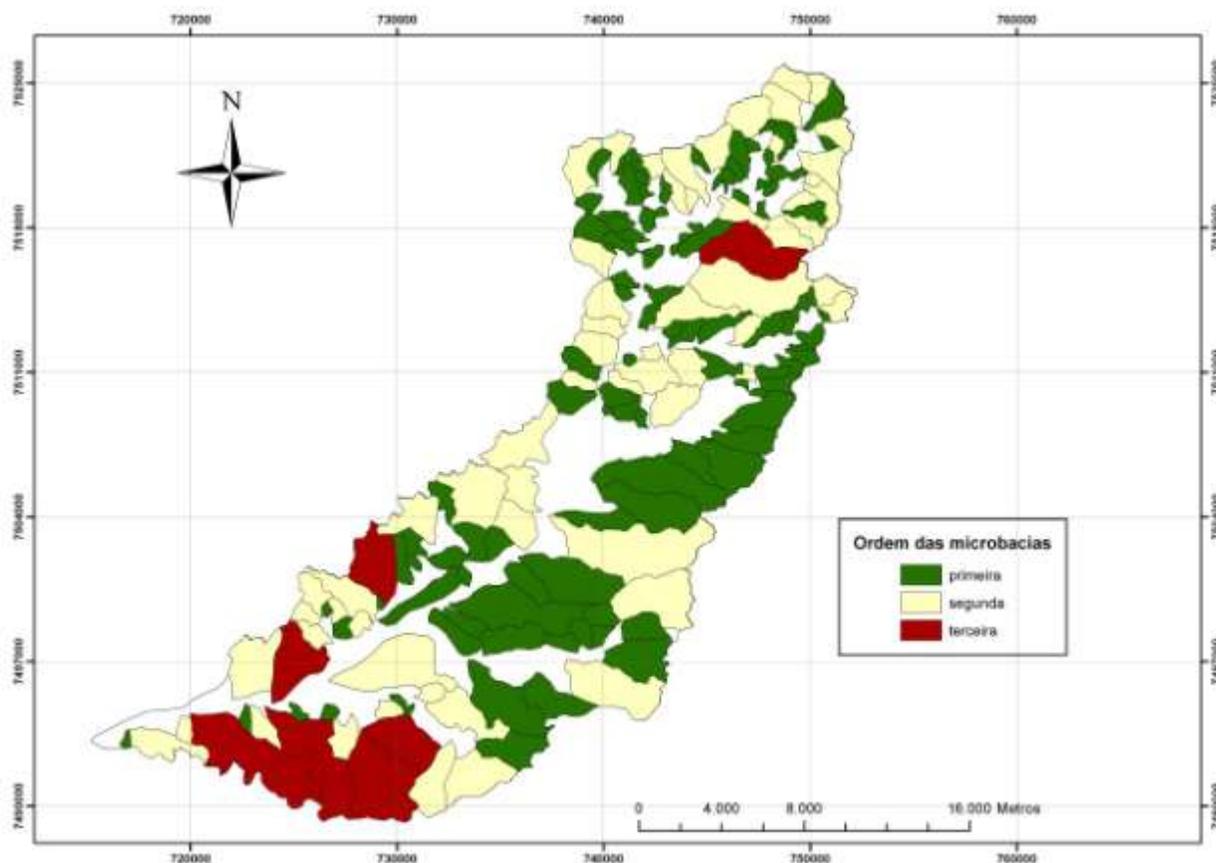


Figura 50: Classificação das microbacias hidrográficas segundo a hierarquia fluvial.

O cálculo dos coeficientes de compacidade indicou que a maior parte das microbacias tende a apresentar formato arredondado, culminando em um menor tempo de concentração e maior tendência de haver picos de enchente (CARVALHO & SILVA, 2003) (Figuras 51).

Em bacias com formato circulares, há maiores possibilidades de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando, desta forma, grande volume de água no tributário principal (CARDOSO *et al.*, 2006).

Verificou-se que aproximadamente 65% das microbacias (117 microbacias) apresentam coeficiente de compacidade variando de 1,13 à 1,39, sendo o maior número de microbacias encontrado no intervalo de 1,26 - 1,39 (Figuras 52).

MIARA (2006), estudando a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Cará-Cará (PR), obteve o valor de coeficiente de compacidade da bacia de igual à 1,34, concluindo que a mesma tende a apresentar formato arredondado, com tendência de concentrar enchentes.

Já CARDOSO *et al.* (2006) e ANDRADE *et al.* (2008), estudando as características morfométricas de bacias hidrográficas encontraram valores de coeficiente de compacidade iguais a 1,58 e 1,43 e consideram que as bacias tendem a apresentar formas alongadas.

TORRES & ALMEIDA (2008), estudando os parâmetros físicos e as características ambientais da bacia hidrográfica do rio Passa Vaca (BA) obteve um valor de coeficiente de compacidade para a bacia de 1,85, concluindo que a mesma apresenta características alongadas e estreitas, com menor tendência de haver picos de enchente.

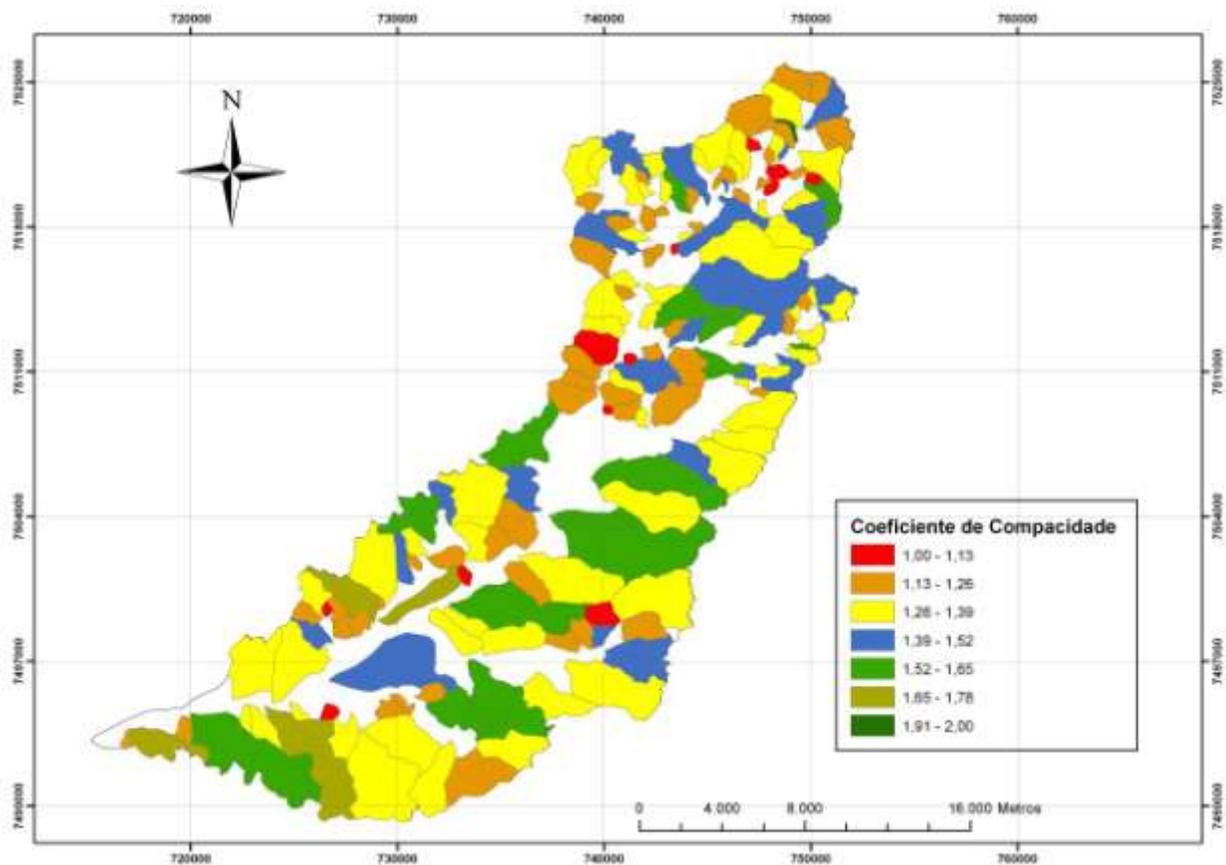


Figura 51: Classificação das microbacias hidrográficas segundo o coeficiente de compacidade.

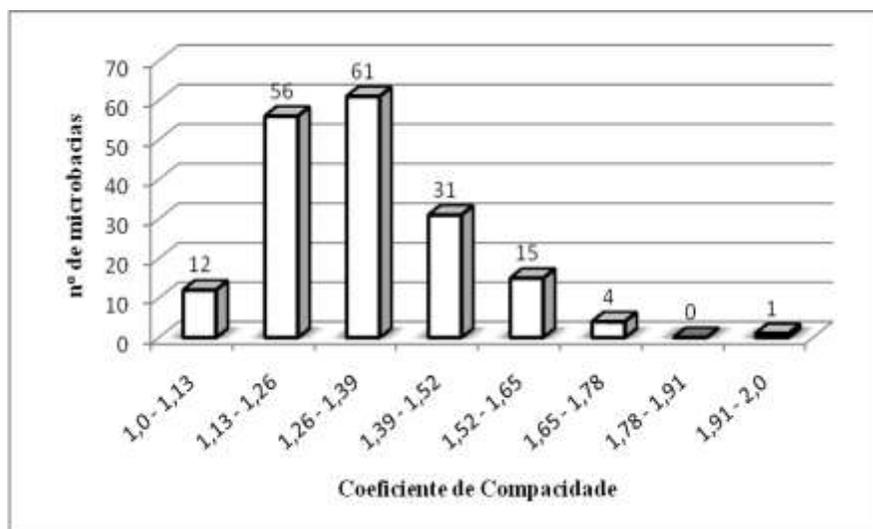


Figura 52: Distribuição das microbacias em relação ao Coeficiente de Compacidade.

Em relação à declividade média verifica-se que a maior parte das microbacias (77,22%) estão enquadradas na conformação de relevo fortemente ondulado à montanhoso, segundo EMBRAPA (1979) (Tabela 18).

Tabela 18: Número de microbacias por classes de declividade, de acordo com EMBRAPA (1979).

| Declividade (%) | Discriminação | Nº de microbacias | % |
|-----------------|------------------------------|-------------------|-------|
| 0-3 | Relevo plano | 3 | 1,67 |
| 3-8 | Relevo suavemente ondulado | 6 | 3,33 |
| 8-20 | Relevo ondulado | 30 | 16,67 |
| 20-45 | Relevo fortemente ondulado | 72 | 40,00 |
| 45-75 | Relevo montanhoso | 67 | 37,22 |
| >75 | Relevo fortemente montanhoso | 2 | 1,11 |

A declividade influencia a relação entre a precipitação e o deflúvio da bacia hidrográfica, sobretudo devido ao aumento da velocidade de escoamento superficial, com conseqüente redução da possibilidade da infiltração de água no solo (CARDOSO *et al.*, 2006).

Assim, analisando separadamente o fator declividade média, infere-se que grande parte das microbacias analisadas tende a apresentar predominância dos fenômenos de escoamento superficial, em detrimento ao fenômeno de infiltração, influenciando na produção e transporte de sedimentos.

Das 180 microbacias analisadas 113 apresentam declividade variando de 31 a 61% (Figura 53).

De acordo com VALENTE & GOMES (2005) áreas com declividade elevada, acima de 50%, aceleram as enxurradas e dificultam a infiltração de água no solo.

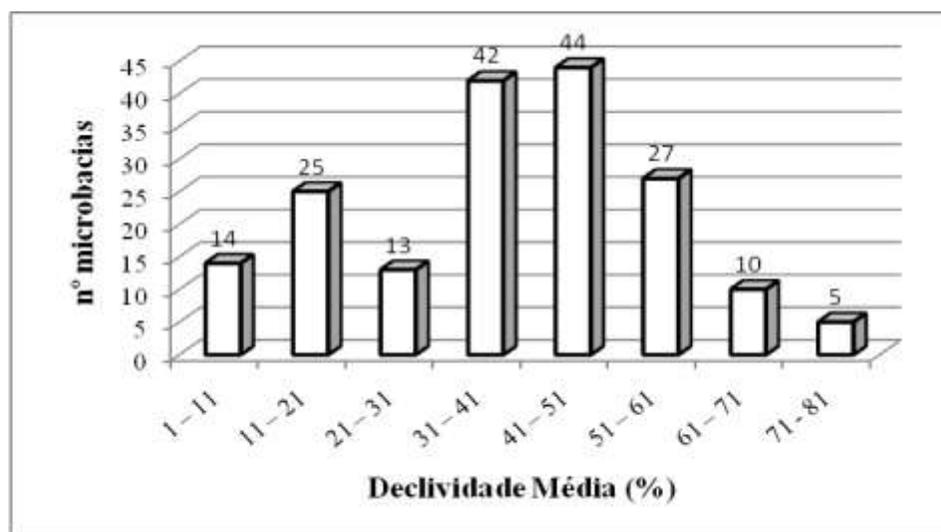


Figura 53: Distribuição das microbacias em relação à declividade média.

Em conformidade do Modelo Digital de Elevação da bacia hidrográfica do rio Macacu, verifica-se que as microbacias com declividades médias mais elevadas situam-se nas regiões mais altas da bacia, em sua zona de captação, próximo aos divisores topográficos (Figura 54).

Da mesma forma, as microbacias com menor declividade média encontram-se localizadas próximas ao exutório da bacia hidrográfica, na zona de afloramento.

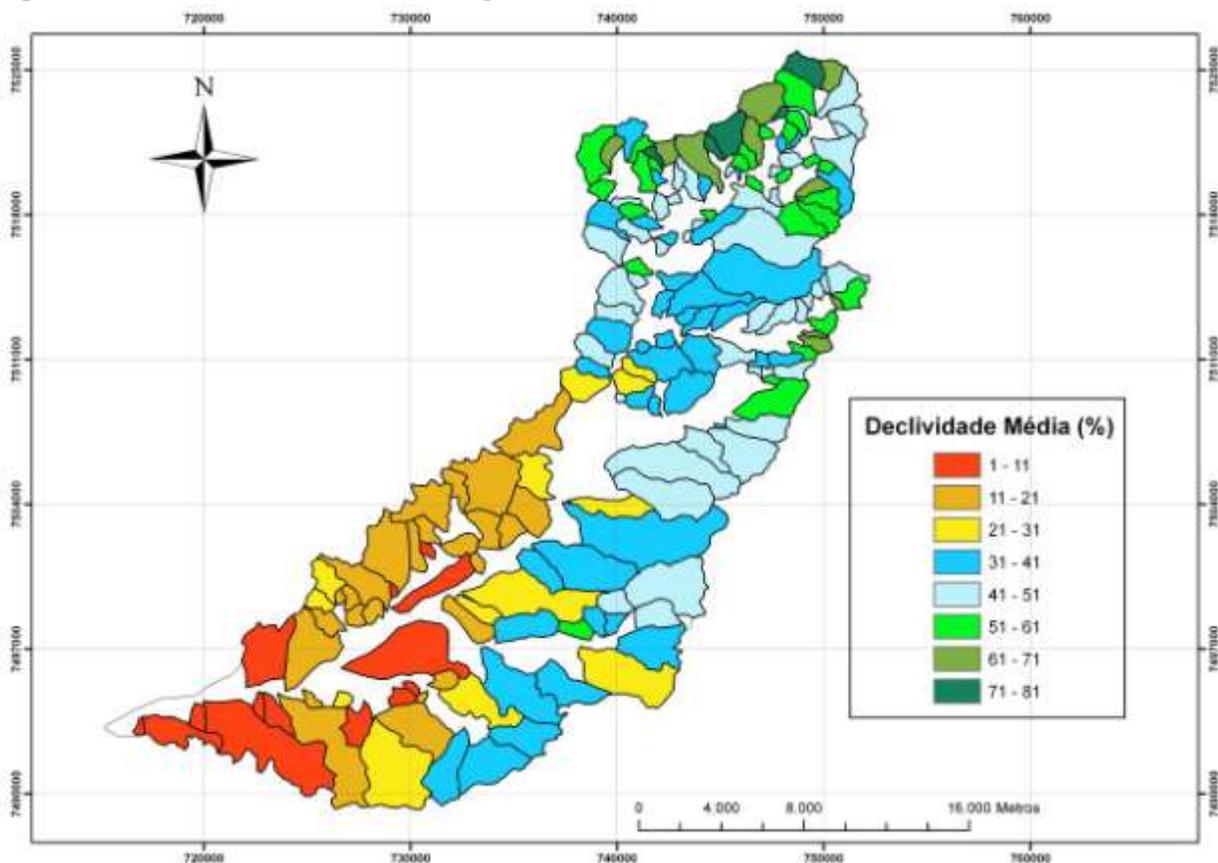


Figura 54: Classificação das microbacias hidrográficas segundo a declividade média (%).

A Figura 55 ilustra a distribuição das microbacias por intervalos de altitude média (m).

Verifica-se que 56,11% (101 microbacias) das microbacias apresentam altitude média variando de 13 a 418 m.

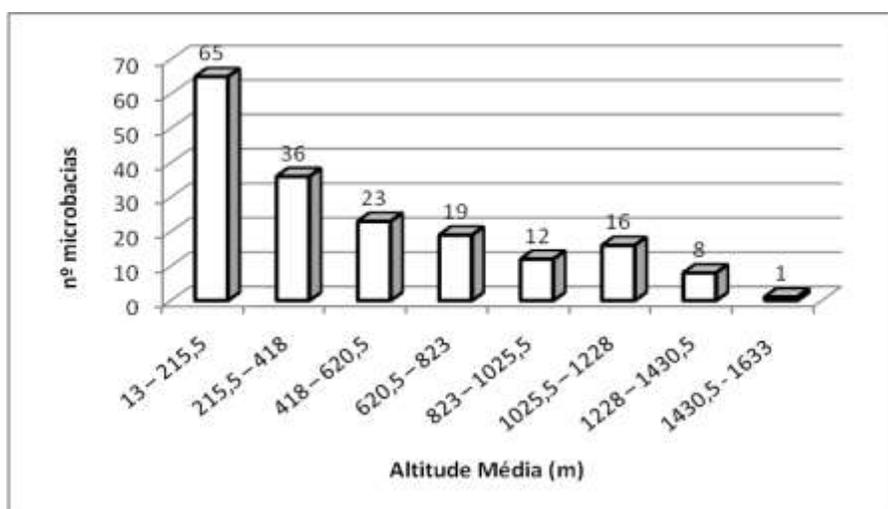


Figura 55: Distribuição das microbacias em relação à Altitude Média (m).

De acordo com TONELLO *et al.* (2006) *apud* CASTRO & LOPES (2001), a altitude média influencia a quantidade de radiação recebida pela bacia hidrográfica, ocasionando alterações na evapotranspiração, temperatura e precipitação.

Observa-se que a microbacia hidrográfica nº 106 apresenta a menor altitude média (13,77 m) e a microbacia nº 1 possui o maior valor (1633 m) (Figura 56). Esta ampla variação de altitude ao longo da bacia hidrográfica ocasiona diferenças significativas na temperatura e, conseqüentemente, na evapotranspiração.

Segundo CARDOSO *et al.* (2006) nas altitudes elevadas a precipitação normalmente excede a evapotranspiração, ocasionando um ganho de água e o favorecimento da recarga dos aquíferos responsáveis pelas nascentes dos cursos d'água.

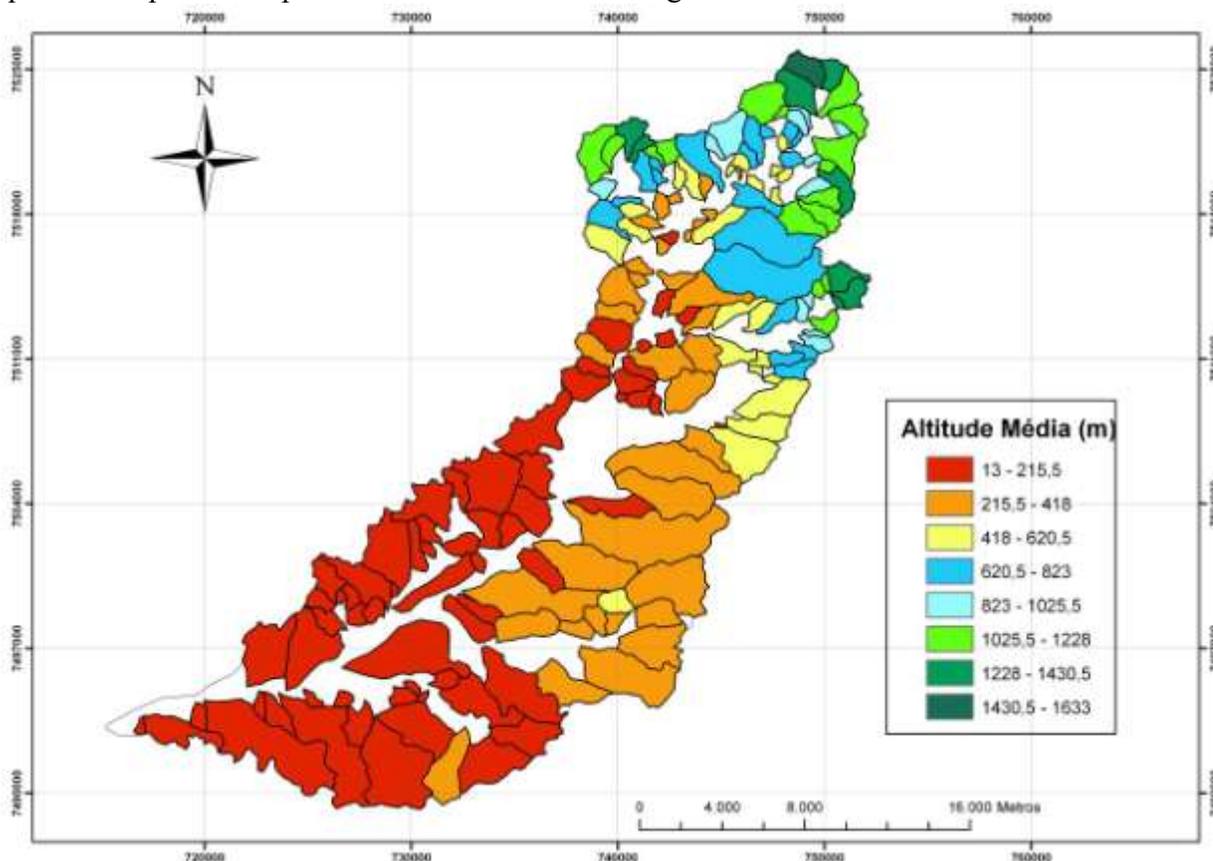


Figura 56: Classificação das microbacias hidrográficas segundo a altitude média (m).

Quanto à orientação das microbacias verifica-se a predominância das direções Noroeste, Sudeste e Sudoeste, respectivamente (Figura 57).

As orientações Sudeste e Sudoeste englobam aproximadamente 38,9% das microbacias analisadas (Figura 58). Este dado torna-se importante, sobretudo para a área objeto de estudo, onde verifica-se que a orientação geral da bacia hidrográfica do rio Macacu se dá no sentido Nordeste-Sudoeste, sendo influenciada pelo direcionamento predominante dos ventos ar úmidos oriundos do oceano.

No trabalho desenvolvido por BARBOZA (2007) foram identificadas 16 bacias aéreas no Estado do Rio de Janeiro, as quais apresentam formas, características topográficas e climáticas distintas e, conseqüentemente, captação diferenciada de ventos em função do ângulo de inclinação da embocadura da bacia em relação à entrada de ventos e à distância do oceano Atlântico.

Baseando-se no mapa desenvolvido pelo mesmo autor, verifica-se que a bacia hidrográfica do rio Macacu encontra-se situada na bacia área de Cachoeiras.

A bacia aérea funciona como um espaço físico tridimensional, onde os ventos são captados e conduzidos, funcionando como um “alçapão de ventos”, priorizando determinados caminhos e promovendo trocas diferenciadas de umidade (PIRES, 2005 apud BARBOZA, 2007).

Neste sentido, constata-se que a disposição da bacia hidrográfica do rio Macacu em relação à linha do litoral favorece a entrada dos ventos úmidos e, conseqüentemente, o aumento da oferta de água líquida, servindo como atributo ambiental mantenedor de formações florestais nativas da Mata Atlântica (BARBOZA, 2007).

De acordo com OLIVEIRA *et al.* (1995), na latitude do Rio de Janeiro, as regiões voltadas para o quadrante norte apresentam maior incidência solar quando comparadas aquelas voltadas para a direção sul, em função das primeiras receberem radiação solar praticamente ao longo de todo o período diurno, e as segundas apresentarem uma maior duração do período de sombreamento.

Assim, pode-se inferir que a predominância das orientações das microbacias para as direções Sul, Sudeste e Sudoeste (93 microbacias) em relação às orientações Norte, Nordeste e Noroeste (51 microbacias) condicionam maior oferta de atributos ambientais, aumentando a resiliência dos diferentes setores da bacia hidrográfica.

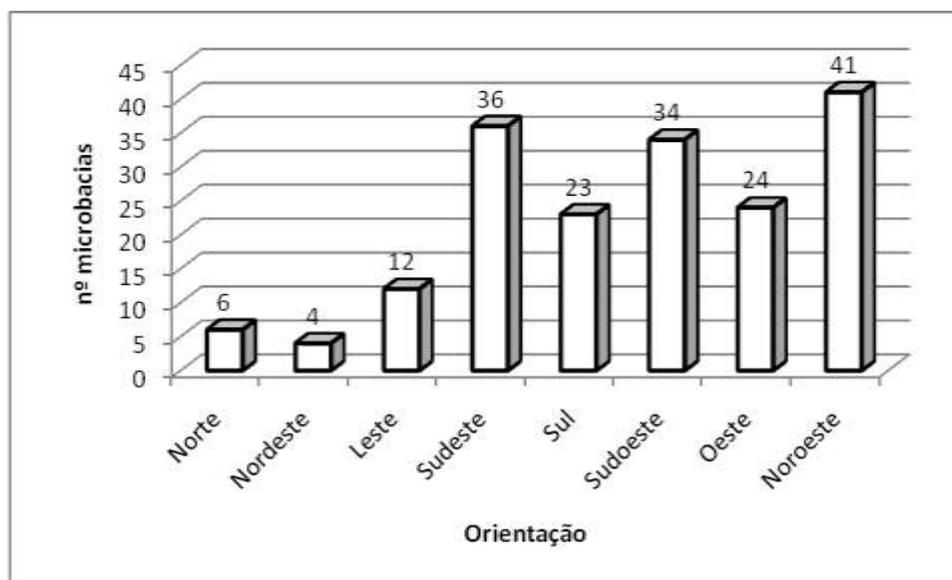


Figura 57: Distribuição das microbacias em relação à Orientação.

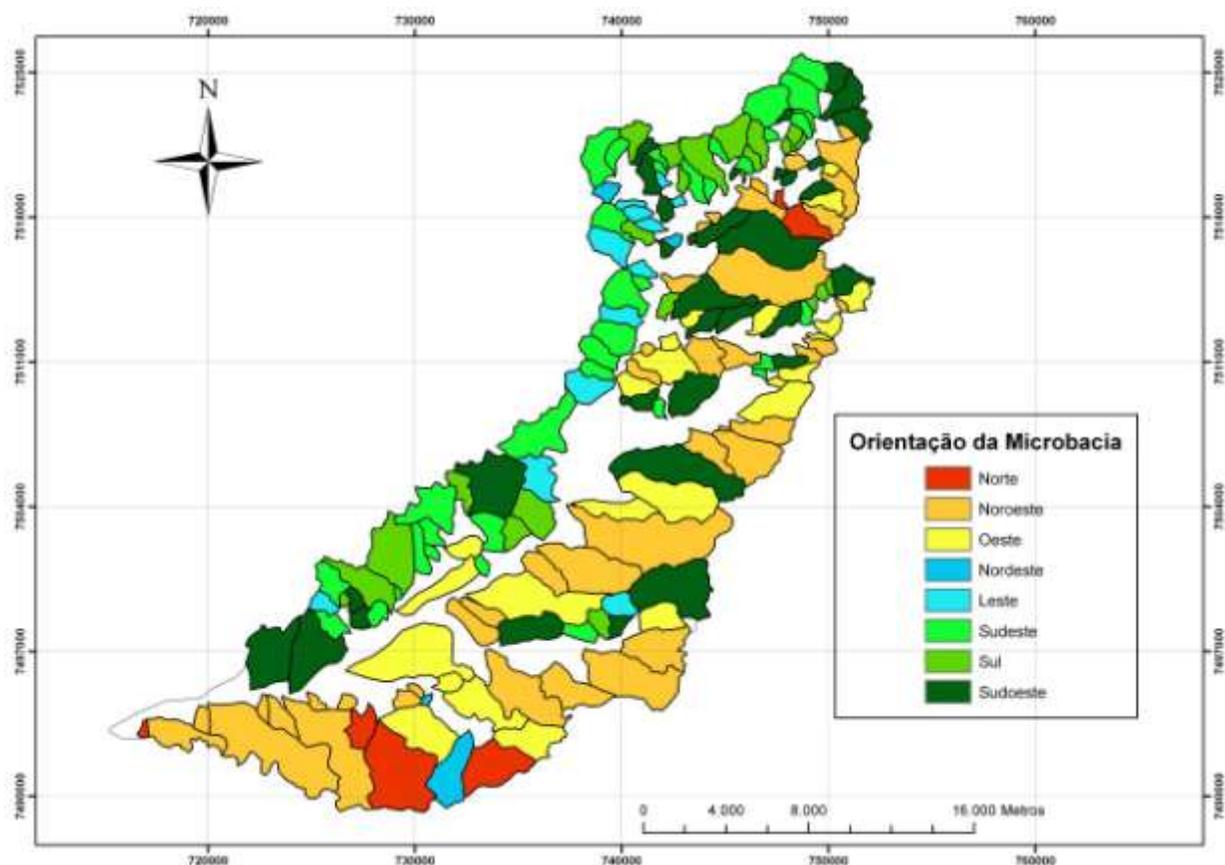


Figura 58: Classificação das microbacias hidrográficas segundo a orientação.

Os maiores valores de radiação global anual média foram encontrados, predominantemente nas microbacias com orientação norte e noroeste e os menores valores nas microbacias orientadas para os sentidos sul, sudeste e sudoeste (Figura 59).

O maior número de microbacias foi encontrado no intervalo de radiação variando de 1109 a 1177 kWh/m² (Figura 60).

De acordo com TONELLO *et al.* (2006) no hemisfério Sul, as bacias com orientação norte recebem maior quantidade de calor do que as de orientação sul, o que ocasiona maiores taxas de evapotranspiração.

Dentro deste contexto verifica-se que o modelo de radiação solar gerado é consistente, corroborando com as premissas ligadas às orientações e ao movimento solar na região de estudo.

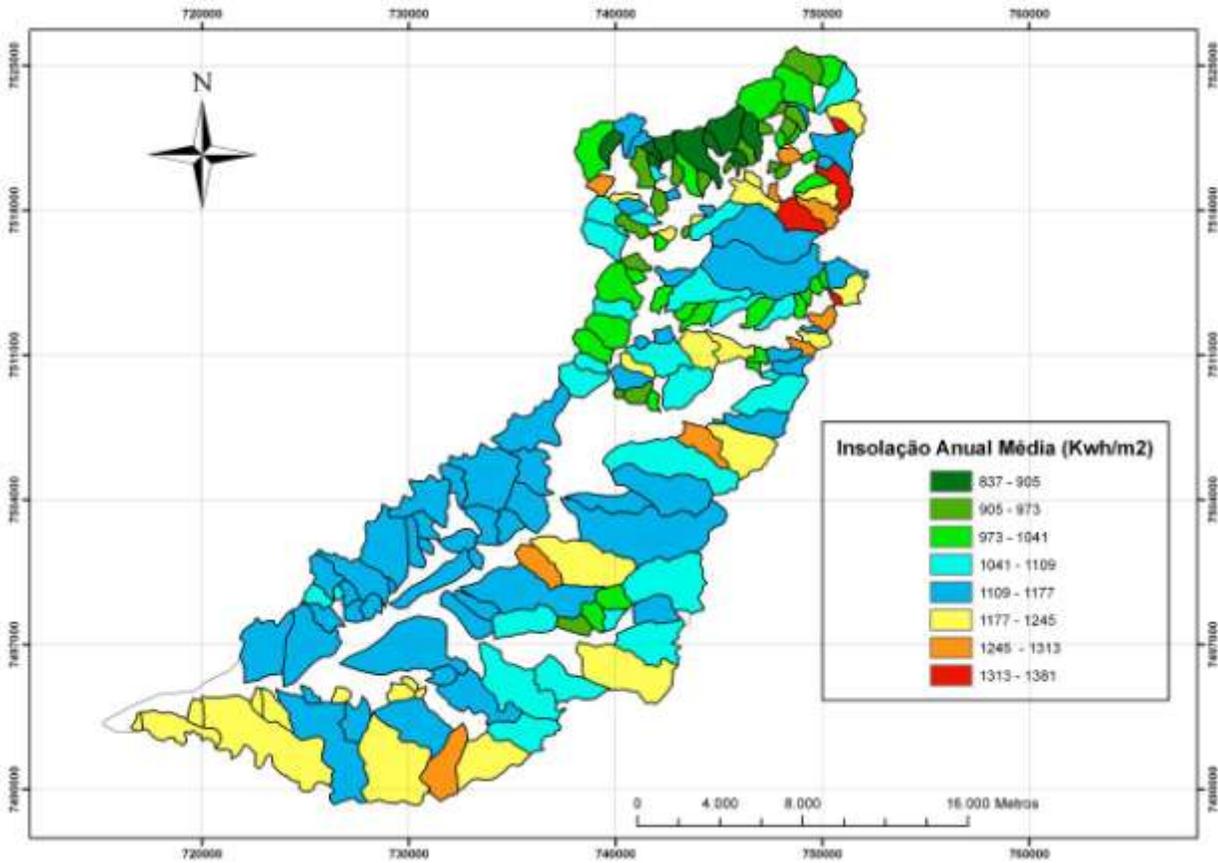


Figura 59: Classificação das microbacias hidrográficas segundo a Radiação Global Anual Média (kwh/m²).

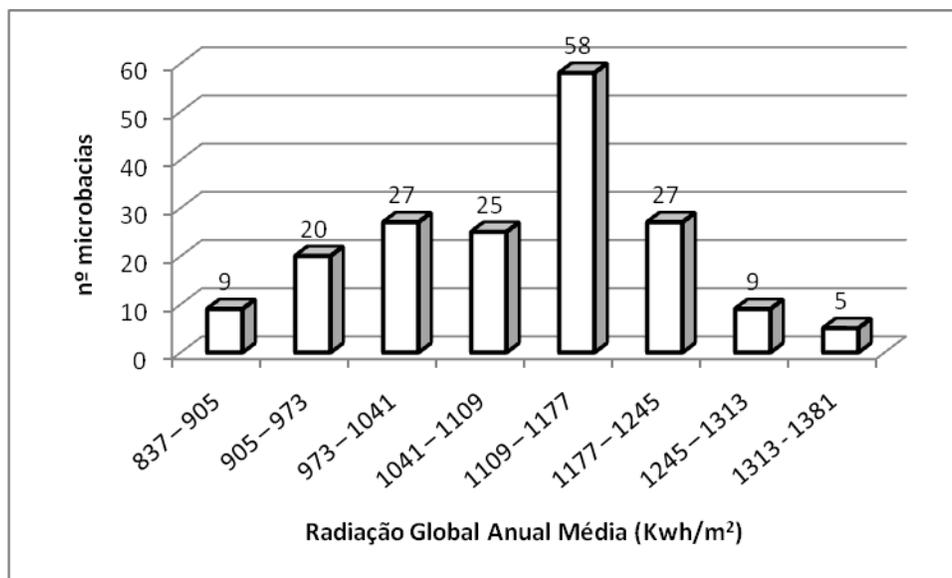


Figura 60: Distribuição das microbacias em relação à Radiação Global Anual Média (kwh/m²).

Quanto ao sistema de drenagem, o fator densidade de drenagem indica que a maior parte das microbacias (88,33%) apresenta valor variando de 0,49 a 2,59 km/km², consideradas segundo VILLELA & MATTOS (1975) como microbacias com drenagem regular a boa (Figura 61).

A densidade de drenagem é um indicador da eficiência natural ao escoamento superficial de água em uma bacia hidrográfica, informando a probabilidade de ocorrência de cheias, a intensidade de processos erosivos e a permeabilidade do terreno da bacia (COSTA & GUIMARÃES, 2005).

De acordo com VALENTE & GOMES (2005) a distribuição dos cursos d'água na bacia hidrográfica tem forte atuação na maior ou menor rapidez com que as enxurradas são drenadas para fora da bacia, provocando conseqüências semelhantes às da forma.

Segundo COLLARES (2000) a rede de drenagem das bacias hidrográficas atua como registro das alterações ocorridas em seu interior, além de refletir as mudanças ocasionadas por processos naturais ou atividades humanas, seja por meio das alterações na quantidade da água produzida ou na própria configuração da rede.

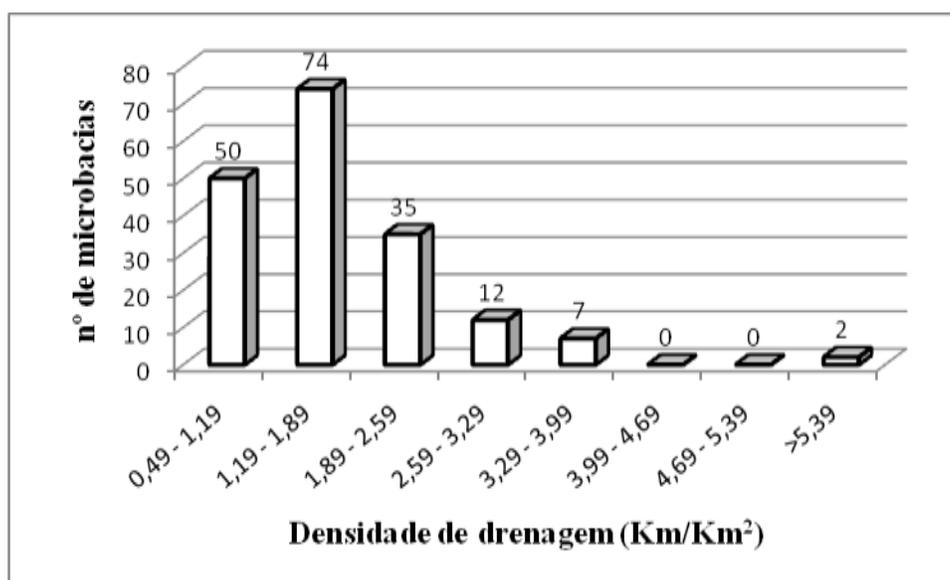


Figura 61: Distribuição das microbacias em relação à Densidade de Drenagem (km/km²).

Analisando-se o mapa das microbacias verifica-se uma grande homogeneidade em relação ao fator densidade de drenagem.

As microbacias com os menores valores de densidade de drenagem situam-se, sobretudo, na região Sudeste da bacia hidrográfica (Figura 62).

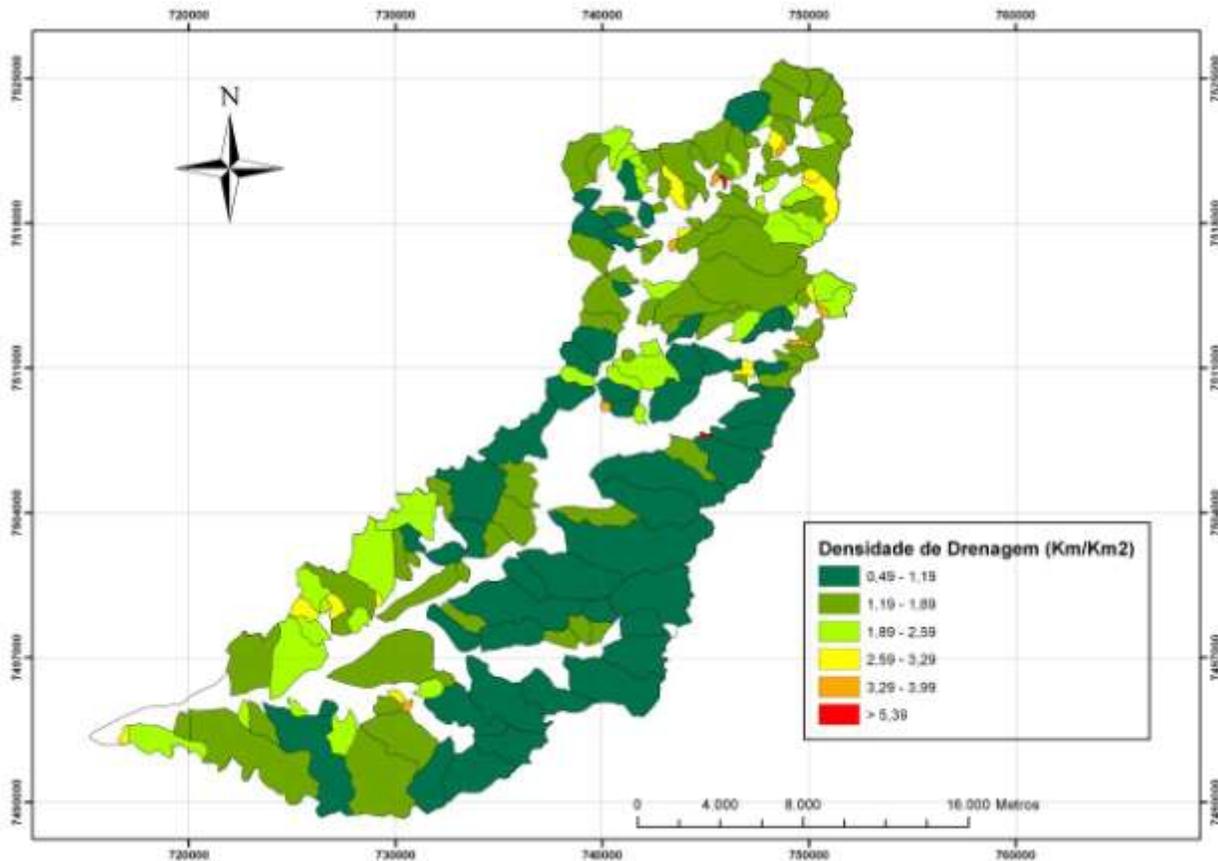


Figura 62: Classificação das microbacias hidrográficas segundo a Densidade de drenagem (km/km^2).

Após a obtenção de todos os fatores morfométricos supramencionados atribuiu-se pesos a cada um deles, de acordo com os critérios descritos no item 4.7. Em seguida efetuou-se a combinação dos planos de informação por meio de álgebra de mapas simples, considerando-se o mesmo valor de importância entre eles.

A junção dos diferentes planos de informação permitiu gerar o mapa final de fatores morfométricos, apresentando uma escala de prioridade entre as microbacias analisadas (Figura 63).

Verifica-se que as microbacias identificadas como prioritárias em relação aos fatores morfométricos encontram-se, primordialmente, na zona de captação da bacia hidrográfica, nas regiões de altitudes mais elevadas, enquanto as microbacias consideradas de baixa prioridade encontram-se concentradas na parte baixa da bacia e ainda naquelas classificadas como de terceira ordem.

Ressalta-se que as microbacias classificadas como prioritárias por apresentarem áreas de drenagem menores que as microbacias menos importantes tendem a apresentar maior sensibilidade hidrológica, ou seja, respondem de forma mais evidente às alterações de uso realizadas dentro dos seus limites.

De acordo com LEONARDO (2003) as alterações na quantidade e qualidade da água do deflúvio, em função de chuvas intensas e/ou em função de mudanças no uso do solo, são detectadas com mais sensibilidade quanto menores forem as microbacias.

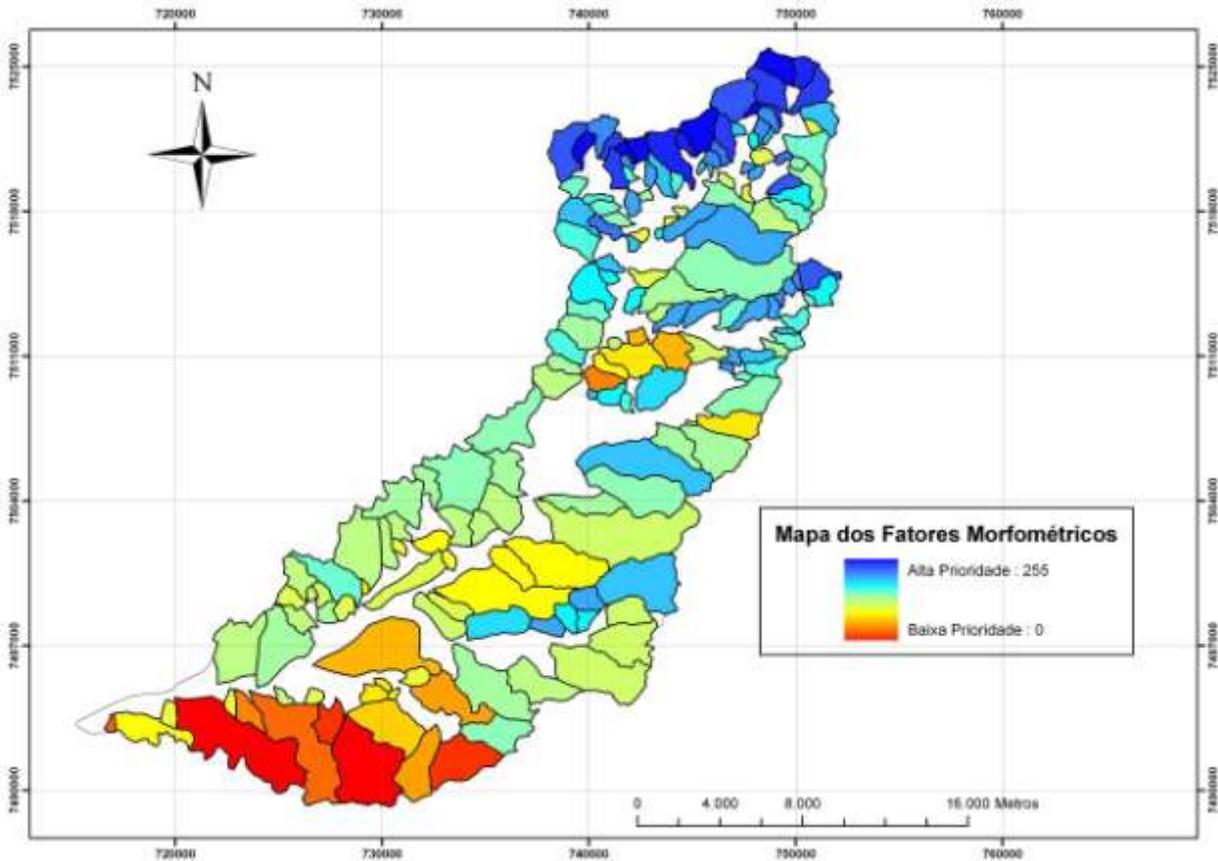


Figura 63: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação os fatores morfométricos.

4.6 Precipitação

Precipitação corresponde a toda água líquida ou sólida que cai da atmosfera para a superfície da Terra. Representando o elo de ligação entre as fases atmosférica e terrestre do ciclo hidrológico (LIMA, 1986). Desta forma, a precipitação constitui a entrada (*input*) do sistema hidrológico de uma bacia hidrográfica.

O estudo do comportamento pluviométrico de determinada região é importante devido às conseqüências que o excesso ou deficiência de precipitação podem ocasionar. O entendimento e espacialização das chuvas dentro de uma bacia hidrográfica fornecem subsídios para o planejamento e gestão do ambiente, pois a identificação de áreas prioritárias para a produção de água possibilita efetuar a orientação da ocupação humana dentre das bacias hidrográficas, otimizando a preservação ambiental e o desenvolvimento econômico da região.

Analisando o mapa de precipitação da bacia hidrográfica do rio Macacu verifica-se que a medida se aproxima do divisor topográfico da serra do Mar a quantidade pluviométrica tende a aumentar (Figura 64).

Esse efeito deve-se, sobretudo, a presença da cadeia de montanhas que funciona como uma barreira física, culminando no efeito orográfico e na presença abundante das chuvas orográficas nessas regiões.

Um outro efeito ainda pouco estudado refere-se a avaliação da chuva oculta, que consiste em um fenômeno no qual uma nuvem (massa de ar úmido) penetra na floresta, fazendo com que

as gotículas de água sejam depositadas na biomassa florestal, as quais se acumulam e gotejam para o solo. Esta captação física de gotículas de água da neblina pode contribuir significativamente para o balanço hídrico local, constituindo-se, sem dúvida, num aumento da precipitação local, o que não ocorreria se não houvesse a presença da floresta (BARTH & BARBOSA, 1999).

Segundo BARBOZA (2004), a interceptação vertical (chuva oculta) pode representar um adicional de até 40% de água no sistema. O grau de interceptação das massas de ar varia em função da orientação do componente florestal, sua estrutura e posicionamento dentro da bacia aérea, sendo, para a área de estudo, o efeito mais evidente nas regiões voltadas para a direção Sudoeste (direção de predominância dos ventos úmidos).

Dessa forma, contata-se que os efeitos da bacia aérea e da orografia potencializam a oferta de atributos nas regiões do contraforte da serra do Mar.

A distribuição espacial e temporal da pluviosidade é essencial para dar subsídios à gestão das bacias hidrográficas. A geração de informações sobre a disponibilidade hídrica e de cenários de demanda, podem ser utilizadas pelos comitês das bacias hidrográficas e nos seus respectivos planos diretores.

As informações sobre a sazonalidade da pluviosidade são de importância para diversas atividades econômicas, entre elas o turismo.

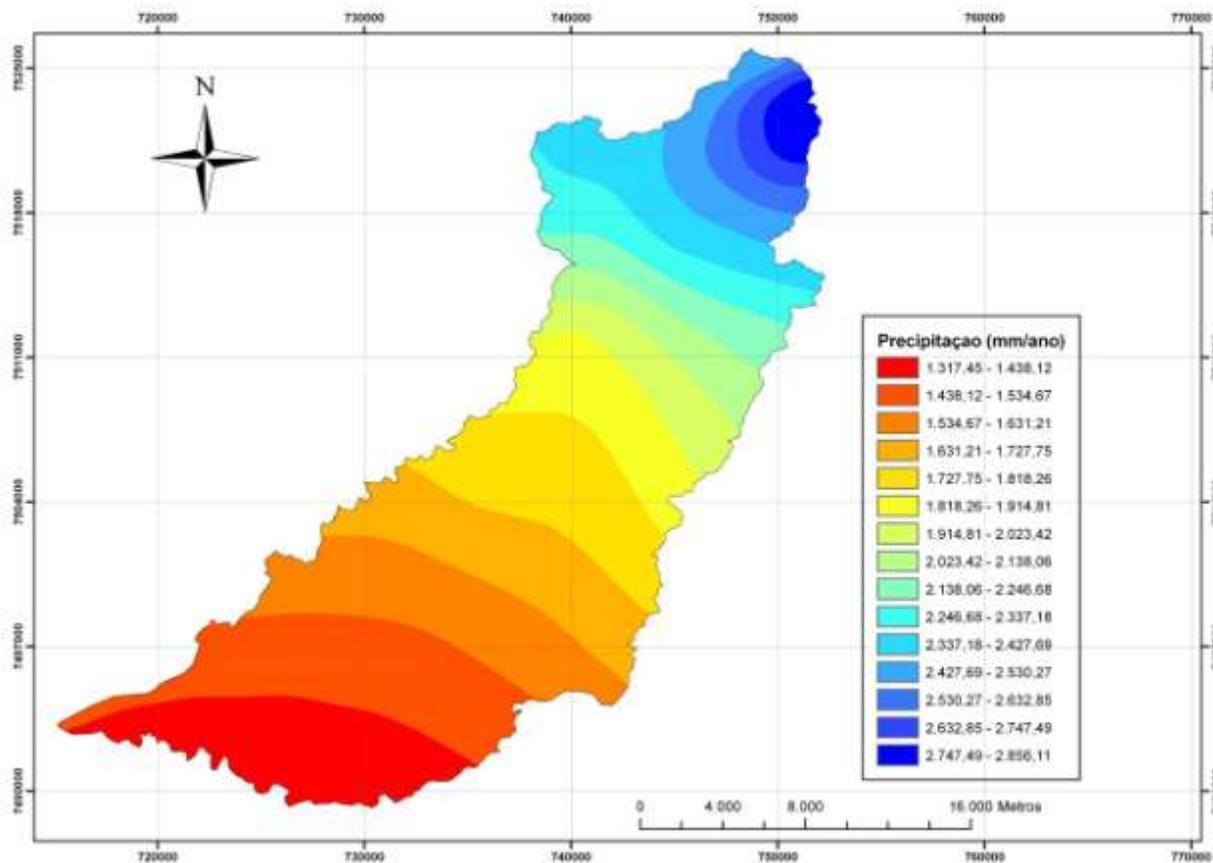


Figura 64: Distribuição da precipitação na bacia hidrográfica do rio Macacu.

Fonte: CPRM, 2000; Folhas Topográficas 1:50.000 IBGE/DSG; Base Cartográfica Planialtimétrica Digital IEF (Escala Original 1:50.000). Dados obtidos a partir do PDRH-BG (2005).

4.7 Vulnerabilidade à erosão

O solo é um meio dinâmico em constante transformação. A remoção, formação e redistribuição de partículas são fenômenos naturais e ocorrem em qualquer ecossistema, o que varia são as suas intensidades em função das fragilidades dos ecossistemas (CASTRO, 1980; GUERRA & CUNHA, 1994). As atividades antrópicas atuantes dentro de uma microbacia hidrográfica são capazes de quebrar o equilíbrio do ecossistema acelerando o processo de erosão e gerando diversos prejuízos sociais, econômicos e ambientais.

A erosão pode ser entendida como um processo de desprendimento e arraste de partículas sólidas do meio físico, tendo como agentes transportadores: o vento (erosão eólica) e a água (erosão hídrica) (BERTONI & NETO, 1990, GUERRA *et al.*, 2005). A produção excessiva de sedimentos acarreta conseqüências ambientais negativas, como o assoreamento, a poluição e a eutrofização das águas superficiais, culminando na degradação da quantidade e qualidade dos recursos hídricos (WEILL, 1999).

A compreensão do processo erosivo-sedimentológico é complexa, pois envolve diferentes fatores de ordem física, meteorológica e antrópica que são dependentes e interligados entre si, além de apresentarem grande variabilidade espacial e temporal. Desta maneira, torna-se necessário abordar o assunto de forma holística, identificando os fatores atuantes, analisando suas inter-relações e os padrões intrínsecos a cada região.

Por meio dos dados referentes aos fatores declividade, uso do solo, precipitação e classe de solo elaborou-se o mapa de vulnerabilidade à erosão, atribuindo-se os pesos definidos por CREPANI *et al.* (2001).

Observa-se que a vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do rio Macacu tende a aumentar proporcionalmente à altitude (Figura 65).

As regiões mais vulneráveis à erosão tendem a se concentrar nas partes altas da bacia hidrográfica, próximas aos divisores topográficos. A presença de relevo escarpado, com alta declividade, associado à ocorrência de chuvas intensas e solos mais rasos, que favorecem o fenômeno de escoamento superficial, explicam parte deste comportamento.

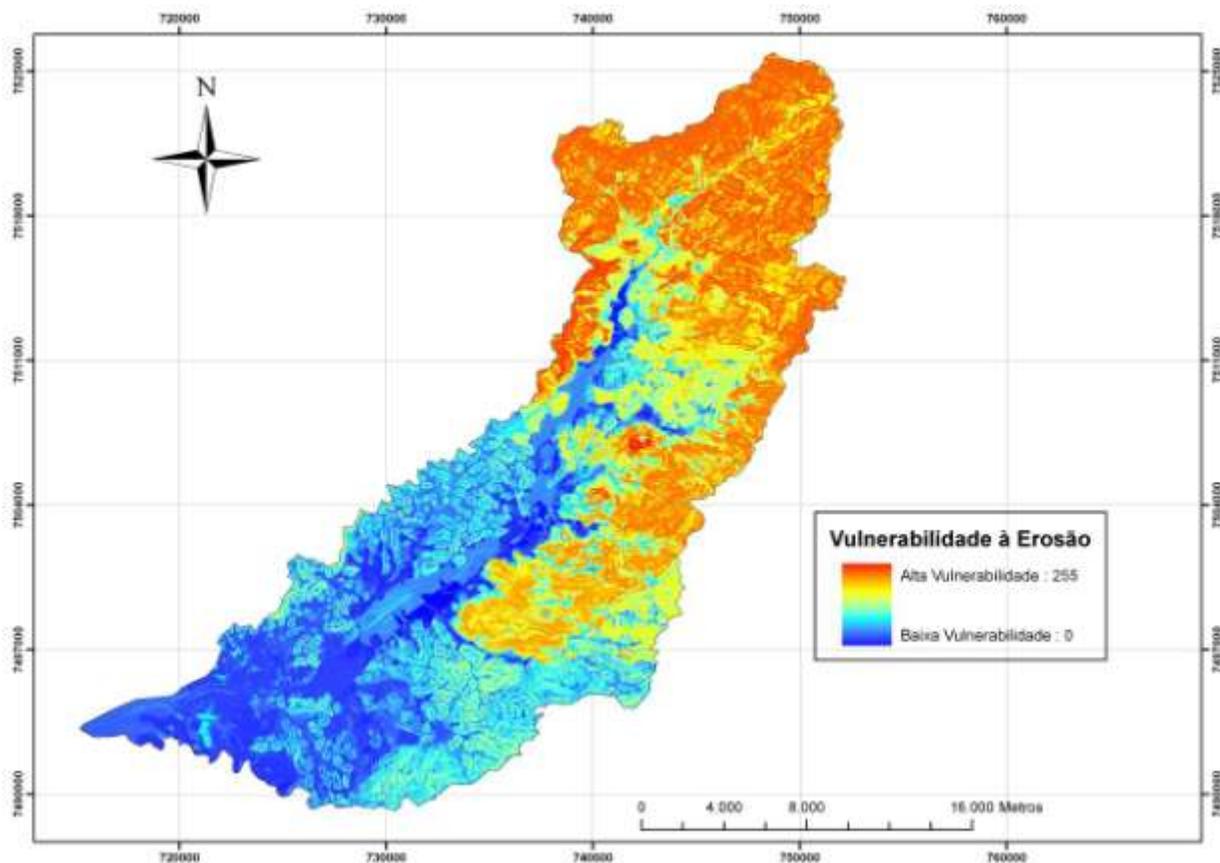


Figura 65: Mapa de vulnerabilidade à erosão da bacia hidrográfica do rio Macau/RJ.

De acordo com SILVA (2002) o comportamento do escoamento superficial depende essencialmente da cobertura da bacia, de sua declividade, do sistema de drenagem, da precipitação, do tipo de solo e de sua umidade.

Os dados de vulnerabilidade à erosão da bacia do rio Macacu são corroborados pelos resultados encontrados por FREITAS *et al.* (2005), o qual estudando a vulnerabilidade à perda de solos na serra das Almas (CE/PI) verificou que as áreas com altos graus de vulnerabilidade à erosão estavam associadas aos meios fortemente instáveis, com relevo dissecado do Geossistema das Encostas Escarpadas.

Visando avaliar os diferentes graus de vulnerabilidade à erosão ao longo da bacia, realizou-se a reclassificação do mapa obtido em cinco classes de vulnerabilidade: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta (Figura 66).

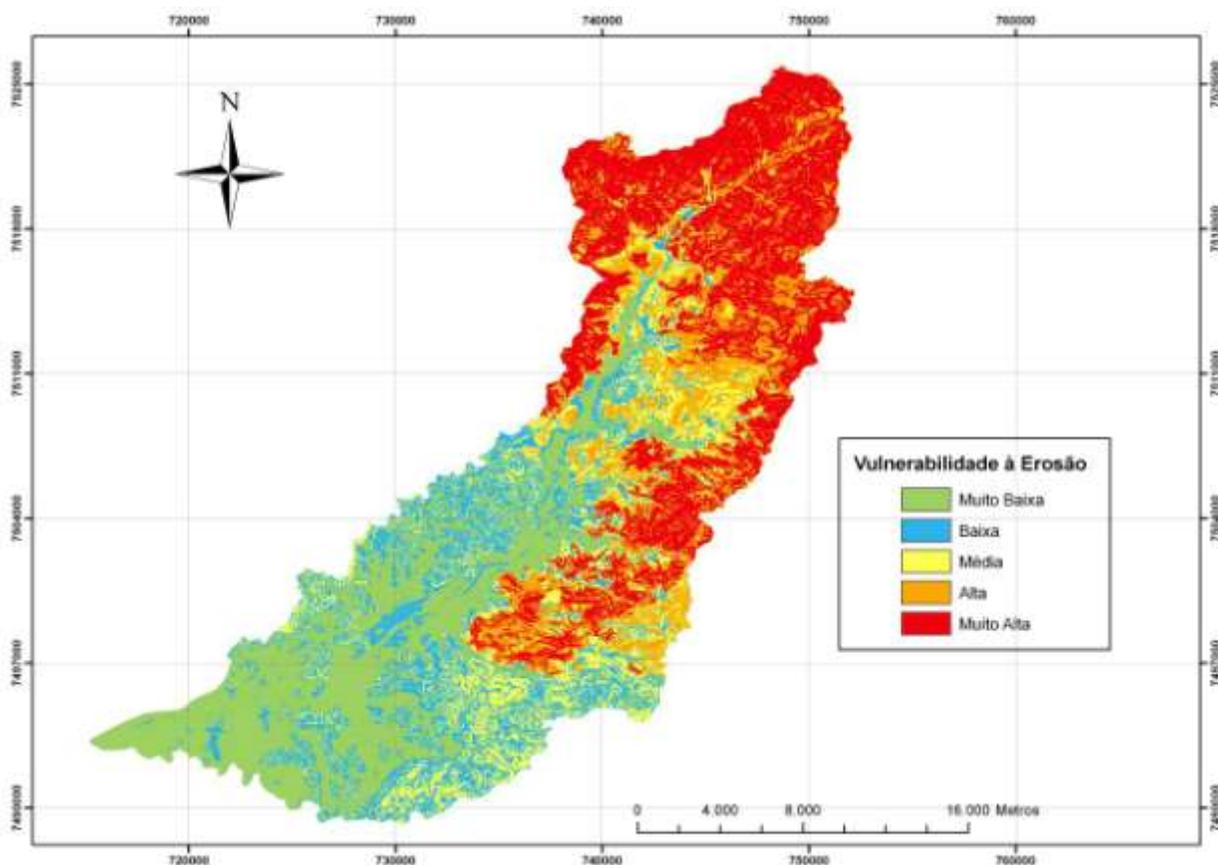


Figura 66: Classes de vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do rio Macau/RJ.

A área da bacia ocupada por cada classe de vulnerabilidade encontra-se na Figura 67.

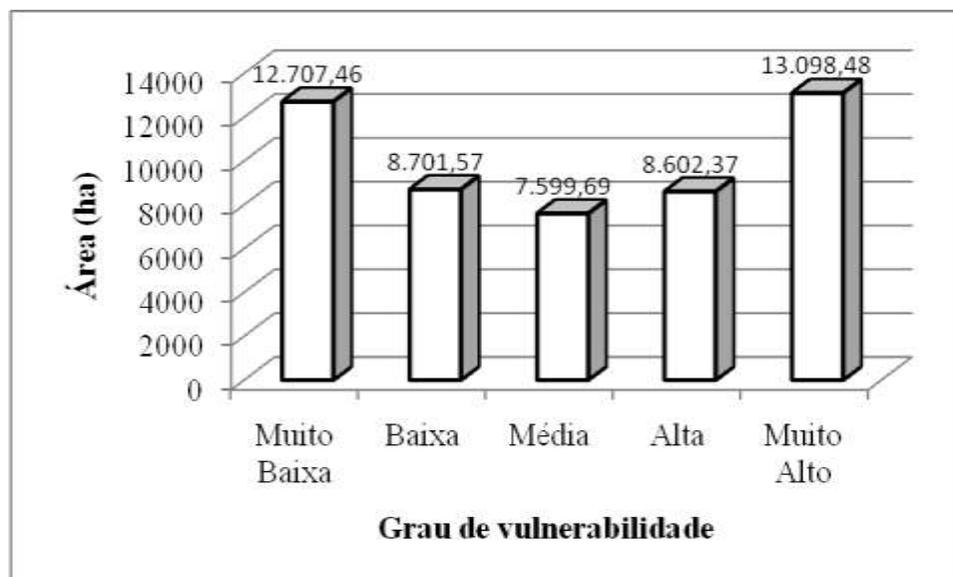


Figura 67: Área da bacia hidrográfica ocupada pelos diferentes graus de vulnerabilidade à erosão.

Observa-se que aproximadamente 25,83% da bacia apresenta grau de vulnerabilidade à erosão enquadrado como muito alto. O uso do solo predominante nesta classe é a floresta secundária em estágio avançado de sucessão, ocupando 66,61%, seguido por floresta secundária em estágio médio de regeneração, com 25,44%, sendo a maior parte deste setor situado dentro dos limites do Parque Estadual dos Três Picos (Figura 68). Este fato enfatiza ainda mais a importância da presença desta Unidade de Conservação na bacia, sobretudo no que se refere ao provimento de água de boa qualidade.

As regiões com vulnerabilidade alta também encontram-se, primordialmente cobertas por florestas (70,8%).

O predomínio de florestas nas regiões mais vulneráveis à erosão da bacia minimiza a ocorrência e o desencadeamento dos processos erosivos e, conseqüentemente, o assoreamento dos corpos hídricos e os altos custos de tratamento da água.

Os setores classificados como de vulnerabilidade muito baixa e baixa apresentam a pastagem como uso do solo predominante, ocupando 69,85% e 54,63%, respectivamente.

As regiões enquadradas como de vulnerabilidade média são cobertas principalmente por pastagens (46,24%) e florestas secundárias em estágio inicial de sucessão (24,64%).

Em relação à variável classe de solo, verifica-se que nas regiões com vulnerabilidade à erosão muito alta e alta, predominam os Neossolos Litólicos e os Cambissolos Háplicos, caracterizados por serem solos rasos e com baixa capacidade de infiltração.

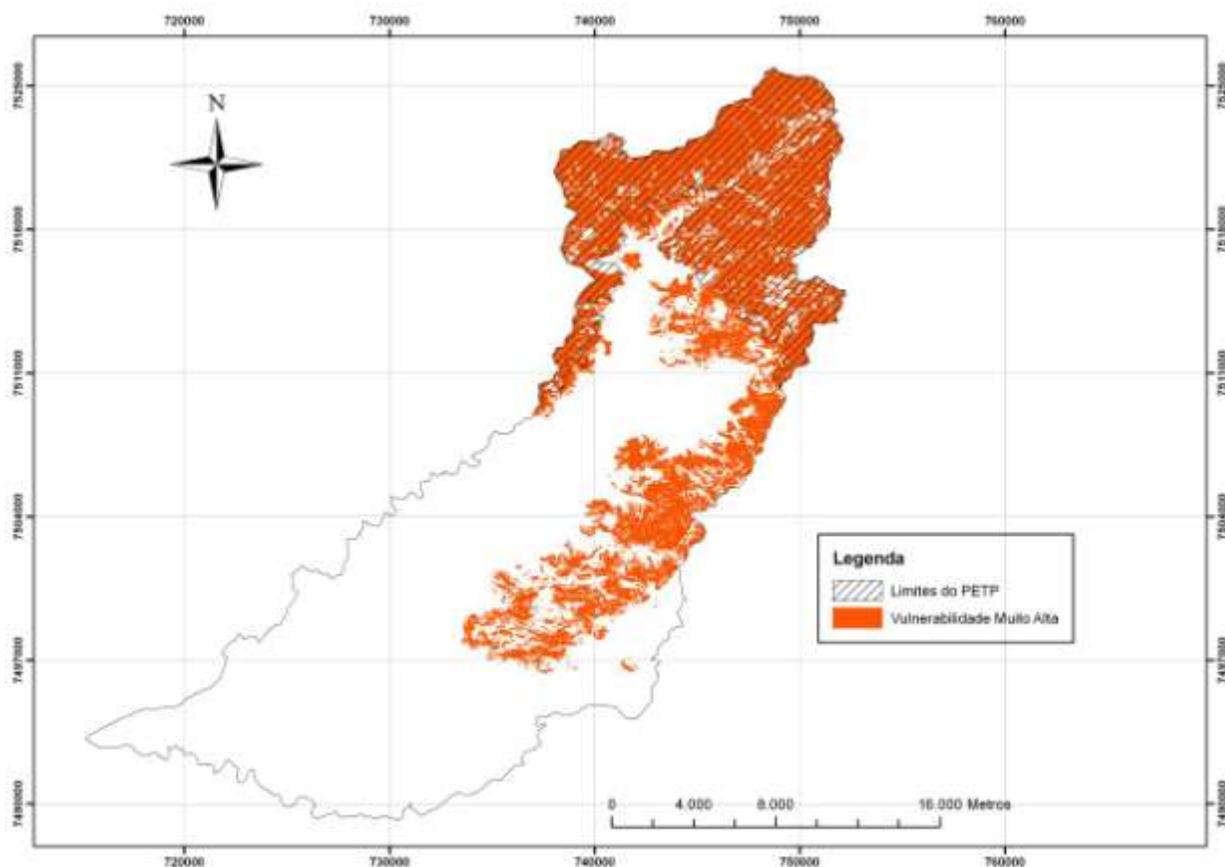


Figura 68: Sobreposição dos limites do Parque Estadual dos Três Picos dentro da bacia hidrográfica do rio Macacu e as áreas enquadradas como de vulnerabilidade à erosão muito alta.

A extração dos diferentes graus de vulnerabilidade à erosão para os limites das microbacias hidrográficas estudadas encontra-se na Figura 69.

Analisando-se o referido mapa é possível identificar quais as microbacias prioritárias para conservação, ou seja, as microbacias mais vulneráveis à erosão, bem como os setores dentro das microbacias mais suscetíveis aos processos erosivos.

O estudo de vulnerabilidade à erosão consiste em uma ferramenta importante de manejo, uma vez que se tem identificado as áreas mais suscetíveis aos processos erosivos dentro da bacia hidrográfica, subsidiando a ocupação antrópica nos diferentes setores da mesma.

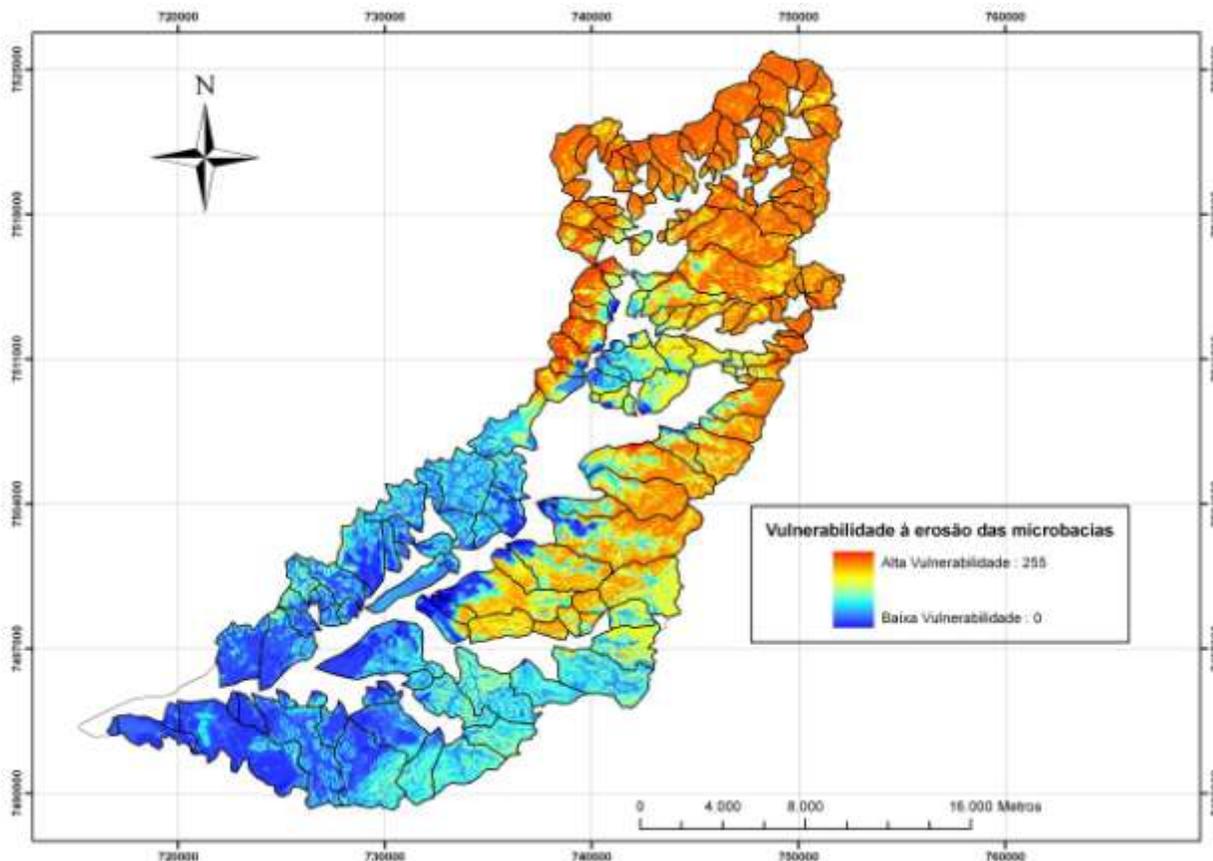


Figura 69: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação ao fator vulnerabilidade à erosão. Alta vulnerabilidade = alta prioridade; baixa vulnerabilidade = baixa prioridade.

4.8 Proximidade entre Fragmentos Florestais

A redução de habitat e, especialmente, a fragmentação florestal em pequenos remanescentes impõe uma ameaça a espécies da fauna e flora, uma vez que reduz e isola populações, ocasiona alterações microclimáticas, em função do efeito de borda, altera as interações entre as espécies e diminui o sucesso na dispersão (RICKLEFS, 2003; FARERO-MEDINA & VIEIRA, 2007).

Com o intuito de favorecer a conectividade entre os fragmentos florestais existentes dentro da bacia hidrográfica do rio Macau, a partir do plano de informação fragmentos florestais elaborou-se o mapa de distâncias entre os mesmos, independentemente do tamanho (Figura 70).

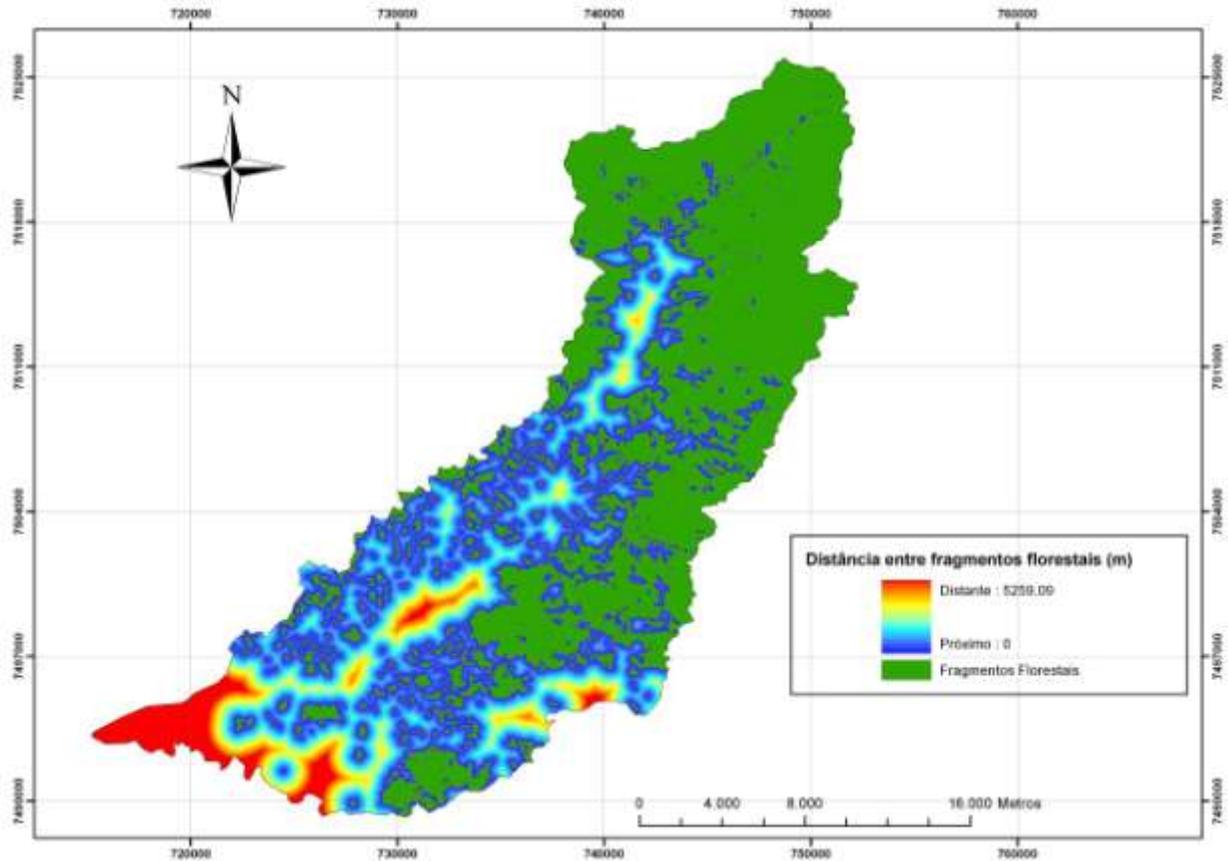


Figura 70: Mapa de distância entre os fragmentos florestais existentes dentro da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

O mapa de distância entre fragmentos florestais permitiu analisar o grau de isolamento dos mesmos e os locais mais favoráveis à formação de corredores ecológicos.

A interligação entre fragmentos florestais, por meio de “corredores de biodiversidade”, permite aumentar o fluxo de animais e sementes (VIANA & PINHEIRO, 1998), e, conseqüentemente o fluxo gênico e a variação genética dentro dos fragmentos (KAGEYAMA & GANDARA, 1998).

Para PRIMACK & RODRIGUES (2001) os corredores ecológicos facilitam o fluxo de espécies, notadamente das mais vulneráveis à extinção, como as de baixa densidade populacional, as que necessitam de grandes ambientes, as de grande porte, as típicas de ambientes estáveis e as que formam agregações permanentes ou temporárias.

Dentro deste contexto, verifica-se que a definição de estratégias para a conservação da biodiversidade deve ultrapassar os limites das Unidades de Conservação e considerar as características e potencial de conservação nos fragmentos vizinhos.

A extração do mapa de distância entre fragmentos para os limites das microbacias hidrográficas permitiu identificar as microbacias prioritárias, assim como os setores mais importantes dentro das mesmas (Figura 71).

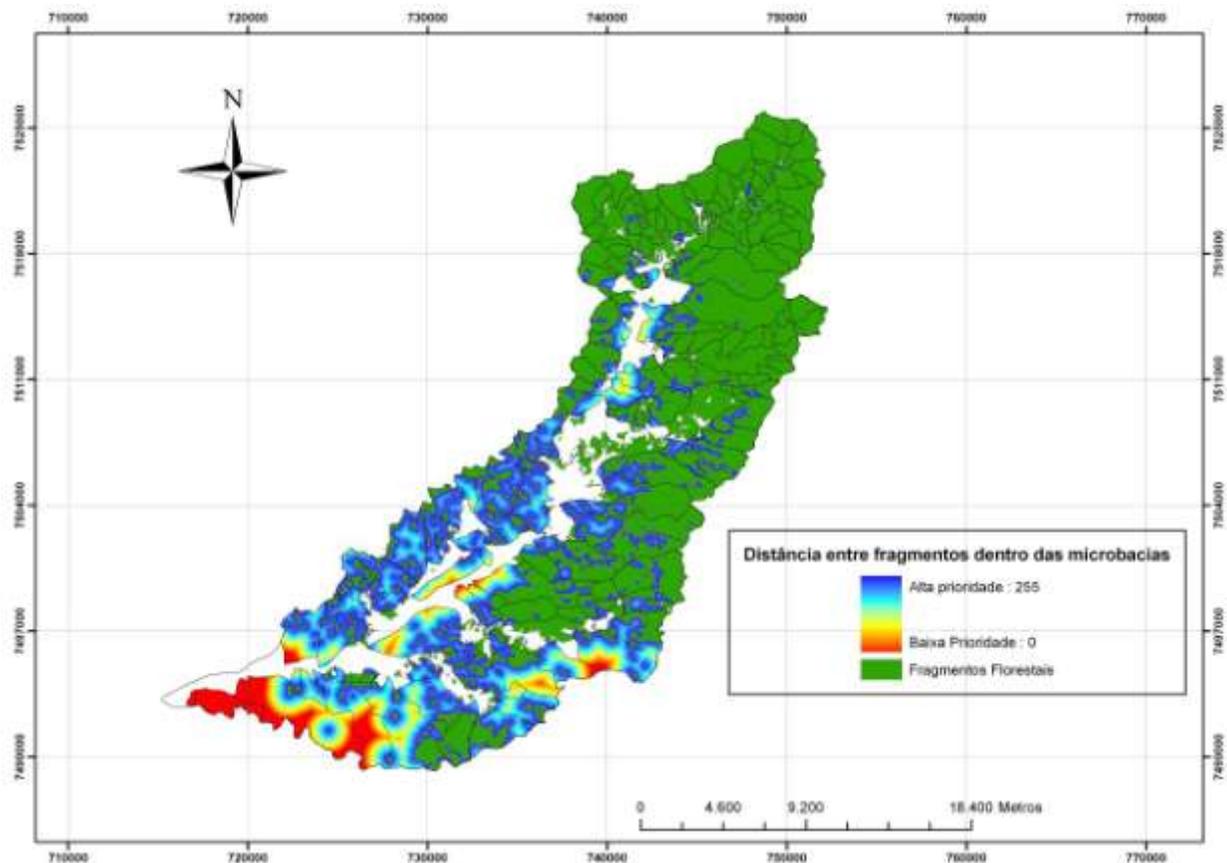


Figura 71: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação ao fator distância entre fragmentos florestais.

Verifica-se que as microbacias localizadas na parte alta da bacia hidrográfica apresentam grau de prioridade maior que as situadas nas partes mais baixas.

4.9 Proximidade entre os Maiores Fragmentos Florestais

O grau de isolamento entre fragmentos florestais não é o único fator preponderante nos estudos de biologia da conservação.

De acordo com VIANA *et al.* (1992) apud VIANA & PINHEIRO (1998), os principais fatores que afetam a dinâmica de fragmentos florestais são: tamanho, forma, grau de isolamento, tipo de vizinhança e histórico de perturbações.

O tamanho dos fragmentos florestais exerce efeito direto sobre a diversidade de espécies (BUENO, 2008, AWADE, 2009).

Muitos estudos têm sido realizados com o intuito de avaliar a relação entre a área dos fragmentos florestais e a riqueza e abundância total de espécies. De maneira geral verifica-se que a redução do tamanho dos fragmentos é acompanhada por uma diminuição da biodiversidade (AWADE, 2009).

UEZU (2006) estudando a composição e estrutura da comunidade de aves na paisagem fragmentada do Pontal do Paranapanema (SP) verificou que os grupos de espécies com abundância baixa são correlacionados positivamente com o tamanho dos fragmentos florestais, indicando que essas espécies são mais sensíveis à fragmentação.

Outra grande influência do tamanho dos fragmentos florestais se dá sobre o efeito de borda, onde quanto maior o tamanho do fragmento florestal, menor o efeito de borda.

De acordo com BASILE (2006), o efeito de borda pode ser definido como a influência que o meio externo exerce sobre a área florestada em sua parte mais marginal, causando alterações físicas e estruturais, em função da combinação de fatores bióticos e abióticos que alteram as condições ambientais (fluxo de radiação, vento, água, evapotranspiração, etc) ao longo da borda do fragmento.

Por meio do mapa de distância entre fragmentos florestais de diferentes tamanhos e da tabela de pesos (Tabela 14), gerou-se o mapa de proximidade entre os maiores fragmentos existentes dentro da bacia hidrográfica (Figura 72). Este mapa permitiu priorizar os maiores fragmentos florestais e ainda os que apresentam menor grau de isolamento.

Observa-se que diferentemente do mapa de distâncias entre os fragmentos florestais, mostrado no item anterior (distância entre fragmentos independente do tamanho), neste mapa os setores prioritários localizam-se, primordialmente, na parte média da bacia hidrográfica.

O grande número de fragmentos florestais situados neste trecho da bacia favoreceu esta conformação. Dessa forma, constata-se que apesar de ter sido atribuído maior peso para o mapa de distância dos fragmentos maiores que 30 ha, que condicionou à uma maior valoração das partes altas da bacia, o mesmo não foi suficiente para direcionar as áreas prioritárias para este setor.

A extração das informações para os limites das microbacias hidrográficas estudadas encontra-se na Figura 73.

Por meio deste mapa foi possível identificar além das microbacias prioritárias, os setores mais importantes dentro das mesmas, fato primordial para direcionamento das ações.

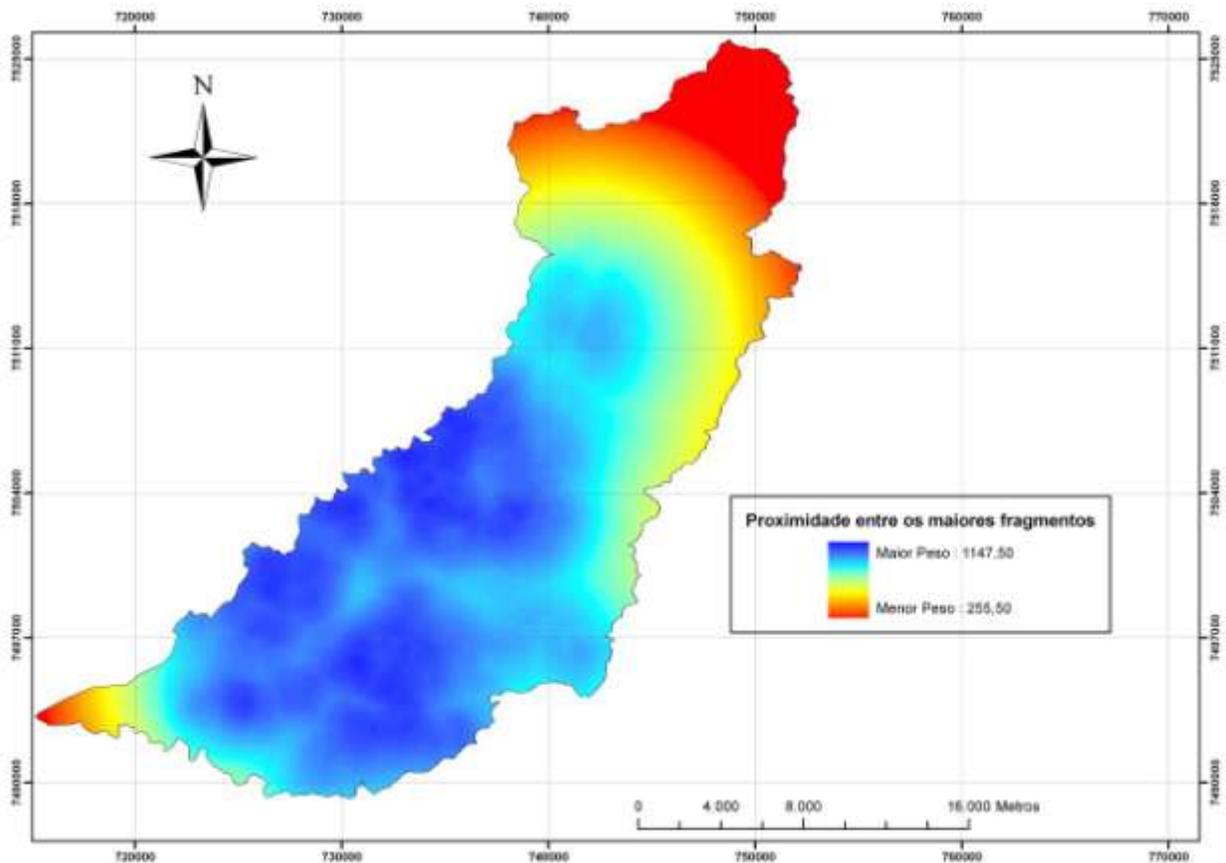
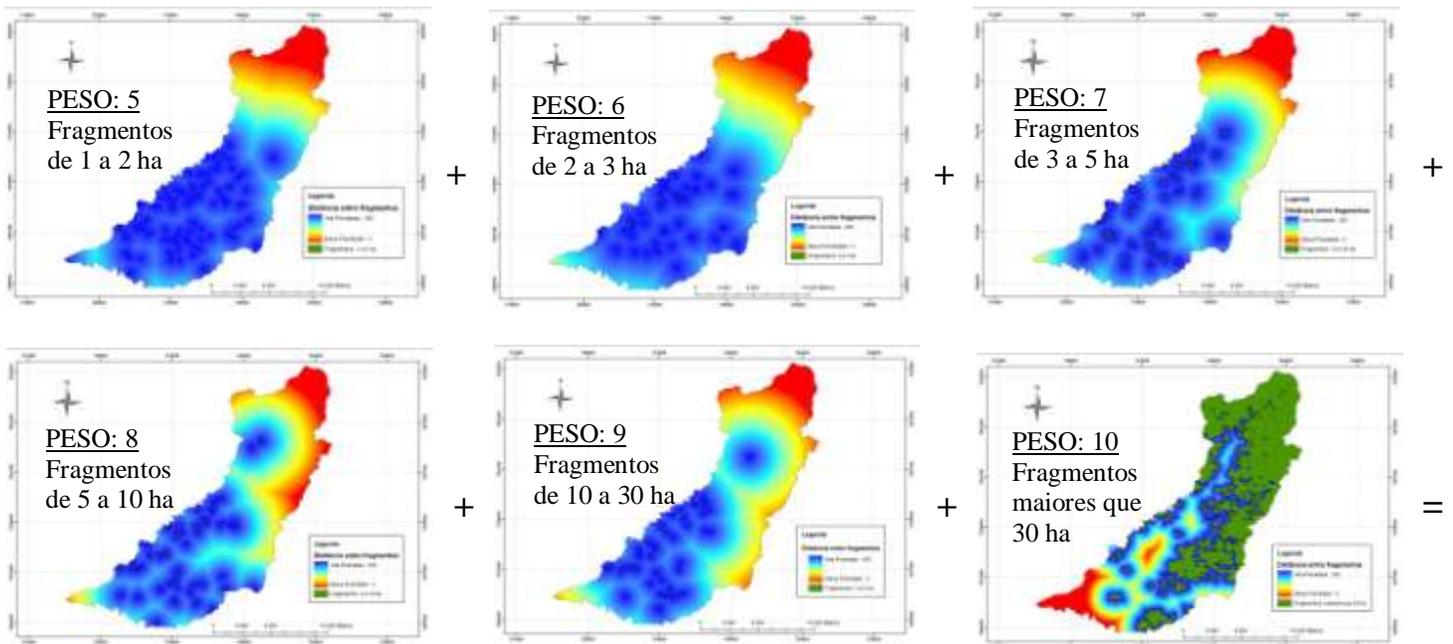


Figura 72: Mapa final de proximidade entre os maiores fragmentos existentes dentro da bacia hidrográfica dentro da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

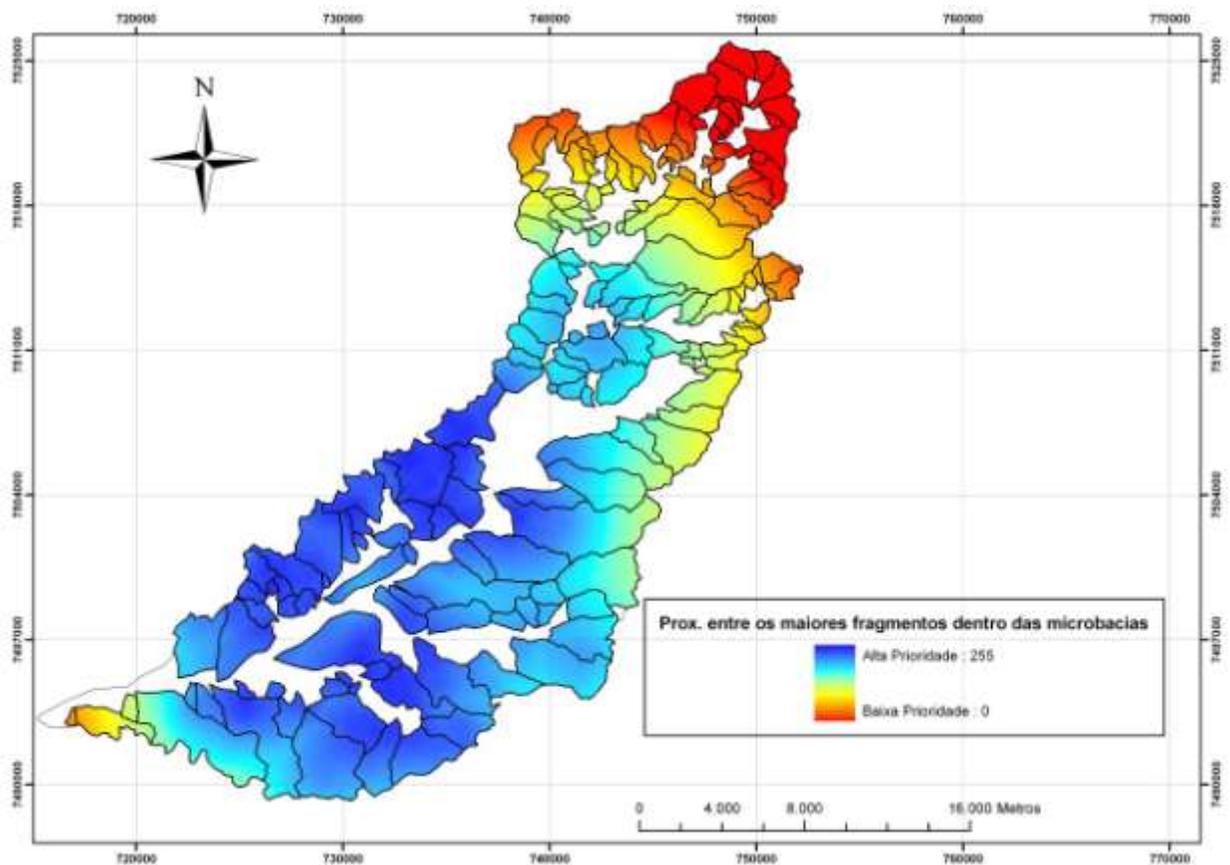


Figura 73: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação ao fator proximidade entre os maiores fragmentos florestais.

Apesar de não existir um consenso em relação ao tamanho ou área mínima para que os fragmentos tenham auto-sustentabilidade, a análise da distribuição de classes de tamanho de fragmentos florestais constitui-se em uma ferramenta útil na definição de estratégias para a conservação da biodiversidade, além de subsidiar a criação de áreas legalmente protegidas.

4.10 Áreas de Preservação Permanente – APP's

O mapa das Áreas de Preservação Permanente da bacia hidrográfica do rio Macacu foi gerado baseando-se nos critérios estabelecidos pela Lei Federal nº4771/65, Resolução CONAMA 303/02 e Resolução CONAMA 302/02.

Na bacia hidrográfica do rio Macacu verificou-se a presença de APP's de cursos d'água, nascentes, topo de morros, linhas de cumeeada e declividade superior à 45° (Figura 74).

De acordo com o Código Florestal as áreas de preservação permanente têm a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas. A cobertura vegetal nestes ambientes permite minimizar os efeitos erosivos, a lixiviação de nutrientes, o assoreamento e eutrofização dos corpos d'água, além de promover a estabilidade das comunidades florísticas e faunísticas (GONÇALVES, 2009).

As matas ciliares desempenham inúmeras funções no que se refere à regulação do fluxo de água, sedimentos e nutrientes na bacia (LOHMAN, 2003), além de funcionarem como corredores de fluxos gênicos (DIAS, 2002). Embora a presença de vegetação nativa ao longo dos cursos d'água seja importante na manutenção da qualidade dos mananciais hídricos, verifica-se, atualmente, que grande parte das APP's nas mais diferentes regiões do país, encontra-se com ocupação irregular, ocasionando alterações hidrológicas e ambientais no ecossistema (COSTA *et al.*, 1996; MARTINS, 2001; TREVISAN & ADAMI, 2009). Este quadro reflete a ineficiência do poder público em demarcar e fiscalizar as APP's, fazendo cumprir a legislação vigente.

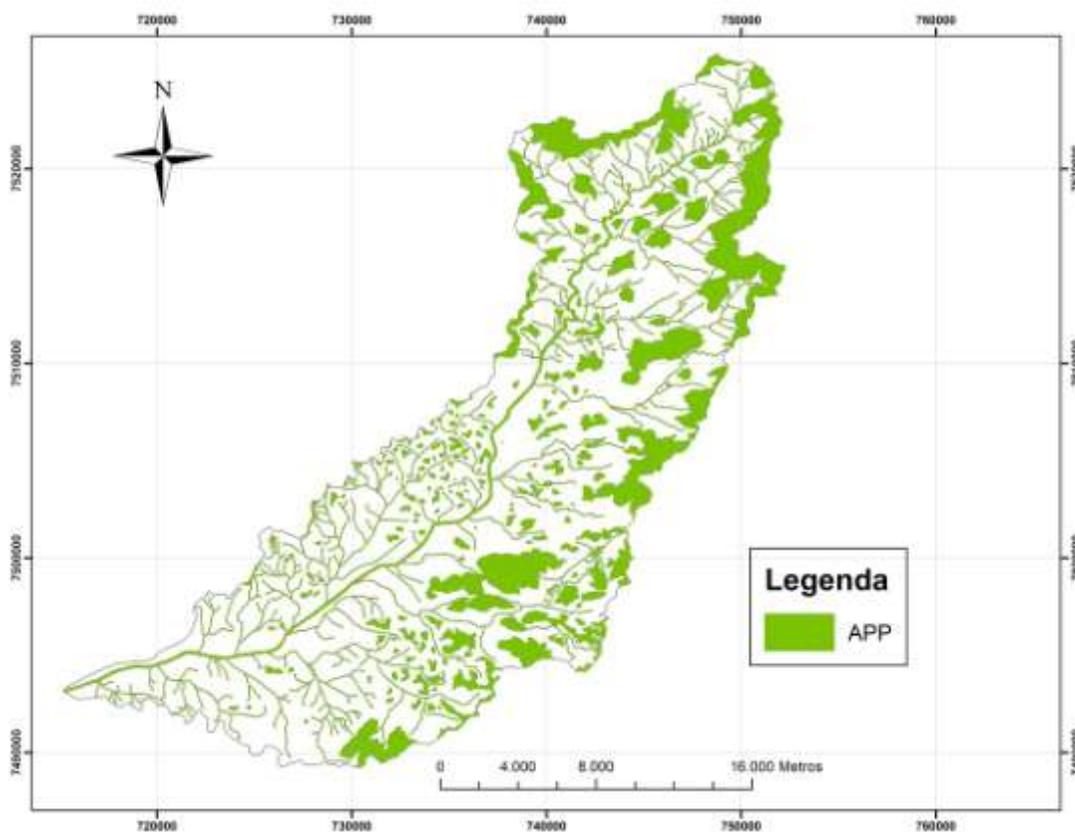


Figura 74: Mapa das Áreas de Preservação Permanente da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

As APP's da bacia hidrográfica do rio Macacu totalizam uma área de aproximadamente 14.860 ha, o que representa aproximadamente 29,30 % de sua área total.

Verifica-se que mais de 28% das áreas de APP's mapeadas estão sendo ocupadas por alguma atividade antrópica, destacando-se a pastagem com 23,15% (Tabela 19). As áreas de floresta secundária em diferentes estágios sucessionais ocupam cerca de 67,40% do total das APP's delimitadas.

Isto deve-se principalmente ao fato das APP's de topo de morro e de linha de cumeadas representarem 70,89% do total das APP's demarcadas, justamente os locais que apresentam a maior parte da cobertura florestal da bacia, em função, sobretudo, da dificuldade de acesso.

Por outro lado, as APP's de cursos d'água (matas ciliares) e nascentes apresentam 55,56% de suas áreas cobertas por uso antrópico, destacando-se a pastagem ocupando 38,02% da área total.

Este menor índice de cobertura florestal nas APP's dos rios pode ser explicado pelo fato destas áreas tenderem a apresentar relevo mais plano e solos mais férteis, o que favorece a implantação de culturas agrícolas e a ocupação urbana.

Além disso, o histórico de ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Macacu, inicialmente pelo uso agrícola e posteriormente por pastagens, contribuiu de forma substancial para a redução da vegetação natural ao longo das faixas marginais de proteção dos cursos d'água.

Tabela 19: Porcentagens de uso do solo dentro das Áreas de Preservação Permanente da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. Legenda: FSA = Floresta Secundária em estágio avançado de sucessão; FSI = Floresta Secundária em estágio inicial de sucessão; e FSM = Floresta Secundária em estágio Médio de Sucessão.

| Uso | Área (ha) | % |
|---------------------|-----------|--------|
| Afloramento Rochoso | 4,77 | 0,03 |
| Agricultura | 393,54 | 2,65 |
| Área alagável | 22,39 | 0,15 |
| Área Urbana | 376,64 | 2,53 |
| Capoeira | 574,51 | 3,87 |
| Construção | 3,89 | 0,03 |
| Corpo Hídrico | 5,29 | 0,04 |
| FSA | 5230,94 | 35,20 |
| FSI | 1879,44 | 12,65 |
| FSM | 2905,90 | 19,55 |
| Pastagem | 3440,72 | 23,15 |
| Solo Exposto | 22,59 | 0,15 |
| TOTAL | 14860,62 | 100,00 |

A ocupação antrópica nas APP's da bacia evidencia a necessidade de desenvolver ações práticas visando recuperar as áreas descaracterizadas e promover a adequação ambiental da bacia hidrográfica.

Extraíndo-se as informações para os limites das microbacias, verifica-se que das 180 microbacias analisadas, 50 apresentam 100% das suas APP's cobertas por vegetação nativa, estando estas, sobretudo concentradas nas partes altas da bacia hidrográfica, dentro dos limites do Parque Estadual dos Três Picos. Já as microbacias com maior porcentagem de uso conflitante nas APP's situam-se nos setores médio/baixo da bacia hidrográfica e ainda mais próximas aos núcleos urbanos (Figura 75).

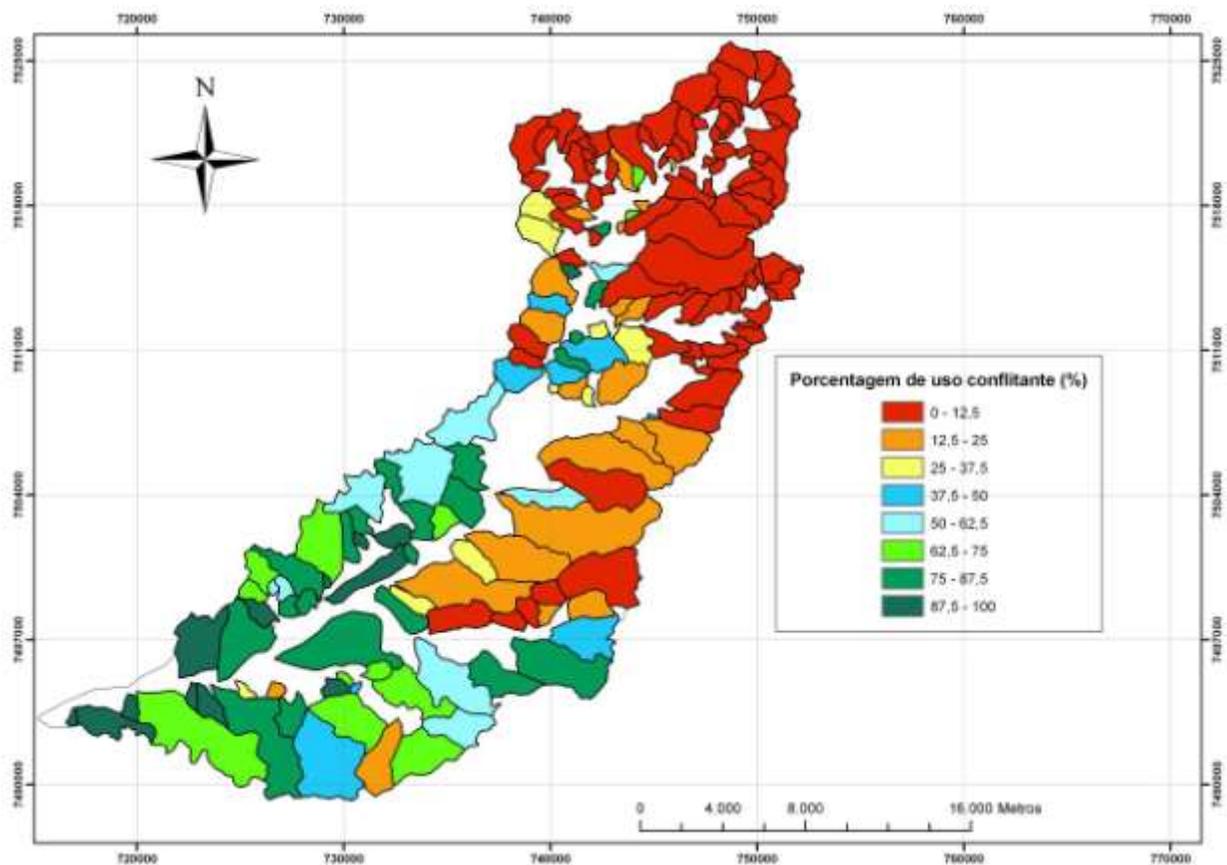


Figura 75: Porcentagem de uso conflitante nas áreas de preservação permanente de cada uma das microbacias analisadas.

Verificou-se que 40 microbacias apresentam mais de 70% de suas APP's descaracterizadas, sendo duas delas (microbacias 104 e 106) com 100% das APP's ocupadas por usos antrópicos.

Após a classificação das microbacias por intervalos de classes (porcentagem de uso incongruente nas APP's), o mapa foi normalizado de forma a priorizar as microbacias que apresentam a maior parte de suas APP's sem vegetação nativa (Figura 76).

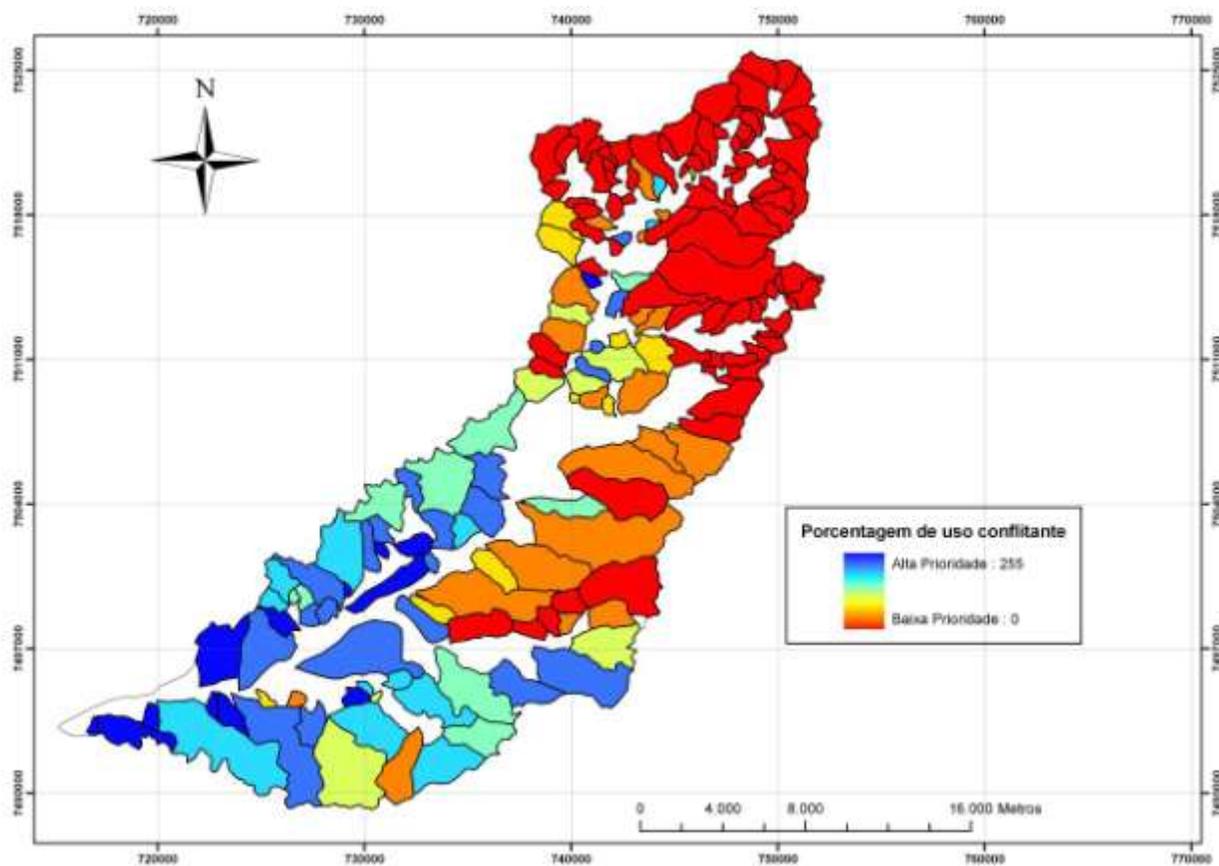


Figura 76: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação ao fator uso conflitante nas áreas de preservação permanente.

O levantamento e o mapeamento dos usos do solo nas APP's das microbacias podem servir como subsídio para a tomada de decisão por parte dos planejadores, sobretudo no que se refere ao direcionamento das ações e no ordenamento urbano.

4.11 Fontes Pontuais de Emissão de Sedimentos

As fontes de emissão de sedimentos podem ser classificadas em difusas e pontuais. As primeiras ocorrem de forma generalizada na bacia e são geradas a partir, sobretudo, da agricultura mal dimensionada e manejada. Já as fontes pontuais de emissão de sedimentos se originam a partir de áreas degradadas, que tiveram suas origens nas atividades de mineração, loteamentos, abertura de estradas, áreas de empréstimo, urbanização desordenada e atividades envolvendo movimentos mecanizados de terra (PINHEIRO, 2004).

A produção acelerada de sedimentos em bacias hidrográficas causa uma série de problemas ambientais, tais como a perda da camada fértil dos solos, o assoreamento dos cursos d'água e reservatórios, a poluição física e química da água prejudicando sua qualidade para o consumo humano, uso industrial e agrícola e aumentando os custos de seu tratamento, além de prejuízos a vida aquática (BRANCO 1998).

Identificou-se dentro da bacia hidrográfica do rio Macacu um total de 1471 fontes pontuais de emissão de sedimentos, distribuídas em toda a sua extensão (Figura 77).

Considerou-se como fontes pontuais de emissão de sedimentos as áreas degradadas, desde pequenas voçorocas (Figura 78) até grandes áreas mineradas e áreas de empréstimo (Figura 79).

Diante deste cenário, torna-se importante a implementação de políticas públicas mais rigorosas, sobretudo no que se refere à obrigatoriedade de recuperação das áreas degradadas. De acordo com VALCARCEL (1994), a ação dos processos erosivos e suas conseqüências ambientais são crescentes à medida que não se assume postura conservacionista imediatamente após a ação degradante, fazendo-se necessário a compatibilização dos cronogramas físicos de exploração ao de recuperação, com o intuito de minimizar os efeitos ambientais gerados pela atividade impactante.

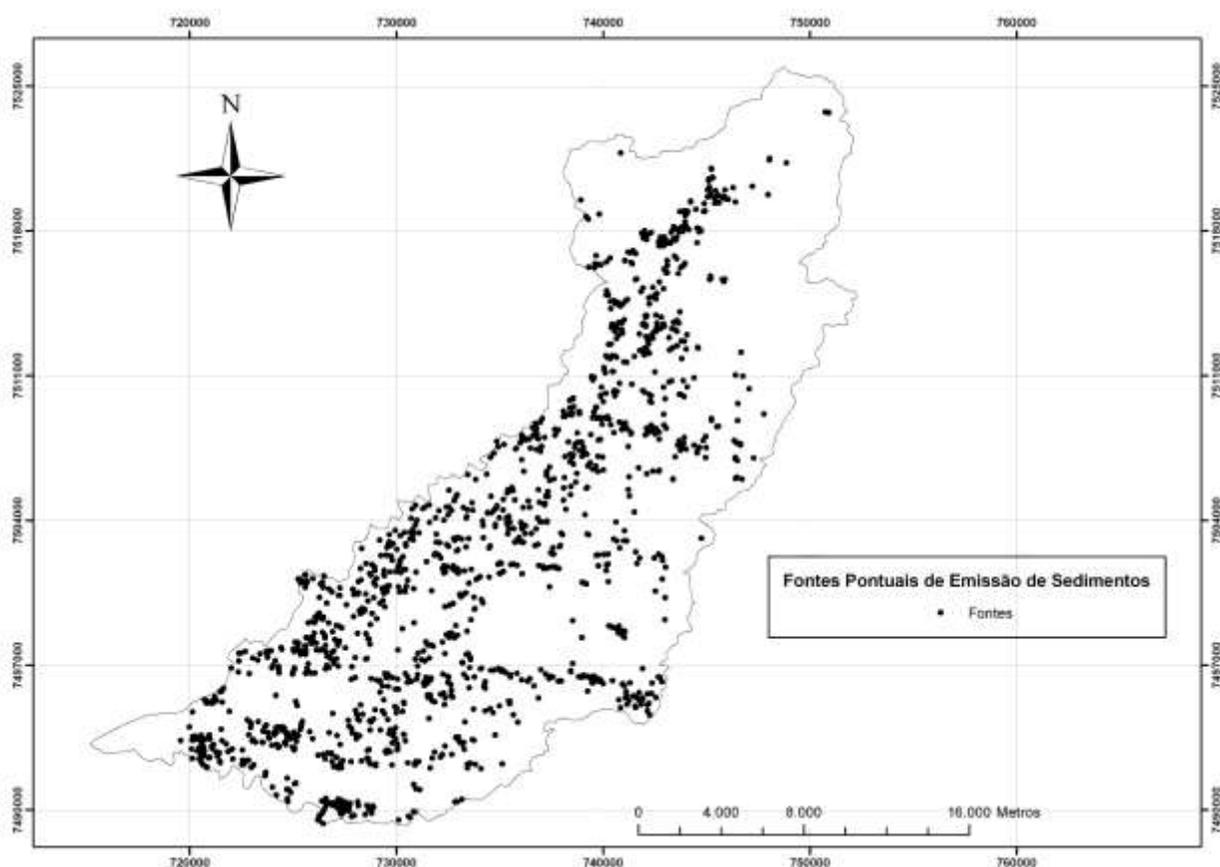


Figura 77: Fontes pontuais de emissão de sedimentos identificadas na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.



Figura 78: Exemplificação de fontes pontuais de emissão de sedimentos, dentro da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. Ravinas e voçorocas.



Figura 79: Exemplificação de fontes pontuais de emissão de sedimentos, dentro da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ. Áreas de mineração e áreas de empréstimos.

Com o intuito de priorizar as microbacias em relação ao fator número de áreas degradadas, contabilizou-se o número de fontes pontuais de emissão de sedimentos dentro de cada uma das 180 microbacias analisadas (Figura 80).

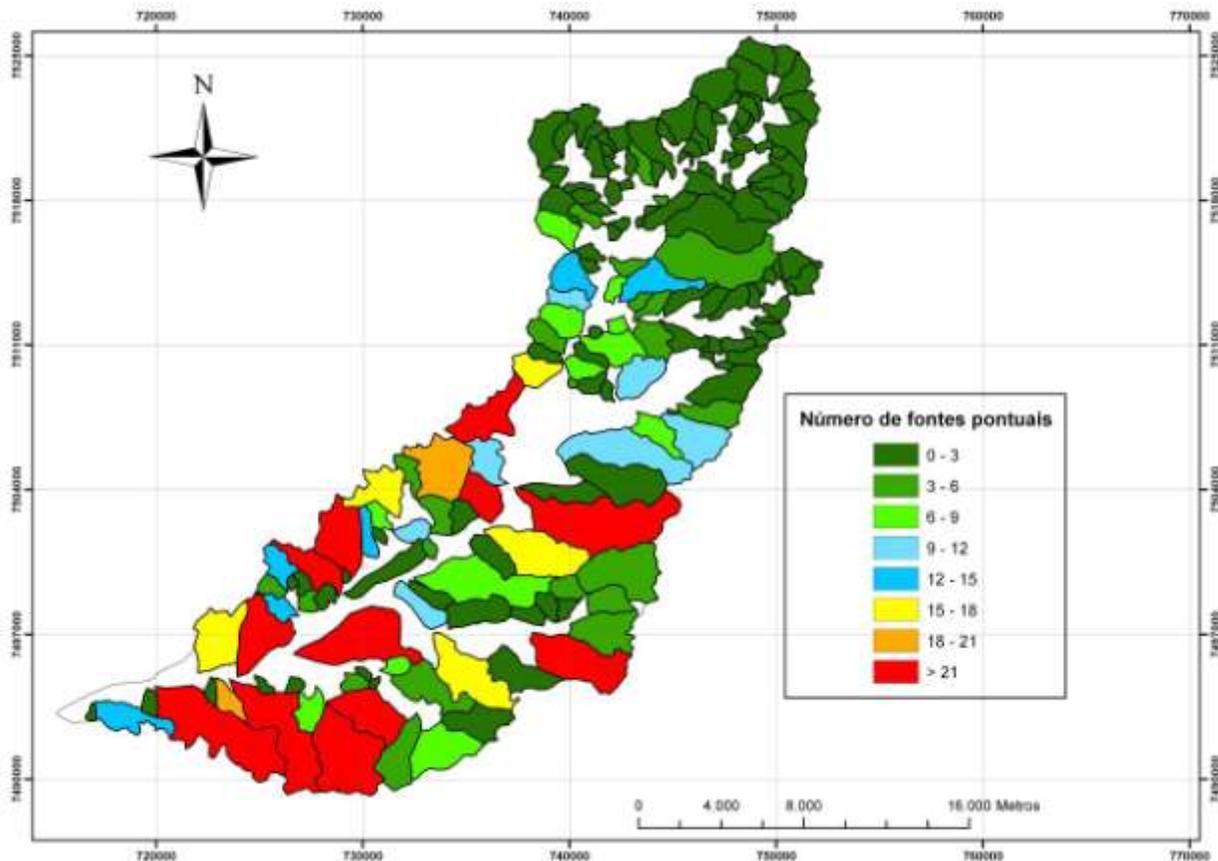


Figura 80: Número de fontes pontuais de emissão de sedimentos de cada uma das microbacias analisadas.

Verifica-se que as microbacias com maior número de áreas degradadas situam-se, principalmente, nas partes baixa e média da bacia hidrográfica, justamente às áreas com maior concentração urbana.

Constatou-se que aproximadamente 39% das microbacias (70 microbacias) não apresentam nenhuma fonte pontual de emissão de sedimentos, sendo todas concentradas nas partes altas da bacia hidrográfica.

As microbacias mais degradadas, ou seja, com o maior número de fontes pontuais, foram as microbacias nº 103, 78 e 100, com respectivamente, 58, 59 e 98 áreas degradadas, situadas estas no terço inferior da bacia hidrográfica.

Para priorizar as microbacias com maior número de áreas degradadas foi atribuído pesos a cada um dos intervalos de classe, conforme explicitado na Tabela 16. Como produto foi gerado um mapa de prioridade entre as microbacias analisadas (Figura 81).

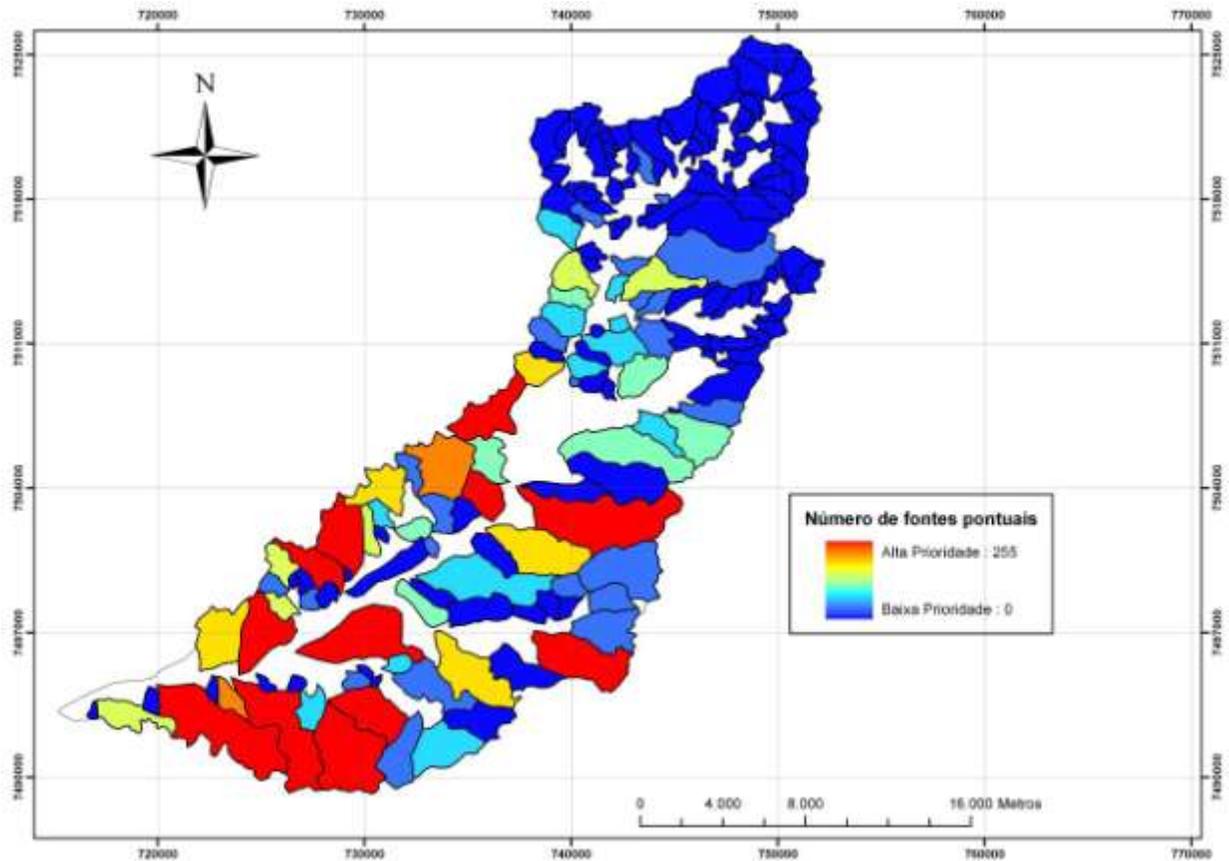


Figura 81: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação ao fator número de fontes pontuais de emissão de sedimentos.

A identificação das áreas degradadas dentro da bacia hidrográfica constitui-se em uma ferramenta útil para seu monitoramento e gerenciamento, minimizando o aporte de sedimentos, a degradação da qualidade da água, bem como os custos de seu tratamento.

No entanto, para surtir os efeitos esperados, torna-se essencial a consolidação de uma política de gerenciamento da bacia hidrográfica do rio Macacu, empregando-se e desenvolvendo-se medidas de controle de erosão, além de ações de monitoramento.

4.12 Distância da Malha Viária e Centros Urbanos

4.12.1 Malha viária

É impossível imaginar a civilização atual sem estradas. Por meio delas são transportadas as safras agrícolas e os insumos e produtos industriais, além disso, são as principais vias de transporte de pessoas em curta e média distância. Por outro lado, as rodovias causam diversos impactos ambientais sobre o meio biótico (BANDEIRA & FLORIANO, 2004).

De acordo com SCOSS *et al.* (2004) pelo fato das estradas subdividirem a paisagem natural, removendo uma porção de habitat, elas inibem a migração e dispersão de espécies e facilita a propagação de distúrbios (por exemplo fogo e poluentes).

Outro impacto importante causado pelas estradas refere-se ao desencadeamento dos processos erosivos.

Segundo RIBEIRO & SALOMÃO (2003) as estradas constituem-se as principais causas da origem e evolução dos processos erosivos, por permitirem o escoamento concentrado das águas de chuva, vertente abaixo. Em estudo desenvolvido pelos mesmos autores na bacia hidrográfica do alto rio da Casca – MT verificou-se que as ravinas mapeadas estavam relacionadas com estradas e trilhas de gado.

Foi gerado o mapa da malha viária da bacia hidrográfica do rio Macacu com o intuito de avaliar a distribuição das estradas e rodovias ao longo da bacia, bem como a distância dos fragmentos florestais em relação às mesmas.

Os fragmentos florestais próximos à malha viária estão sujeitos a fatores negativos, tais como uso inadequado do entorno e maior suscetibilidade ao fogo.

A alocação inadequada das estradas, sem avaliação prévia das características físicas da bacia, culmina na formação de fontes pontuais de produção de sedimentos e conseqüentemente na degradação dos recursos hídricos.

De acordo com VALENTE (2005) a malha viária afeta o ecossistema de forma direta, através da redução das áreas naturais, causada própria presença desta infraestrutura e pela conversão da cobertura florestal em superfícies artificiais e impermeáveis e indiretamente pelos efeitos da fragmentação.

Dessa forma, em termos de conservação e sustentabilidade do ecossistema torna-se importante priorizar as áreas mais distantes da malha viária.

A partir do mapa das estradas e rodovias gerou-se o mapa de distâncias (Figura 82).

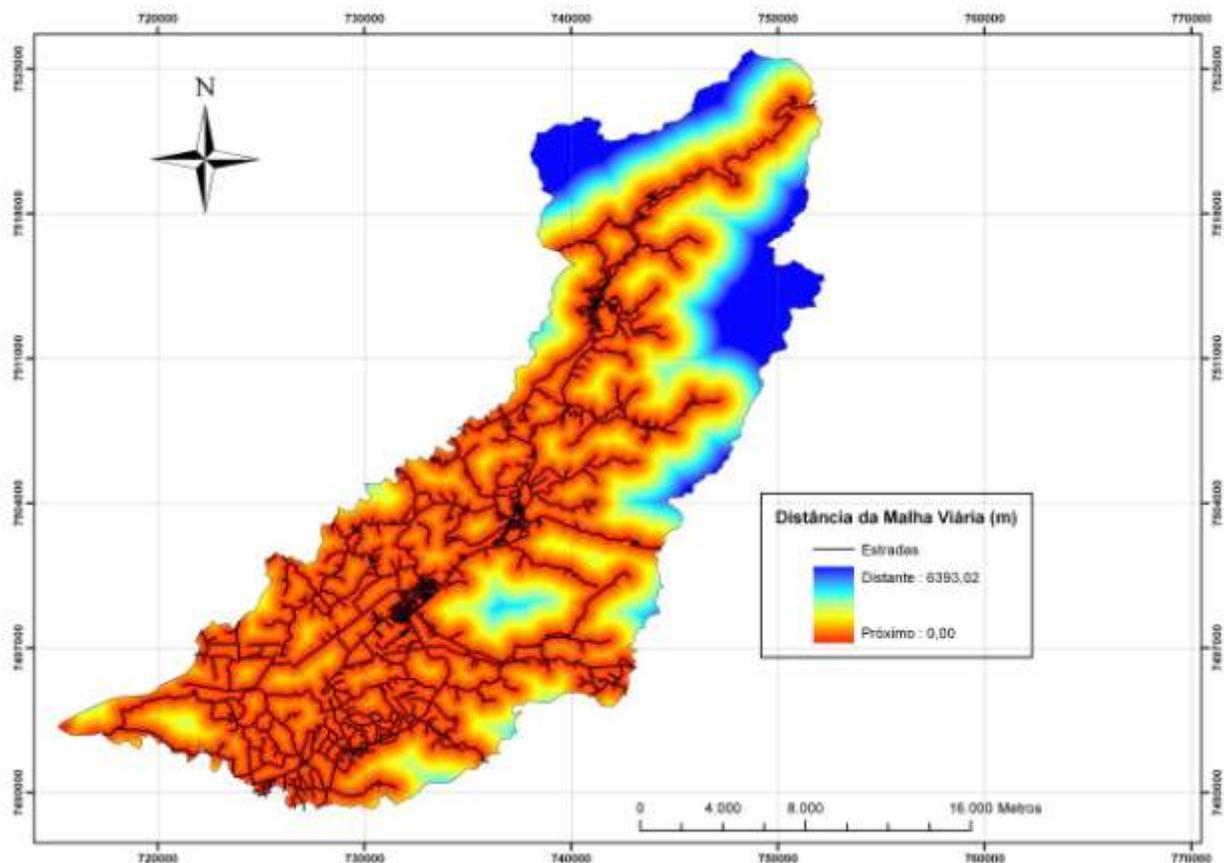


Figura 82: Mapa da malha viária da bacia do rio Macacu e suas distâncias.

Analisando-se o mapa da malha viária da bacia hidrográfica do rio Macacu verifica-se a presença da rodovia RJ-116 que intercepta longitudinalmente à bacia. Esta rodovia liga o município de Itaboraí ao município de Itaperuna no estado do Rio de Janeiro e constitui-se na principal via de escoamento de hortifrutigranjeiros das regiões produtoras para a capital do Estado.

Partindo-se desta rodovia principal, verifica-se a presença de uma extensa malha viária, sobretudo, não-pavimentada que interliga diversas propriedades rurais.

A escala de prioridades entre as microbacias em relação ao fator malha viária encontra-se na Figura 83.

Observa-se que as microbacias consideradas como prioritárias concentram-se nas partes altas da bacia hidrográfica, nos locais mais distantes da rodovia e estradas, locais estes menos vulneráveis aos efeitos negativos destes fatores.

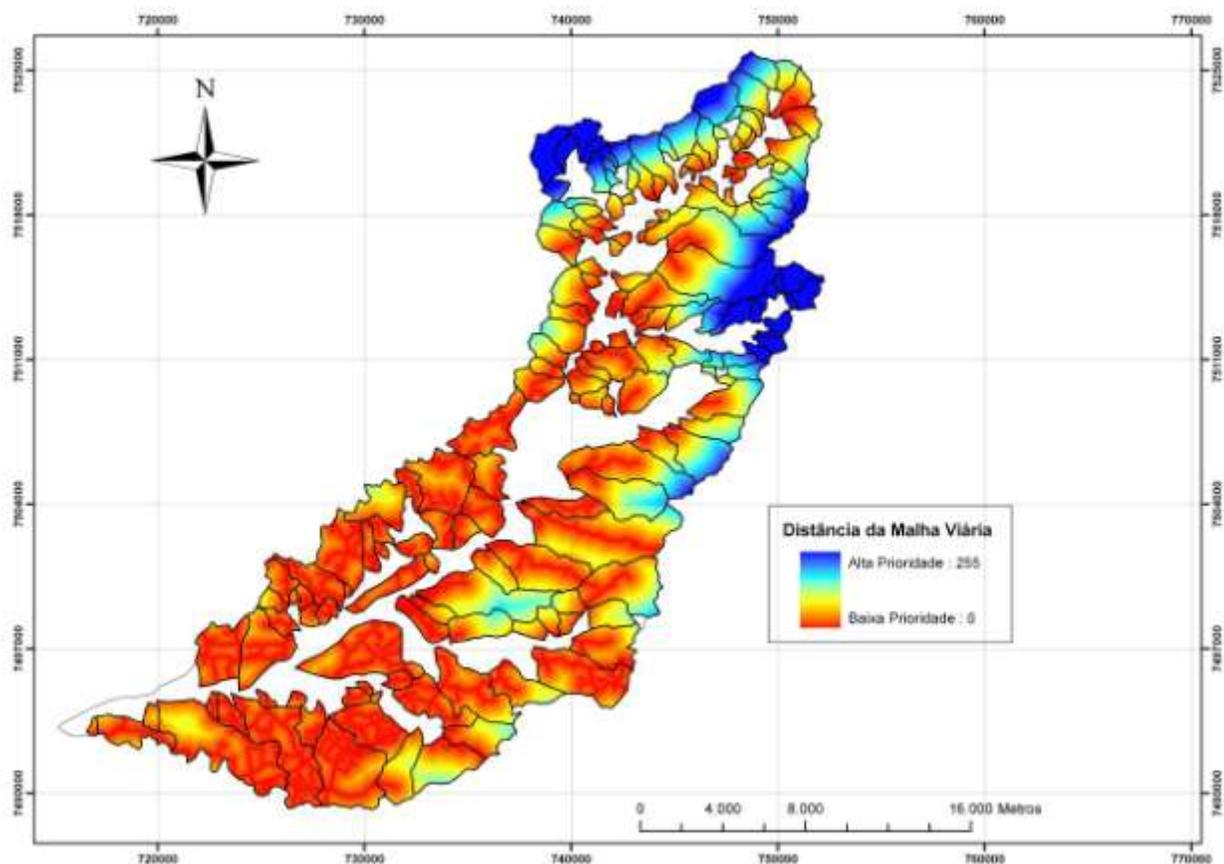


Figura 83: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação ao fator distância da malha viária.

4.12.2 Centros urbanos

Assim como as estradas e rodovias, os centros urbanos constituem-se fontes potenciais de distúrbios aos fragmentos florestais e recursos hídricos.

De acordo com RUFINO (2002) nas proximidades dos grandes centros urbanos, principalmente, os rios, reservatórios, praias e baías encontram-se poluídos em virtude do destino incorreto dado aos esgotos, efluentes industriais e resíduos sólidos.

Historicamente, os centros urbanos instalaram-se próximos os rios e outros corpos hídricos, em função da disponibilidade de água e alimento, além da presença de terrenos com relevo mais suave.

Na bacia do rio Macacu não foi diferente, os núcleos urbanos se desenvolveram, predominantemente, ao longo do curso do rio principal, sobretudo nas regiões de várzea. As distâncias aos centros urbanos foram determinadas tendo por referência o plano de informação centros urbanos (Figura 84).

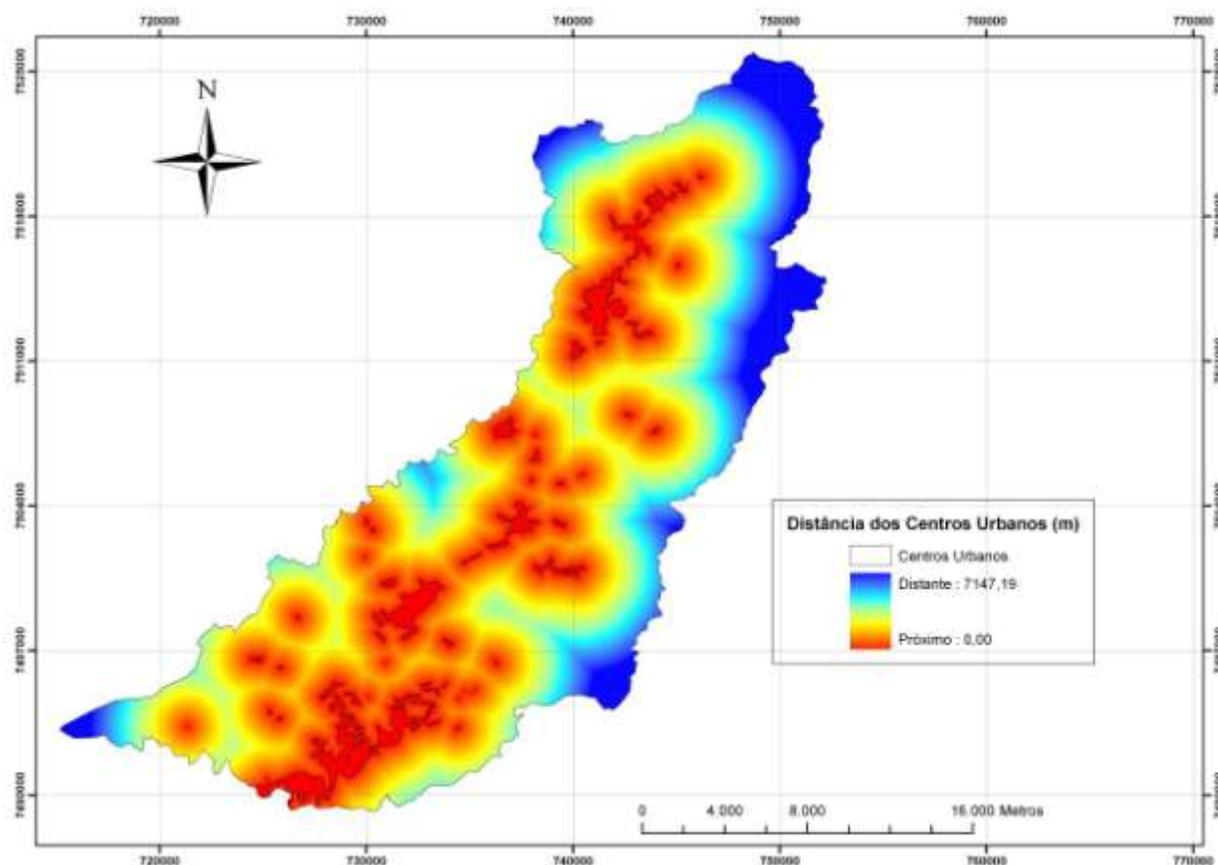


Figura 84: Núcleos urbanos dentro da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

O principal município da bacia hidrográfica é o de Cachoeiras de Macacu, localizada na região noroeste da bacia.

Os primeiros registros de ocupação do território que hoje compõe o município de Cachoeiras de Macacu datam no final do século XVI. Atualmente o município apresenta 56.529 habitantes, tendo como principais atividades econômicas, o turismo, agricultura, pecuária, indústria e comércio local (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2010).

Na parte média da bacia hidrográfica encontram-se os dois distritos do município de Cachoeiras de Macacu, Japuiba e Sapucaia. Já na região sul da bacia verifica-se a presença de um núcleo urbano pertence ao município de Itaboraí.

Para avaliar a prioridade entre as unidades de estudo (microbacias hidrográficas) extraiu-se as informações contidas no mapa de distância aos centros urbanos para os limites das microbacias (Figura 85).

Para a normalização deste mapa empregou-se uma função linear crescente, visando priorizar os setores mais afastados dos núcleos urbanos. Desta forma, quanto maior a distância do centro urbano, maior a importância ou prioridade.

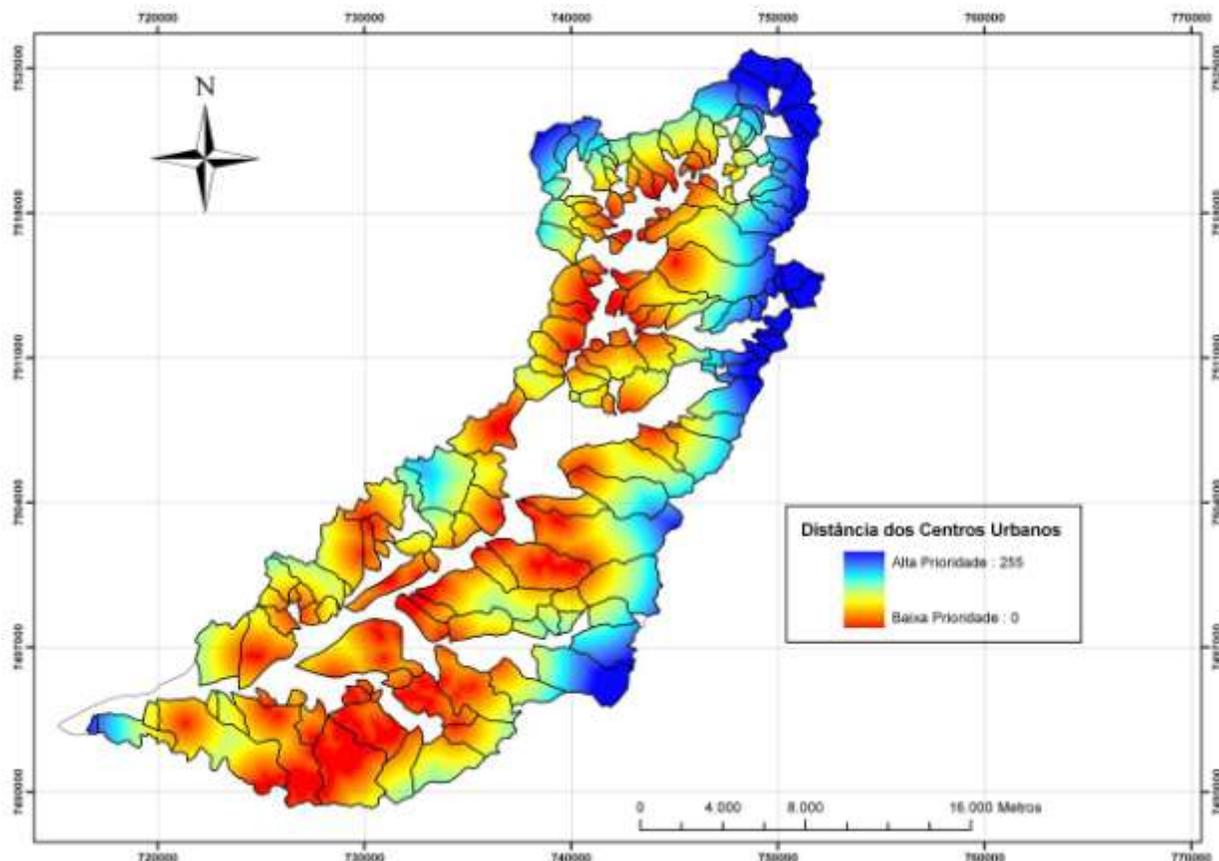


Figura 85: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação ao fator distância dos centros urbanos.

Como os efeitos negativos da distância à malha viária e aos centros urbanos são semelhantes e interligados, ou seja, geram impactos similares, como maior pressão de uso e mais vulnerabilidade ao fogo, gerou-se um mapa final através da integração dos dois planos de informação, por meio de álgebra de mapas, considerando-se o mesmo valor de importância entre eles (Figura 86).

Com o intuito de garantir maior sucesso das ações, priorizou-se as áreas mais distantes das fontes de distúrbio (estradas e centros urbanos).

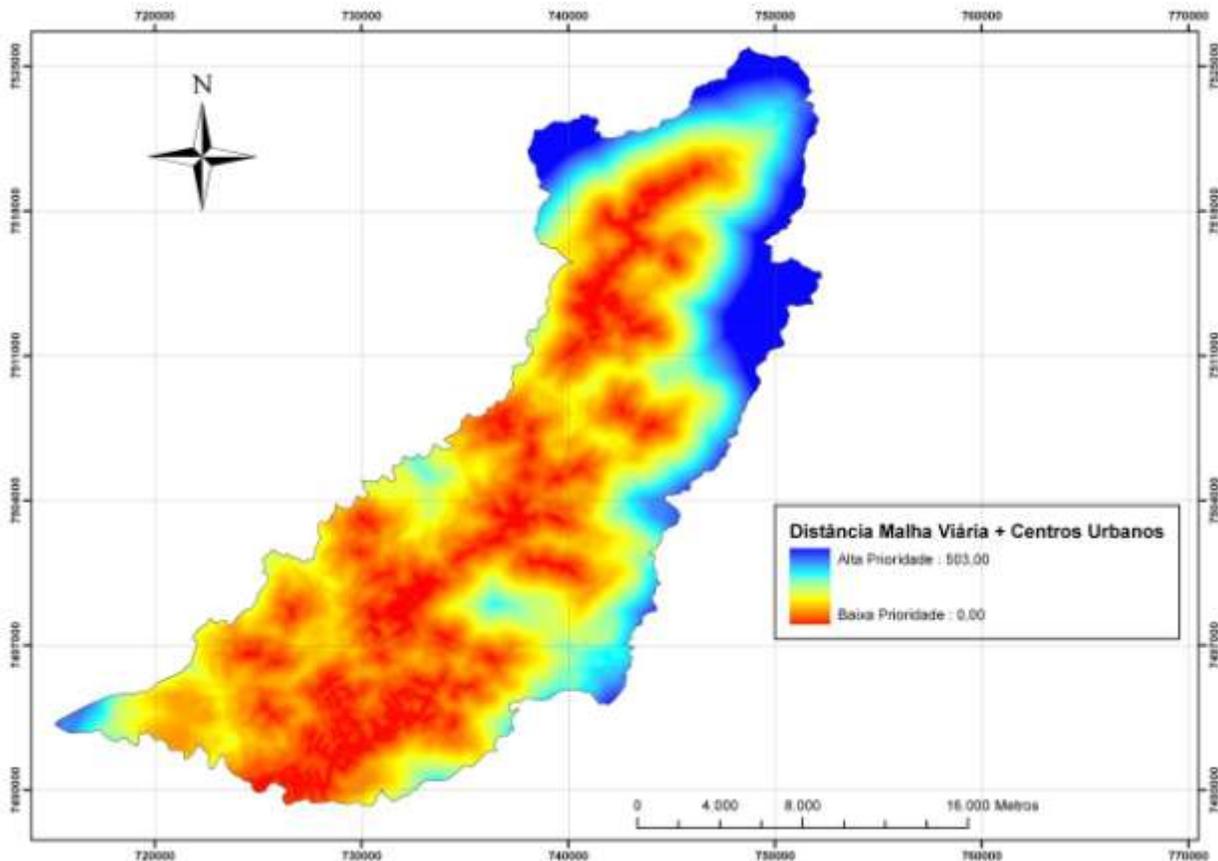


Figura 86: Mapa final de distância da malha viária e centros urbanos na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

De posse deste novo mapa final, efetuou-se a extração das informações para dentro dos limites das microbacias hidrográficas, permitindo a identificação das unidades de estudos prioritárias, bem como os setores mais importantes dentro das mesmas (Figura 87).

Como a maior concentração urbana e conseqüentemente da malha viária concentra-se nos setores baixos e centrais da bacia hidrográfica, as microbacias identificadas como prioritárias encontram-se situadas nas partes mais distantes destas, ou seja, nos setores mais altos da bacia, junto aos seus divisores topográficos.

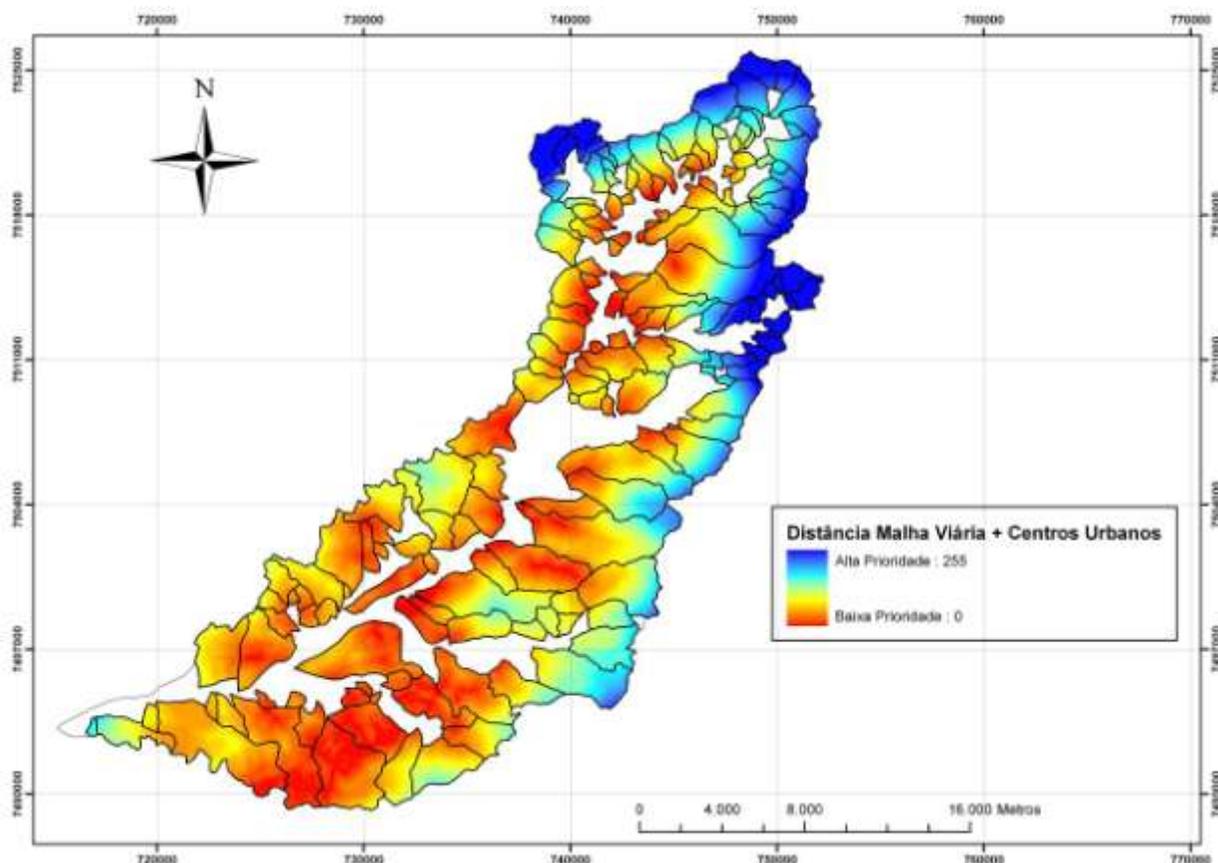


Figura 87: Escala de prioridade (importância) entre as microbacias analisadas, em relação ao fator distância da malha viária e dos centros urbanos.

4.13 Análise Multicriterial: Identificação das Áreas Prioritárias

De posse dos planos de informação de todos os critérios considerados, efetuou-se o cruzamento dos mesmos por meio de análise multicriterial, visando obter o mapa final das áreas prioritárias para recomposição florestal dentro da bacia hidrográfica do rio Macacu.

4.13.1 Ponderação dos pesos

Após a padronização dos fatores, aplicou-se o Método de Combinação Linear Ponderada, que permite atribuir um peso a cada fator. Este peso indica a maior ou menor importância daquele fator no processo de agregação e controla, ainda, como os fatores irão compensar-se mutuamente.

O grau de importância entre os fatores foi obtido comparando-se os valores atribuídos a cada critério por 8 (oito) especialistas das diferentes áreas de atuação do projeto. Foram consultados pesquisadores das áreas de hidrologia, manejo de bacias hidrográficas, ecologia, pedologia e manejo de paisagem.

Solicitou-se ao especialista que o mesmo atribísse valores variando de 1 a 10 para cada um dos critérios, em função da importância que cada um deles exerce no processo de identificação das áreas prioritárias, focando a sustentabilidade ambiental da bacia e a otimização do uso dos recursos hídricos da região, sendo os menores valores os critérios menos importantes

(menos prioritários) e os maiores valores os critérios mais importantes (mais prioritários) aos objetivos do trabalho.

Após a obtenção da média dos valores atribuídos a cada fator por cada especialista, obteve-se uma escala de variação (amplitude) entre os critérios de 4 a 8, ou seja, uma variação de 4 pontos entre o(s) critério(s) considerado(s) menos importante(s) e o(s) critério(s) mais importante(s).

Desta forma, baseando-se na escala contínua de 9 pontos (Figura 19 – item 3.17), que traduz a importância relativa entre os critérios, a valoração entre cada par de fatores foi obtido conforme explicitado na Tabela 20.

Tabela 20: Balizamento para comparação da importância entre os pares de critérios, baseando-se nos valores fornecidos pelos especialistas.

| Diferença entre os valores atribuídos a cada critério | Grau de importância |
|--|--|
| 1 ou -1 | Fracamente (mais importante ou menos importante) |
| 2 ou -2 | Moderadamente (mais importante ou menos importante) |
| 3 ou -3 | Fortemente (mais importante ou menos importante) |
| 4 ou -4 | Extremamente (mais importante ou menos importante) |

Na matriz de comparação pareada, cada célula é preenchida com um valor de julgamento que expressa a importância relativa entre pares de critérios (Tabela 21). Cada elemento da matriz indica quanto o fator da coluna da esquerda é mais importante em relação a cada fator correspondente na linha superior da matriz.

Tabela 21: Matriz de comparação pareada entre os mapas de fatores.

| FATORES | Tamanho fragmentos | Proximidade Fragmentos | Distância dos Centros urbanos | Fatores morfométricos | Usos conflitantes APP | Grau de degradação | Vulnerabilidade a erosão |
|---|--------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------|
| Tamanho dos fragmentos | 0 | | | | | | |
| Proximidade entre Fragmentos | 1/3 | 0 | | | | | |
| Distância da Malha Viária e Centros urbanos e | 1/3 | 1 | 0 | | | | |
| Fatores morfométricos | 3 | 5 | 5 | 0 | | | |
| Usos conflitantes APP | 5 | 7 | 7 | 3 | 0 | | |
| Grau de degradação | 7 | 9 | 9 | 5 | 3 | 0 | |
| Vulnerabilidade a erosão | 7 | 9 | 9 | 5 | 3 | 1 | 0 |

1/3 = fracamente menos importante; 1 = igualmente importante; 3 = fracamente mais importante; 5 = moderadamente mais importante; 7 = fortemente mais importante e 9 = extremamente mais importante.

Observou-se que os critérios considerados menos importantes pelos especialistas foram a proximidade entre os fragmentos florestais e a distância da malha viária e dos centros urbanos, onde estes critérios recebem valor 4. Já os critérios considerados mais relevantes foram: o grau de degradação da microbacia (número de fontes pontuais de emissão de sedimentos) e o fator vulnerabilidade à erosão, cuja média do valor atribuído foi 8.

Os critérios tamanho dos fragmentos florestais, fatores morfométricos e usos conflitantes em APP's receberam valor médio igual a 5, 6 e 7, respectivamente.

Depois de comparar os fatores, dois a dois, foram calculados os pesos para cada um, por meio do método AHP (*Analytical Hierarchy Process*), permitindo obter a importância relativa de um fator em relação aos demais (Tabela 22).

Efetuada os cálculos, verificou-se a razão de consistência, que neste caso foi igual a 0,04, valor menor que o máximo especificado pelo programa (EASTMAN, 1997), e, portanto, aceitável.

Tabela 22: Pesos ponderados obtidos da matriz de comparação pareada.

| Fatores | Pesos |
|---|--------|
| Tamanho Fragmento | 0,0478 |
| Proximidade entre fragmentos | 0,0243 |
| Distância de Centros Urbanos e Estradas | 0,0243 |
| Fatores Morfométricos | 0,0900 |
| Usos conflitantes nas APPs | 0,1678 |
| Grau de degradação | 0,3229 |
| Vulnerabilidade à erosão | 0,3229 |

Corroborando-se com os valores atribuídos pelos especialistas, verifica-se que os fatores *grau de degradação* e *vulnerabilidade à erosão* receberam os maiores pesos ponderados (0,3229 ou 32,29%), seguido pelos fatores *usos conflitantes em APP's* (0,1678 ou 16,78%), *fatores morfológicos* (0,0900 ou 9%), *tamanho do fragmento florestal* (0,0478 ou 4,78%) e *proximidade entre fragmentos florestais e distância da malha viária e dos centros urbanos*, que foram considerados igualmente importantes com peso ponderado igual à 0,0243 ou 2,43%.

A última etapa consistiu na avaliação dos multicritérios, por meio da Combinação Linear Ponderada.

4.13.2 Microbacias prioritárias

Com o cruzamento dos diferentes planos de informação e a atribuição dos pesos para cada um deles obteve-se um mapa que representa uma superfície contínua dos graus de prioridade entre os diferentes setores da bacia hidrográfica (Figura 88).

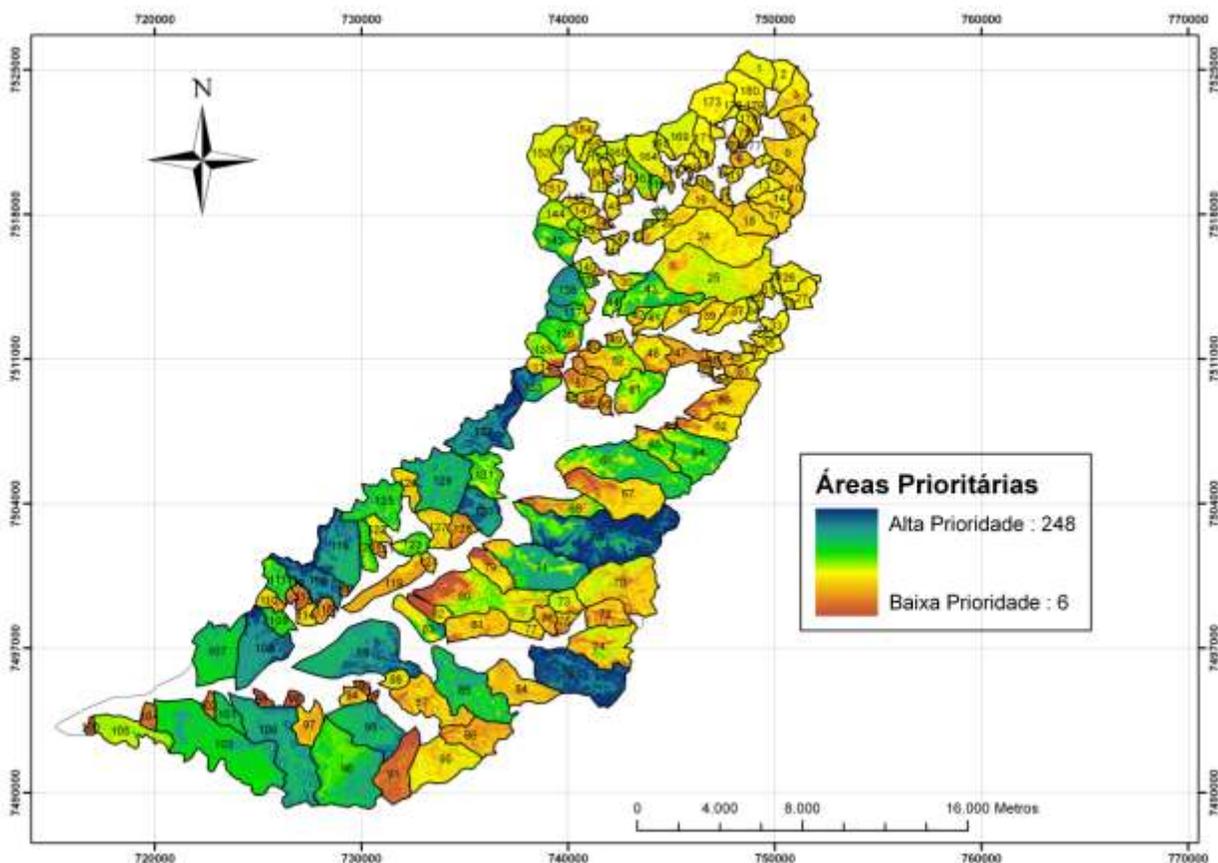


Figura 88: Áreas prioritárias para recomposição florestal na bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

Analisando-se este mapa, verifica-se que é possível identificar os setores mais relevantes (prioritários) dentro das microbacias para serem reflorestados, segundo os critérios determinados para este estudo (Figura 89).

Em termos de manejo de bacias hidrográficas a identificação destes setores é de extrema importância para indicar os locais mais apropriados tecnicamente para aplicação dos recursos financeiros e humanos, visando gerar resultados ecológicos e hidrológicos mais eficientes e com maior probabilidade de sucesso.

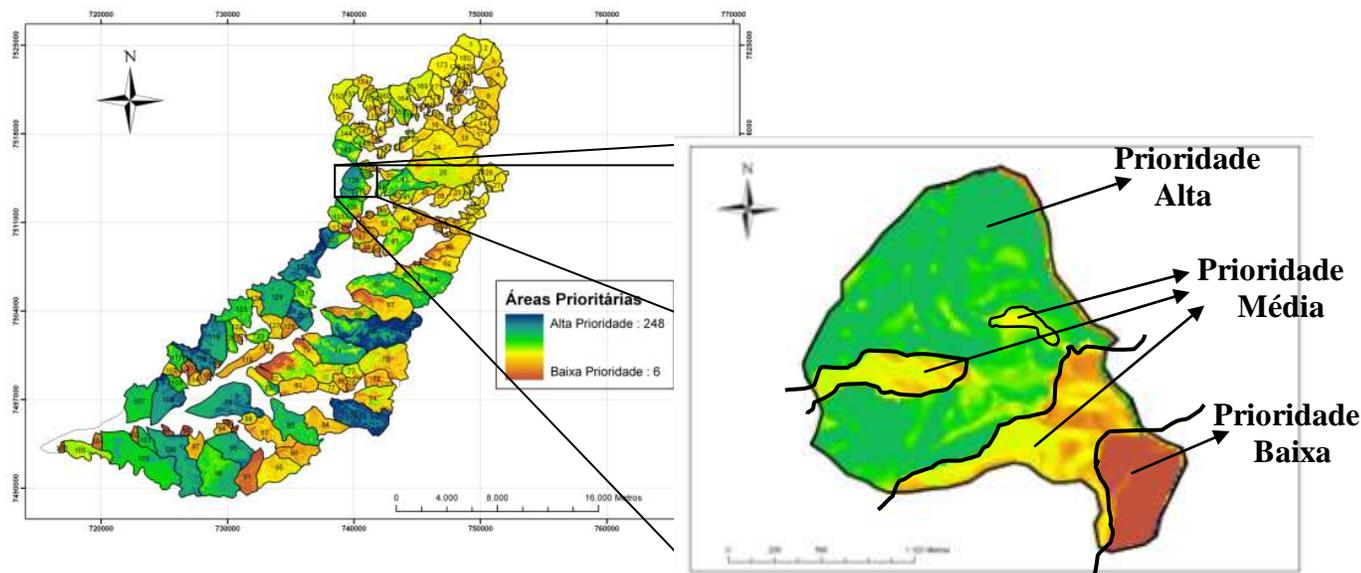


Figura 89: Representação dos graus de prioridade entre os diferentes setores da microbacia hidrográfica (ex.: microbacia nº 138).

Com o intuito de se obter uma escala de prioridade entre as 180 microbacias analisadas extraiu-se a média dos valores no interior de cada uma delas e em seguida reclassificou-se o mapa em 5 (cinco) classes de prioridade (Figura 90).

Com esta classificação verificou-se que 13 microbacias foram enquadradas como de prioridade muito alta e 22 como de prioridade alta (Tabela 23), sendo as mesmas localizadas, sobretudo, nos terços inferior e médio da bacia hidrográfica.

Tabela 23: Microbacias hidrográficas classificadas como de prioridade muito alta e alta.

| Classe de Prioridade | Microbacias Hidrográficas |
|----------------------|--|
| Muito Alta | 69; 78; 89; 95; 100; 108; 116; 118; 129; 130; 132; 133; 138 |
| Alta | 21; 43; 44; 64; 66; 71; 85; 96; 101; 103; 107; 109; 111; 120; 123; 125; 131; 136; 137; 139; 143; 163 |

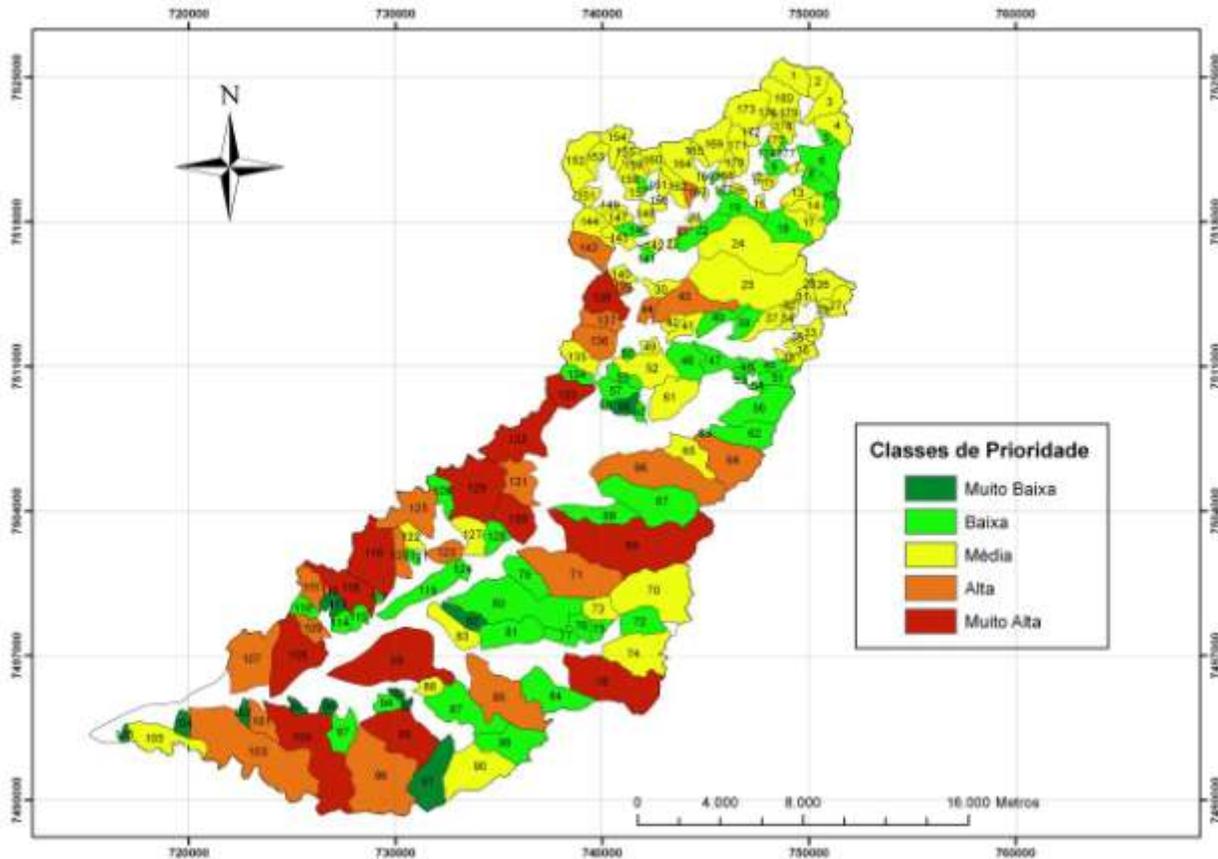


Figura 90: Microbacias prioritárias da bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ.

Para realizar uma caracterização física das microbacias hidrográficas classificadas como de prioridade muito alta e alta, efetuou-se a distribuição de frequência das microbacias em relação aos fatores físicos em 8 (oito) intervalos de classe. Os fatores analisados foram: coeficiente de compacidade, declividade média (%), altitude média (m), orientação, insolação global anual (kwh/m^2) e densidade de drenagem (Figura 91).

Verificou-se que a maior parte das microbacias consideradas como prioritárias (42,86%) apresenta coeficiente de compacidade variando de 1,26 a 1,39, tendendo a apresentar um formato mais arredondado. Em relação à declividade média observa-se que 34,29% das microbacias prioritárias apresentam declividade variando de 11 a 21%, predominando, desta forma, a presença de relevo ondulado, segundo EMBRAPA (1979).

Quanto à altitude média observa-se que 65,71% das microbacias prioritárias situam-se em altitudes até 215 m, conforme demonstrado na Figura 91.

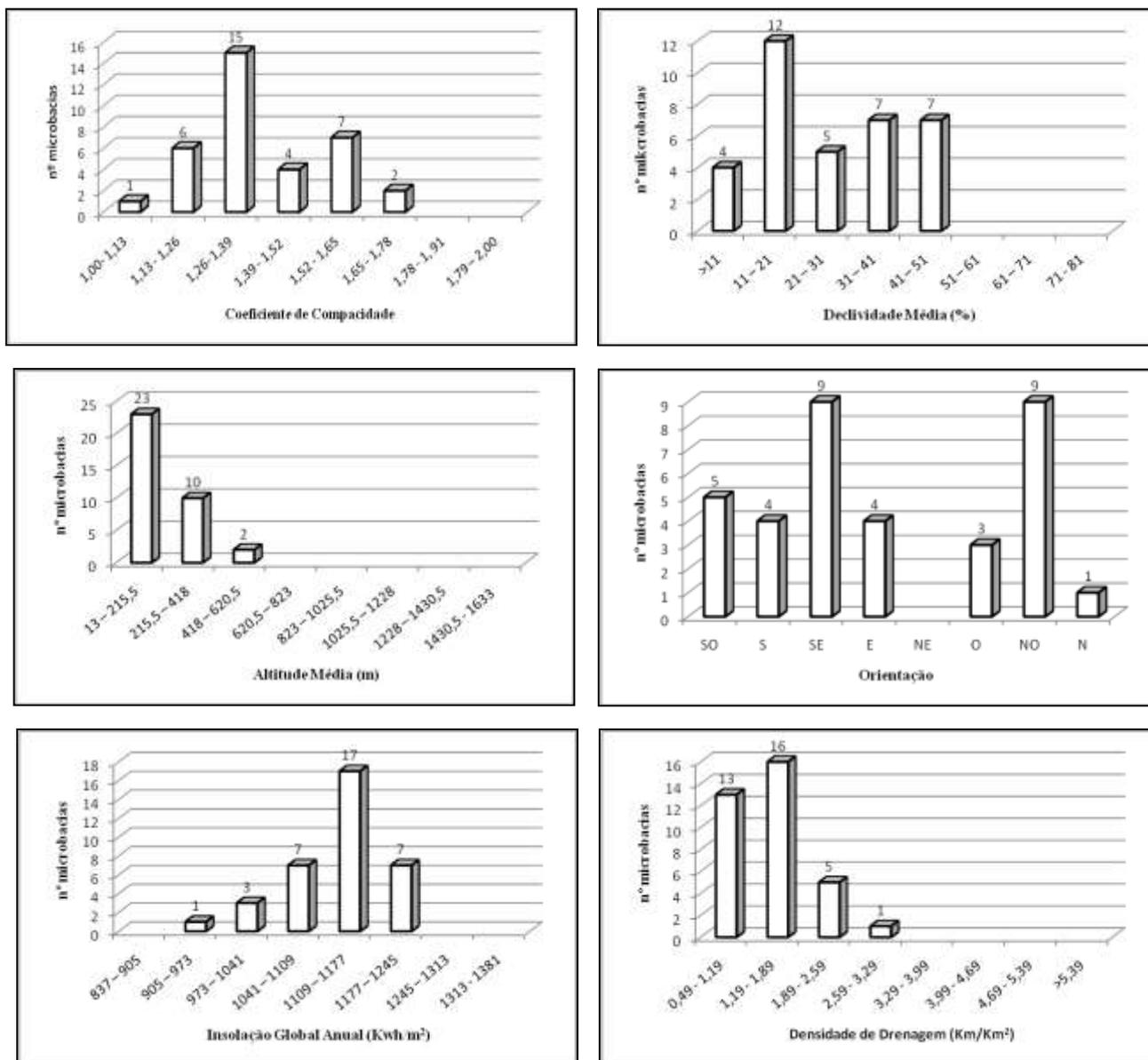


Figura 91: Caracterização física das microbacias hidrográficas classificadas como de prioridades muito alta e alta.

Dentre as microbacias prioritárias verifica-se que as voltadas para as orientações Sudeste e Noroeste são predominantes. No entanto, somando-se o número de microbacias nas diferentes orientações, observa-se que 51,43% apresentam orientação Sul, Sudeste e Sudoeste, enquanto apenas 28,57% estão voltadas para as direções Norte, Nordeste e Noroeste. Neste sentido, constata-se que a maior parte das microbacias classificadas como prioritárias estão orientadas para as direções que propiciam maior oferta de atributos ambientais, incluindo menor radiação solar e maior disponibilidade hídrica.

Para o fator Radiação Solar Global Anual verifica-se que 48,57% das microbacias apresentam radiação variando de 1109 a 1177 kwh/m².

Em relação à densidade de drenagem, observa-se que 82,86 % das microbacias prioritárias apresentam densidade de drenagem variando de 0,49 a 1,89 km/km², indicando a presença de solos mais porosos e, conseqüentemente, sistemas com maior capacidade de infiltração.

De maneira geral, verifica-se que com exceção do fator orientação e densidade de drenagem, a maior parte das microbacias classificadas como prioritárias tendeu a apresentar maior freqüência nos intervalos de classe, onde foram atribuídos os menores pesos para obtenção do mapa final dos fatores morfométricos (item 4.7). Este fato pode ser explicado pela priorização dado pelos especialistas consultados à outros critérios em detrimento ao mapa dos fatores morfométricos, onde verificou-se que o critério fatores morfométricos recebeu peso de apenas 9% de importância, enquanto os fatores grau de degradação (número de fontes pontuais) e uso conflitante em APP's, perfizeram 49,07% da importância entre os critérios.

Dentro deste contexto, verifica-se que como as microbacias localizadas nos setores mais baixos da bacia hidrográfica apresentam maior número de áreas degradadas e maior porcentagem de usos incongruentes em APP's, no mapa final das áreas prioritárias as mesmas foram priorizadas em relação às demais.

Para quantificar a disponibilidade de áreas passíveis de serem reflorestadas dentro das microbacias hidrográficas identificadas como prioritárias (classes de prioridade muito alta e alta), levantou-se a área coberta por usos antrópicos (pastagens, agriculturas, silvicultura e solo exposto), com exceção dos centros urbanos e construções, dentro de cada unidade de estudo (microbacia).

Dentro das microbacias classificadas como de prioridade muito alta quantificou-se uma área aproximada de 5165 ha (60,86% do total) coberta por atividades antrópicas, sendo 4721 ha (55,63%) ocupados por pastagens, em sua maioria, exauridas e degradadas. A cobertura florestal em diferentes estágios sucessionais ocupa apenas aproximadamente 27,22% da área total destas microbacias.

Para as microbacias enquadradas como de prioridade alta verificou-se que 4215 ha (49,68% do total) são passíveis de serem reflorestados, sendo 4025 ha (47,44%) cobertos por pastagens em diferentes graus de degradação. Os fragmentos florestais ocupam aproximadamente 36,2% da área total das microbacias.

Estas áreas de pastagens subutilizadas poderiam, por meio de políticas públicas eficientes, serem indicadas para a recomposição florestal, visando gerar resultados hidrológicos mais consistentes para a região. A implementação de programas de adequação ambiental das propriedades rurais, por meio da determinação de suas reservas legais, bem como suas áreas de APP's poderiam solucionar em parte esta questão.

O resumo dos usos do solo presentes dentro das microbacias hidrográficas classificadas como prioritárias encontram-se na Tabela 24.

Tabela 24: Uso do solo nas microbacias hidrográficas prioritárias. Legenda: FSA = Floresta Secundária em estágio avançado de sucessão; FSI = Floresta Secundária em estágio inicial de sucessão; e FSM = Floresta Secundária em estágio Médio de Sucessão.

| Usos | Área (ha) | % |
|---------------|-----------|--------|
| Agricultura | 459,10 | 2,71 |
| Área alagável | 98,73 | 0,58 |
| Área Urbana | 1089,78 | 6,42 |
| Capoeira | 976,38 | 5,75 |
| Construção | 9,25 | 0,05 |
| Corpo Hídrico | 35,50 | 0,21 |
| FSA | 345,53 | 2,04 |
| FSI | 2639,17 | 15,55 |
| FSM | 2396,72 | 14,12 |
| Pastagem | 8746,34 | 51,54 |
| Silvicultura | 1,48 | 0,01 |
| Solo Exposto | 173,49 | 1,02 |
| Total | 16971,48 | 100,00 |

Verificou-se que as Áreas de Preservação Permanente das microbacias prioritárias totalizam 3.712 ha, sendo 47,27% (1.754,72 ha) ocupadas por usos antrópicos, destacando-se a pastagem que cobre 41,60% (1544,19 ha) do total (Tabela 25).

Em função da comprovada importância das APP's no equilíbrio dos ecossistemas terrestres e aquáticos, a revegetação destas áreas legalmente protegidas devem ser incentivadas e priorizadas.

Tabela 25: Usos do solo nas Áreas de Preservação Permanente das microbacias hidrográficas prioritárias. Legenda: FSA = Floresta Secundária em estágio avançado de sucessão; FSI = Floresta Secundária em estágio inicial de sucessão; e FSM = Floresta Secundária em estágio Médio de Sucessão.

| Usos | Área (ha) | % |
|---------------|-----------|--------|
| Agricultura | 58,01 | 1,56 |
| Área alagável | 21,92 | 0,59 |
| Área Urbana | 139,25 | 3,75 |
| Capoeira | 163,08 | 4,39 |
| Construção | 1,03 | 0,03 |
| Corpo Hídrico | 2,55 | 0,07 |
| FSA | 60,66 | 1,63 |
| FSI | 808,23 | 21,77 |
| FSM | 901,06 | 24,27 |
| Pastagem | 1544,19 | 41,60 |
| Solo Exposto | 12,25 | 0,33 |
| Total geral | 3712,23 | 100,00 |

Os investimentos financeiros e a instalação de grandes empreendimentos na macrobacia hidrográfica da Baía da Guanabara nos últimos anos, em função de investimentos privados e públicos, como o Programa de Aceleração do Crescimento - PAC do governo federal têm demandado um quantitativo alto de áreas para o cumprimento de medidas compensatórias e de Reposição Florestal originadas de condicionantes do processo de licenciamento ambiental. No entanto, o poder público ainda não possui critérios técnicos consolidados para indicar as áreas prioritárias a serem reflorestadas.

Como exemplo, tem-se dois grandes empreendimentos que estão sendo implantados na bacia hidrográfica do rio Macacu, o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro – COMPERJ e o Gasoduto Cabiúnas-Reduc (GASDUC III). Estes dois empreendimentos demandam uma extensa área de plantio à título de medidas compensatórias e mitigadoras (mais de 4000 ha). Entretanto, verifica-se uma grande dificuldade na seleção das áreas mais adequadas para o cumprimento destas condicionantes.

Neste sentido, o presente estudo pode auxiliar no planejamento e desenvolvimento de políticas públicas voltadas para esta questão, uma vez que se tem identificado as áreas mais apropriadas para a implantação de projetos de recomposição florestal, levando-se em consideração conceitos teóricos e fatores considerados importantes no processo hidrológico e ecológico de bacias hidrográficas.

Outra possível contribuição do estudo refere-se à identificação de áreas prioritárias para a implantação de projetos de pagamentos de serviços ambientais – PSA, no qual proprietários rurais são incentivados a contribuir para a proteção e recuperação de remanescentes florestais, por meio do modelo provedor-recebedor. No estado do Rio de Janeiro a política de pagamentos de serviços ambientais está em processo inicial. O projeto piloto Produtores de Águas e Florestas implantado pelo Instituto Terra de Preservação Ambiental em parceria com o governo do estado (SEA/INEA) e outras instituições, tem dado os primeiros passos na direção do resgate e manutenção de serviços ambientais gerados pelas florestas. Assim, a indicação de áreas prioritárias consiste em uma ferramenta importante neste processo, focando as ações para os setores hidrológica e ecologicamente mais adequados e indicando as propriedades rurais mais relevantes para serem intervencionadas pelas ações de manejo.

Atualmente, os incipientes estudos voltados para a identificação de áreas prioritárias para recomposição florestal em bacias hidrográficas utilizam um número reduzido de critérios (fatores), sendo estes voltados, primordialmente, para a conectividade dos fragmentos florestais, visando à formação de corredores ecológicos. Com isso, torna-se necessário o desenvolvimento de estudos capazes de agregar novos fatores relevantes não só para identificar as “lacunas” entre os remanescentes florestais, mas também fatores ligados à hidrologia em bacias hidrográficas, visando otimizar a quantidade de água produzida, bem como sua qualidade.

Neste sentido, o presente trabalho incorporou além de fatores relacionados ao manejo da paisagem (conectividade e tamanho dos fragmentos florestais), critérios ligados a questão da qualidade da água (vulnerabilidade à erosão e fontes pontuais de emissão de sedimentos) e quantidade da água (fatores morfométricos).

A adoção dos fatores morfométricos na análise permite direcionar as ações de reflorestamento para os setores capazes de melhor administrar a água no sistema, além de garantir maior probabilidade de sucesso dos plantios, em função de indicar áreas com maior oferta de atributos ambientais e menos suscetíveis ao fogo, que atualmente, constitui-se um dos fatores mais preocupantes na etapa de manutenção dos projetos de recomposição florestal.

A maior parte dos projetos de reflorestamento aprovados pelo poder público exige um período de manutenção dos plantios raramente superior a 4 (quatro) anos, que na escala biológica

não mostra-se suficiente para garantir a sustentabilidade do reflorestamento ao longo do tempo. Assim, a implantação de ações nos setores mais “resilientes” da bacia aumentam as chances de sucesso dos plantios.

No entanto, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas e experimentos de campo, com o intuito de validar as propostas metodológicas indicadas.

4.14 Análise de Agrupamento e Componentes Principais

Com o intuito de sumarizar um possível padrão de agrupamento entre as microbacias hidrográficas analisadas, sobretudo, aquelas classificadas como de prioridade muito alta e alta, efetuou-se a análise de *cluster* (agrupamento).

Em função do grande número de microbacias hidrográficas e da heterogeneidade (variabilidade) dos dados utilizados para agrupá-las, efetuou-se um corte em 25% de distância euclidiana no intuito de explicitar três grandes grupos de microbacias (Figura 92).

A formação desses três grandes grupos de microbacias hidrográficas denota a existência de características físicas mais similares entre os locais do mesmo grupo. Para facilitar a discussão dos resultados, os grupos foram nomeados em Grupo I, II e III, conforme demonstrado Figura 92.

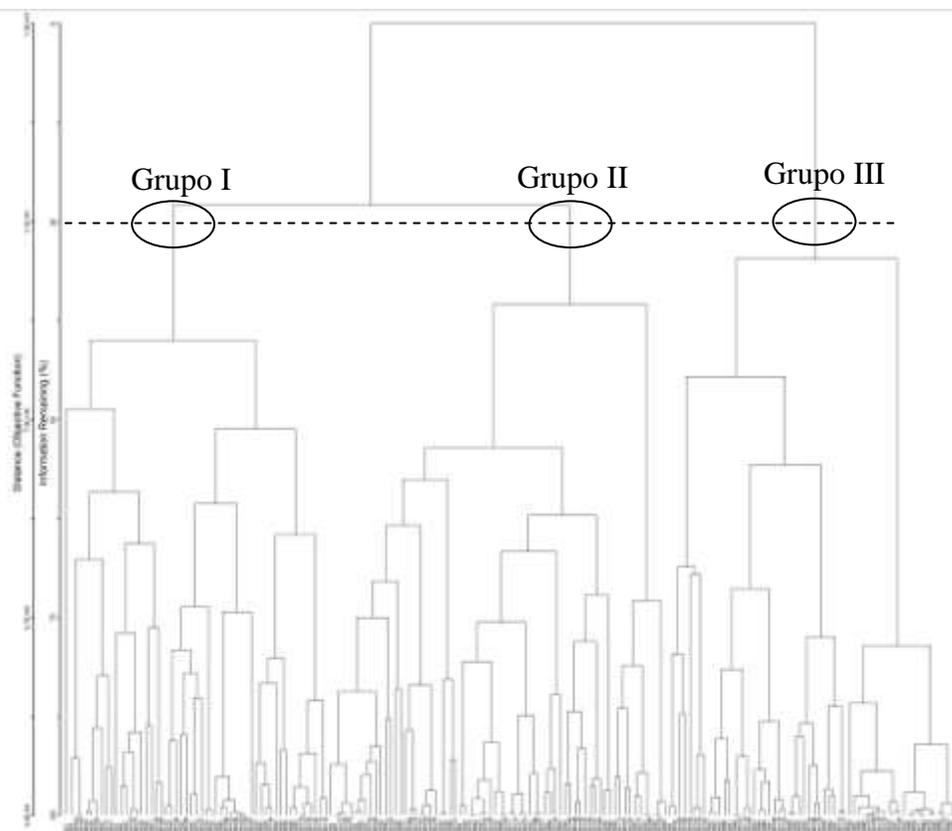


Figura 92: Dendrograma de agrupamento das microbacias hidrográficas da bacia do rio Macacu/RJ.

Verifica-se que todas as 13 microbacias classificadas como de prioridade muito alta, encontram-se no Grupo III, indicando que as mesmas apresentam semelhanças entre suas características morfométricas.

As microbacias classificadas como de prioridade alta se distribuíram nos três grupos, porém com predominância também no Grupo III (59,09%), seguido pelos Grupos I e II, com, respectivamente, 36,36% e 4,55%.

A Análise de Componentes Principais possibilitou explorar como as 180 microbacias estão distribuídas na paisagem em função das 9 variáveis ambientais usadas nas análises, permitindo identificar eventuais variáveis mais importantes para determinar o padrão encontrado na análise de agrupamento.

No processamento dos dados, os três primeiros componentes principais captaram aproximadamente 66,57% da variância dos dados originais (Tabela 26).

Tabela 26: Percentual da variação total explicada pelas componentes principais.

| Eixos | Eigenvalue | % da Variância | % Variância Acumulada |
|-------|------------|----------------|-----------------------|
| 1 | 3,144 | 34,937 | 34,937 |
| 2 | 1,548 | 17,197 | 52,134 |
| 3 | 1,299 | 14,434 | 66,568 |
| 4 | 1,135 | 12,615 | 79,183 |
| 5 | 0,814 | 9,046 | 88,229 |
| 6 | 0,416 | 4,618 | 92,847 |
| 7 | 0,361 | 4,010 | 96,858 |
| 8 | 0,169 | 98,731 | 98,731 |
| 9 | 0,114 | 100,000 | 100,000 |

Esses resultados foram considerados significantes segundo um teste de aleatorização (onde $p < 0,001$ para os três eixos – 5000 iterações) e as regras de interpretação sugeridas por PERES-NETO *et al.* (2005) (Tabela 27).

Tabela 27: Teste de aleatorização (5000 iterações).

| Eixos | Eigenvalue reais | Mínimo | Média | Máximo | p |
|-------|------------------|---------|---------|---------|----------|
| 1 | 3,1443 | 1,1950 | 1,3561 | 1,6565 | 0,000200 |
| 2 | 1,5478 | 1,0982 | 1,2344 | 1,4072 | 0,000200 |
| 3 | 1,2991 | 1,0276 | 1,1416 | 1,2903 | 0,000200 |
| 4 | 1,1353 | 0,94699 | 1,0610 | 1,1795 | 0,012797 |
| 5 | 0,81412 | 0,87287 | 0,98751 | 1,0982 | 1,000000 |
| 6 | 0,41564 | 0,80675 | 0,91782 | 1,0366 | 1,000000 |
| 7 | 0,36093 | 0,71061 | 0,84665 | 0,95566 | 1,000000 |
| 8 | 0,16858 | 0,62386 | 0,77094 | 0,90962 | 1,000000 |
| 9 | 0,11424 | 0,50885 | 0,68395 | 0,83250 | 1,000000 |

A ordenação das microbacias e das características físicas é apresentada na Figura 93.

Verifica-se que a característica física mais fortemente correlacionada positivamente com o primeiro eixo de ordenação foi a radiação solar e as variáveis mais fortemente correlacionadas negativamente com este eixo foram: precipitação, declividade média, altitude média e orientação. No segundo eixo observa-se que as características mais relevantes foram: coeficiente de compacidade, altitude média e área, que se correlacionam positivamente com o eixo (Tabela 28).

Visando avaliar quais as variáveis mais determinantes nos agrupamentos das microbacias classificadas como de prioridades muito alta e alta, as mesmas foram destacadas no diagrama de ordenação (círculo vermelho as microbacias de prioridade muito alta e círculo verde as microbacias de prioridade alta) (Figura 93).

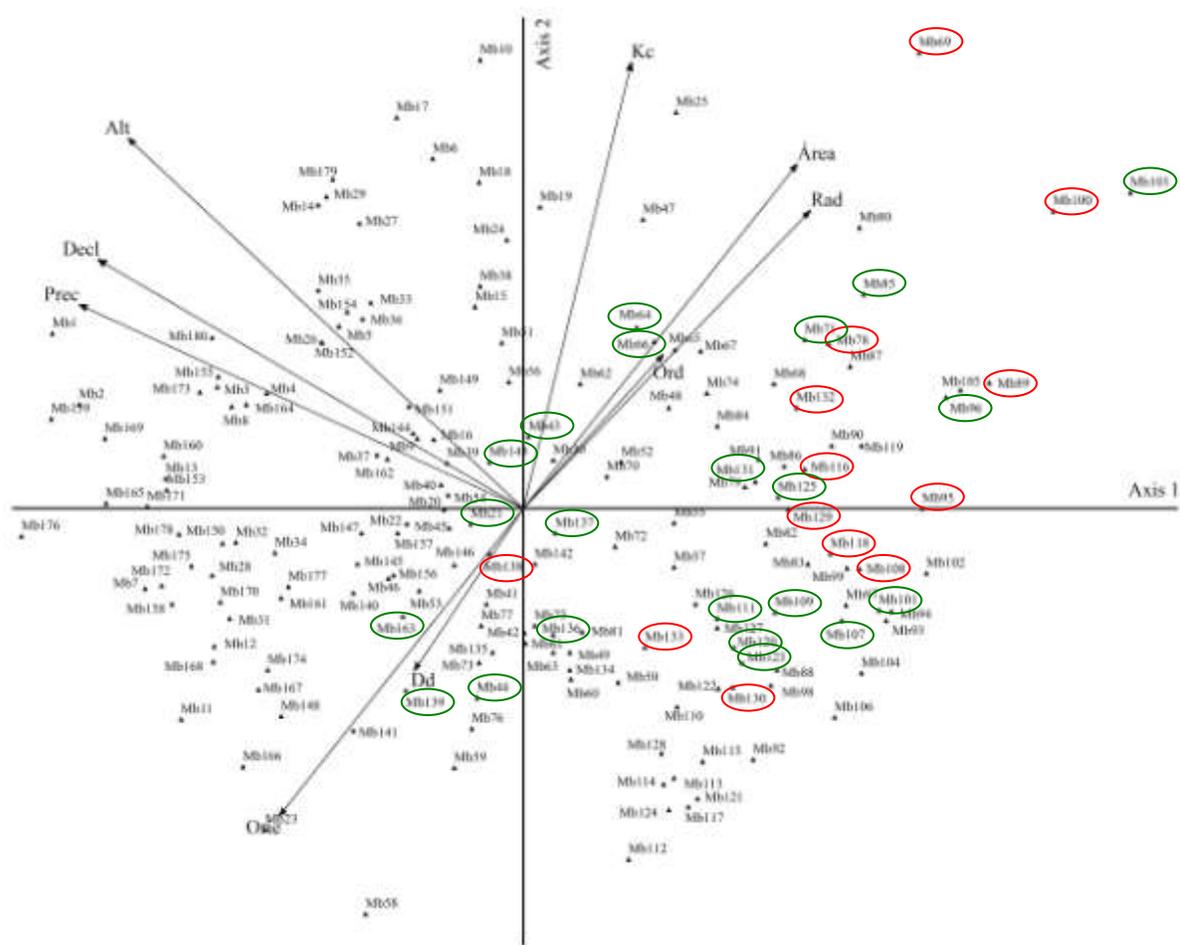


Figura 93: Diagrama de ordenação dos parâmetros físicos e das microbacias analisadas. Onde: Dd=densidade de drenagem; Ori=orientação; Decl=declividade média; Prec=precipitação; Alt=altitude média; Kc=coeficiente de compacidade; Ord=ordem e Rad=radiação solar global anual. Círculo vermelho= microbacias classificadas como de prioridade muito alta. Círculo verde=microbacias classificadas como de prioridade alta.

Tabela 28: Coeficientes de correlação linear entre as variáveis originais e os dois primeiros componentes principais.

| Variável | Eixo 1 | Eixo 2 |
|-----------------------------|---------|---------|
| Área | 0,5453 | 0,4812 |
| Coefficiente de Compacidade | 0,2157 | 0,6245 |
| Densidade de Drenagem | -0,2164 | -0,2265 |
| Ordem | 0,2783 | 0,2154 |
| Declividade Média | -0,8458 | 0,3481 |
| Altitude Média | -0,7863 | 0,5174 |
| Radiação Solar Global Anual | 0,5714 | 0,4168 |
| Orientação | -0,4861 | -0,4295 |
| Precipitação | -0,8830 | 0,2852 |

De maneira geral, observa-se a predominância das microbacias de prioridade muito alta nos quadrantes inferior e superior direito. As microbacias de prioridade alta também apresentam esta tendência, indicando uma relativa sobreposição entre estas duas classes de prioridade, com conseqüente homogeneidade entre as mesmas (como indicado na análise de agrupamento).

As microbacias prioritárias situadas no quadrante superior direito são diretamente influenciadas pelas variáveis radiação solar, área, ordem (hierarquia fluvial) e coeficiente de compacidade, enquanto as localizadas no quadrante inferior direito apresentam relação inversa aos fatores altitude, declividade e precipitação.

Observa-se uma sobreposição dos efeitos entre as variáveis precipitação, declividade e altitude, indicando uma possível correlação entre as mesmas.

Esta correlação está explicitada na Figura 94, onde percebe-se uma tendência de aumento da precipitação e da declividade, conforme o aumento altitudinal. Esta relação entre as variáveis é claramente demonstrada no mapa de isoietas e mapa de declividade da bacia (Figuras 13 – p.27 e 26 – p.47).

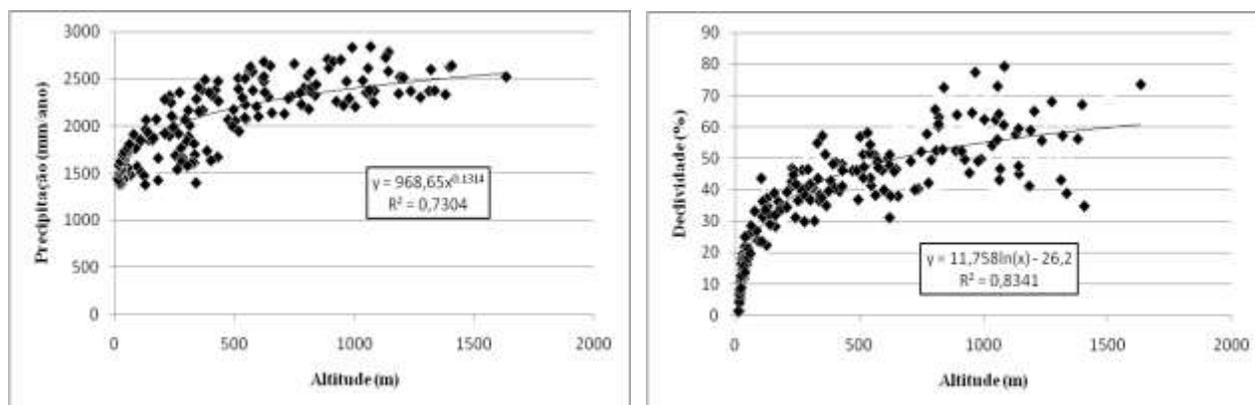


Figura 94: Correlação entre a variável altitude e as variáveis precipitação e declividade.

Nas áreas mais altas da bacia hidrográfica observa-se a presença de relevo escarpado, que condiciona por sua vez um aumento na declividade das encostas e uma intensificação do efeito orográfico, com conseqüente aumento nas taxas de precipitação.

As variáveis área e ordem (hierarquia fluvial), também se mostram correlacionadas entre si, fato este evidenciado pela aproximação entre as mesmas, onde verifica-se uma tendência de aumento da ordem das microbacias, a medida que suas áreas aumentam.

Como conclusão da interpretação da ACP observa-se que não foi possível identificar um nítido agrupamento das microbacias prioritárias, no entanto, verificou-se uma tendência de concentração das mesmas à direita do diagrama, indicando que grande parte das microbacias prioritárias tende a apresentar maiores valores de radiação solar e menores valores de altitude, declividade e precipitação. Com o intuito de verificar esta tendência, efetuou-se uma análise dos dados brutos de cada uma das microbacias e, posteriormente, realizou-se a comparação entre as médias dos fatores obtidas nas microbacias prioritárias em relação à média de todas as unidades de estudo (Tabela 29).

Tabela 29: Análise comparatória entre as microbacias hidrográficas.

| Variáveis | Média das microbacias prioritárias | Média de todas as microbacias |
|----------------------------|---|--------------------------------------|
| Área | 309,16 | 218,13 |
| Coeficiente de Compacidade | 1,38 | 1,32 |
| Densidade de Drenagem | 1,41 | 1,70 |
| Altitude Média | 150,76 | 457,25 |
| Declividade Média | 25,57 | 38,20 |
| Precipitação | 1749,50 | 2032,35 |
| Radiação Solar | 1127,42 | 1101,51 |

Verifica-se que as microbacias prioritárias apresentam valores superiores à média geral para os fatores área, coeficiente de compacidade e radiação solar e valores médios menores para as variáveis densidade de drenagem, altitude média, declividade média e precipitação. Este resultado se contradiz, parcialmente, às priorizações dadas a cada fator na obtenção do mapa final de fatores morfométricos, indicando que o baixo peso atribuído à este mapa na análise multicriterial em relação aos demais planos de informação, não possibilitou priorizar as microbacias identificadas com as mais apropriadas para este critério.

Neste caso, percebe-se que a priorização dada pelos especialistas aos fatores antropogênicos² e ambientais³ em detrimento aos fatores abióticos e físicos⁴, praticamente, anulou a intenção inicial de priorizar as microbacias com características físicas favoráveis ao estabelecimento da vegetação (maior umidade, menor insolação, maior tempo de concentração, etc).

Esta constatação enfatiza a subjetividade da análise multicriterial, onde verifica-se que os pesos atribuídos aos diferentes planos de informação são determinantes no resultado final,

² Os fatores antropogênicos utilizados na análise multicriterial foram: número de áreas degradadas; usos conflitantes em APP's e distância aos centros urbanos e à malha viária.

³ Os fatores ambientais utilizados na análise multicriterial foram: tamanho do fragmento florestal; proximidade entre fragmentos florestais e grau de vulnerabilidade à erosão.

⁴ Os fatores físicos utilizados na análise multicriterial foram os fatores morfométricos das microbacias.

devendo, desta forma, serem criteriosamente definidos, baseando-se em conhecimentos teóricos e científicos.

5 CONCLUSÕES

No presente trabalho foram identificadas 35 microbacias prioritárias para projetos de recomposição florestal, que totalizam um montante 9380 ha passíveis de serem reflorestados, sendo 8746 ha ocupados atualmente por pastagens, em sua maioria, degradadas e subutilizadas.

A partir dos resultados obtidos, neste trabalho, para a área de estudo, foi possível concluir que a avaliação multicritérios utilizada para definição de áreas prioritárias à recomposição florestal se mostrou adequada para o objetivo proposto, onde a visualização do mapa final mostrou-se efetiva na espacialização geográfica das áreas mais indicadas para os projetos de reflorestamento, auxiliando na tomada de decisões.

Desta forma, conclui-se que a metodologia proposta pode ser aplicada a outras áreas similares, onde critérios e fatores podem ser modificados e incorporados, em função das particularidades ambientais de cada região.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A integração dos dados por meio do Sistema de Informações Geográficas permitiu a análise conjunta dos diferentes critérios utilizados para o mapeamento das áreas prioritárias, o que seria difícil de ser realizado sem o uso desta ferramenta, em função da grande quantidade de dados a serem manipulados simultaneamente.

A utilização do SIG possibilitou ainda a realização de um diagnóstico detalhado da bacia hidrográfica, permitindo a identificação dos setores mais fragilizados e mais suscetíveis aos processos erosivos, as áreas mais importantes para a formação de corredores ecológicos, bem como as microbacias com maior vocação para produção de água.

Os baixos valores de coeficiente de compacidade da maior parte das microbacias hidrográficas, associados à conformação de relevo fortemente ondulado, indicam que grande parte dos setores hidrológicos estudados tende a apresentar baixo tempo de concentração, com predomínio do fenômeno de escoamento superficial e alta propensão a produzir rápidas e grandes vazões, o que pode gerar problemas de inundação e perigo para a população residente que se encontra, sobretudo instalada próxima à região do exutório, ou seja, na foz do rio Macacu.

Estas características enfatizam ainda mais a necessidade de ordenar os usos antrópicos dentro das microbacias, visando minimizar seus efeitos negativos, sobretudo no que se refere à qualidade da água produzida.

A transgressão do Código Florestal foi verificada em todas as categorias de Áreas de Preservação Permanente analisadas, sendo mais evidente no entorno das nascentes e nas faixas marginais de proteção dos cursos d'água. Dentro deste contexto, torna-se importante o desenvolvimento de políticas públicas eficientes, capazes de fomentar a articulação entre as diferentes esferas institucionais, visando à criação de instrumentos de conservação e gestão de recursos hídricos, sobretudo no que se refere à criação de Unidades de Conservação, Reservas

Legais, a efetivação das Áreas de Preservação Permanente e a criação de corredores ecológicos, tendo-se a conservação das águas como parâmetro prioritário.

Em função dos elevados custos dos projetos de reflorestamento e da requisição de grande demanda de mão-de-obra, o direcionamento destas ações para setores específicos dentro da bacia hidrográfica contribui para otimizar seu grau de sucesso e gerar resultados ecológicos e hidrológicos mais eficientes.

O diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica, associado à identificação e análise das características particulares de cada setor, constitui-se ainda um instrumento importante aos processos de licenciamento ambiental de empreendimentos, sobretudo, no que se refere à identificação das áreas mais apropriadas para o direcionamento e cumprimento das medidas compensatórias.

A análise de componentes principais realizada com o intuito de identificar padrões entre as microbacias classificadas como prioritárias enfatizou a subjetividade da análise multicriterial, onde verificou-se que os pesos atribuídos a cada um dos critérios adotados são determinantes no resultado final.

Apesar da presente pesquisa ter como objetivo principal o desenvolvimento de uma metodologia constituída de procedimentos seqüenciais, que resultem na transformação das informações relativas aos fatores físicos e ambientais em um planejamento que possibilite a obtenção de um uso eficiente dos recursos florestais e hidrológicos de uma bacia hidrográfica, a validade da metodologia proposta depende de um embasamento teórico e uma consistente carga conceitual.

Neste sentido, a conceituação e entendimento dos ecossistemas são imprescindíveis para a completa compreensão do ambiente, não podendo se pautar apenas em resultados técnico-operacionais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, N.L.R. de, XAVIER, F.V., ALVES, E.C.R.de F., SILVEIRA, A., OLIVEIRA, C.U.R.de. Caracterização morfométrica e pluviométrica da bacia do rio Manso – MT. **Revista Geociências**. v. 27, n.2, 237 – 248p., São Paulo, 2008.

AMADOR, E. S. **Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: Homem e Natureza**. E. S. Amador, Rio de Janeiro, 539p. 1997.

ALMEIDA, C.G.de. Análise espacial dos fragmentos florestais na área do Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná. **Dissertação de Mestrado**. 72p., Ponta Grossa, 2008.

ALMEIDA, D. S.; SOUZA, A. L. Florística e estrutura de um fragmento de Floresta Atlântica, no município de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 21, n. 2, p. 221-230, 1997.

ARAÚJO, F.de P.; COREIXAS, M.A. **Nossos Rios**. Instituto Baía de Guanabara Niterói, RJ, 2002.

AWADE, M. **Padrões de movimentação de uma espécie de ave em paisagens fragmentadas e seus efeitos para a conectividade funcional: uma abordagem hierárquica**. Dissertação de Mestrado. 117p., USP. São Paulo, 2009.

BACELLAR, L. de A. P. Disponível em <<http://www.degeo.ufop.br/geobr>> - 1-39p.- Geo.br 1 (2005). Acessado em 11 de maio de 2009.

BALBINOT *et al.* O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v.4, n.1, 2008. Disponível em <http://www.unicentro.br/editora/ambiencia/v4n1>. Acessado em 06 de fevereiro de 2010.

BANDEIRA, C.; FLORIANO, E. P. **Avaliação de impacto ambiental de rodovias**, Caderno Didático, nº 8, 1ª ed. Santa Rosa, 2004.

BARBOZA, R. S. **Interceptação Vertical na serra do Mar, Nova Friburgo-RJ**. Monografia de conclusão de curso. UFRRJ, Seropédica. 62p. 2004.

BARBOZA, R.S. **Caracterização das Bacias Aéreas e avaliação da chuva oculta nos contrafortes da serra do Mar**. Dissertação de mestrado. Seropédica, 2007.

BARTH, F. T.; BARBOSA, W.E.S. **Apostila de Recursos Hídricos**. São Paulo, 1999.

BASILE, A. **Caracterização estrutural e física de fragmentos florestais no contexto da paisagem da bacia do rio Corumbataí, SP**. Dissertação de Mestrado. ESALQ. 85p. Piracicaba, 2006.

BENEDITO, C. **O município e o meio ambiente: das áreas de preservação permanente**. Monografia de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia de Piracicaba, Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba. Piracicaba, 2001. 29 p.

BERTOL, I.; LEITE, D.; ENGEL, F.L.; COGO, N.P.; GONZÁLEZ, A.P. Erodibilidade de um Nitossolo Háplico Alumínico determinada em Condições de campo. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:541-549, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO F. **Conservação do solo**. Editora Ícone, São Paulo, 1990.

BOCHNER, J.K. **Serviços Ambientais gerados pela floresta de Mata Atlântica na qualidade do solo**. Monografia de conclusão de curso. UFRRJ, Seropédica, 2007.

BORSATO, F. H.; MARTONI, A. M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Human and Social Sciences** Maringá, v. 26, n. 2, p. 273-285, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas. Manual Operativo. Brasília, DF, Coordenação Nacional do PNMH, Ministério da Agricultura, 1987, 60p.

BRANCO, N. **Avaliação da produção de sedimentos de eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta**. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, RS. 135p. 1998.

BUENO, A. A. **Pequenos mamíferos da Mata Atlântica do Planalto Atlântico Paulista: uma avaliação da ameaça de extinção e da resposta a alterações no contexto e tamanho dos remanescentes**. Tese de Doutorado. Instituto de Biociências, USP, São Paulo. 2008.

- CABRAL JR., M., MOTTA, J.F.M., TANNO, L.C., HELLMEISTER JR., Z. & COIMBRA, A.M. Revisão estratigráfica do Nordeste do Estado de São Paulo. *In*: Simpósio sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras, 2., Rio Claro. Resumos Expandidos. Rio Claro: UNESP p 134-136. 1992.
- CALIJURI, M.L.; MELO, A.L.O.; LORENTZ, J.F. Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. **Informática Pública**, v.4, n.2, p.231-250, 2002.
- CÂMARA, A.; SIMÕES, J.J. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. *In*: I Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São Jose dos Campos, INPE, 1996.
- CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H..**Classificação de solos usada em levantamento pedológico no Brasil**. Bol. Inf. Sociedade Bras. Ci. Solo, V.12: p.11-33. 1987.
- CARDOSO, C.A.; DIAS, H.C.T.; SOARES, C. P.B.; MARTINS, S.V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.2, p.241-248, 2006.
- CARVALHO, D. F.; SILVA L. D. B. **Apostila de Hidrologia**, 2003.
- CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. CPMR. Rio de Janeiro. 372p. 1994.
- CASAGRANDE, L. **Avaliação do parâmetro de propagação de sedimentos do modelo de Williams (1975) na bacia do rio Vacacaí-Mirim com o auxílio de técnicas de geoprocessamento**. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, RS. 226p. 2004.
- CASSOL, E.A. **A experiência gaúcha no controle da erosão rural**. *In*: Simpósio Sobre o Controle da Erosão, 2., 1981, São Paulo. *Anais...* p.149-81.
- CASTRO, F.S. **Conservacion de Suelos**. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica, 1980.
- CASTRO, P.; LOPES, J.D.S. **Recuperação e conservação de nascentes**. Viçosa, MG: CPT, 84p. 2001.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, 9 (18):35-64, 1969.
- CIDE (Fundação). **Mapa de uso e cobertura do solo: Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro. Escala 1:50.000. 2003.
- COELHO, G.; BORGES, A.C.; NEVES, L.G.; PIN, B.D.; SANTOS, L. Z.D. **Contribuição Hídrica de Microbacias Florestais na Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro**. 2001.
- COELHO NETTO, A.L. **Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia**. *In*: Geomorfologia: uma Atualização de Bases e Conceitos, ed. Bertrand, 5a ed., Rio de Janeiro, Brasil, p. 94-148. 2003.

COLIJURI, M.L.; MELO, A.L.de O.; LORENTZ, J.F. Identificação de áreas para a implantação de aterros sanitários com o uso de análise estratégica de decisão. **Ver. Informática Pública**. v.4, 231-250p. 2002.

COLLARES, E.G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia hidrográfica do rio Capivari – SP**. Tese de Doutorado. USP, São Carlos/SP. 211p. 2000.

COLLINS, M.G.; STEINER, F.R.; RUSHMANM.J. Land-Use Suitability Analysis in the United States: Historical Development and Promising Technological Achievements. **Environmental Management** Vol. 28, No. 5, pp. 611–621, 2001.

CORRÊA, M.P. **Influência da radiação solar na regeneração natural de Mata Atlântica**. Monografia de conclusão de Curso. Seropédica. UFRRJ, 48p. 2008.

COSTA, H. **Subsídios para gestão dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Macacu, São João, Macaé e Macacu**. Rio de Janeiro: SEMA, 280p. 1999.

COSTA, T.C.e C.da; SOUZA, M.G.de; BRITES, R.S. Delimitação e caracterização de áreas de preservação permanente, por meio de um sistema de informações geográficas (SIG). *In: Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Salvador, Brasil, 14-19, INPE, p. 121-127. 1996.

COSTA, T.C.e C.da; GUIMARÃES, S.P. Delineamento e Parametrização Ambiental de sub-bacias hidrográficas para o Estado do Rio de Janeiro. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Embrapa Solos, 34p., 2005.

COSTA, T.C.e C.da; UZEDA, M.C.; FIDALGO, E.C.C.; LUMBRERAS, J.F.; ZARONI, M.J.; NAIME, U.J.; GUIMARAES, S.P. Vulnerabilidade ambiental em sub-bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro por meio de integração temática da perda de solo (USLE), variáveis morfométricas e o uso/cobertura da terra. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril, INPE, p. 2493-2500. 2007

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T.; BARBOSA, C. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 103p. 2001.

DANTAS, J. R., ALMEIDA, J.R.de, LINS, G.A. da C. Impactos ambientais na bacia hidrográfica de Guapi/Macacu e suas conseqüências para o abastecimento de água nos municípios do leste da Baía de Guanabara .Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. 26p.

DANTAS, M.A., SHINZATO, E., MEDINA, A.I.M., SILVA, C.R., PIMENTEL, J., LUMBRERAS, J.F.; CALDERANO, S.B. **Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro**. CPRM. Brasília, 2000.

DANTAS, M. E. **Geomorfologia. Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro**, Brasília-DF, CPRM-DEGET, 66p. 2000.

- DIAS, H.S, **Funções e importância das matas ciliares**. O agrônomo, Campinas: 2002.
- DOMINGOS, J.L. **Estimativa de perda de solo por erosão hídrica em uma Bacia hidrográfica**. Monografia. UFES. Vitória, 2006.
- DONADIO, N. M. M., GALBIATTI, J. A. e PAULA, R. C. de. **Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego rico, São Paulo, Brasil**. *Eng. Agríc.*, jan./abr. 2005, vol.25, no.1, p.115-125.
- EASTMAN, J.R. **Decision support: decision strategy analysis. Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark Labs, Clark University, v.2, 22p. 2001.
- EIRADO, L. G.; DANTAS, M.; NOGUEIRA, J. R.; TUPINAMBÁ, M. **Caracterização geológica e geomorfológica da área do PED**. In: SEMADS–IEF / FBCN. Plano de Manejo do Parque Estadual do Desengano, RJ. Rio de Janeiro, 2003b. Produto 3.
- EIRADO, L. G.; DANTAS, M; NOGUEIRA, J. R.; TUPINAMBÁ, M. **Caracterização geológica e geomorfológica da área de entorno**. In: SEMADS–IEF / FBCN. Plano de Manejo do Parque Estadual do Desengano, RJ. Rio de Janeiro, 2003a. Produto 2.
- EMBRAPA.- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 83p. 1979.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, EMBRAPA/CNPS. Rio de Janeiro, RJ, 212p. 1997.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 412p. 2006.
- EASTMAN, J.R. *Idrisi for Windows User's Guide v. 2.0*. Clark University, Worcester. 1997.
- EASTMAN, J.R. Decision support: decision strategy analysis. **Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark Labs, Clark University, 2001. v.2, 22p.
- FARIA, M.M.de.; ZACCHI, R.C.; FERREIRA, E.S.; DIAS, H.C.T. **Caracterização morfométrica e biológica da bacia hidrográfica do córrego Serafim, sub-bacia do rio Paraibuna, Juiz de Fora-MG**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. UFV; 2009.
- FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Identificação de áreas para recomposição florestal com base em princípios de ecologia de paisagem. **Revista Árvore**, V. 27, n.4, jul./ago. 2003.
- FERREIRA, C. C. M. **Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 158p.

- FORERO-MEDINA, G.; VIEIRA, M.V. Conectividade funcional e a importância da interação organismo-paisagem. **Rev. Oecol. Bras.**, vol. 11, 493-502p. 2007.
- FRANCISCO, C.E. da S.; COELHO, R.M.; TORRES, R.B.; ADAMI, S.F. Análise multicriterial na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n.1., p. 1-13, jan-mar, 2008.
- FREITAS, M.W.D.de.; CARVALHO, V.C.de.; CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; ESPIG, S.A. Aplicações de geoprocessamento no estudo dos geossistemas e Zoneamento Ecológico-Econômico de Serra das Almas (CE/PI). *In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21, INPE, p. 2153-2160. 2005.
- FU, P. & RICH, P. M. **The solar analyst 1.0 manual**. Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), Estados Unidos da América. 2000.
- GARCEZ, L.N. **Hidrologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.
- GAUCH, H.G. *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge. 298p. 1982.
- GENELETTI, D. A GIS-based decision support system to identify nature conservation priorities in an alpine valley. **Land Use Policy**. Vol.21.148-160p. 2004.
- GONÇALVES, A.B. **Delimitação automática das áreas de preservação permanente e identificação dos conflitos de uso da terra na sub-bacia hidrográfica do rio Camapuã/Brumado**. Tese de doutorado. 58p. Viçosa, 2009.
- GOTELLI, N.; ELLISON A. M. **A Primer of Ecological Statistics**. Sinauer Associates, Massachusetts, USA. 510 p. 2004.
- GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Município de Cachoeiras de Macacu**. Disponível em <<http://www.governo.rj.gov.br/municipal.asp?M=50>>. Acessado em 17 de março de 2010.
- GREIG-SMITH, P. *Quantitative Plant Ecology*. Third edition. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 359 p. 1983.
- GROVE, M.; HARBOR, J.; ENGEL, B. Composite vs. Distributed Curve Numbers: Effects on estimates of storm runoff depth. **Journal of the American Water Resources Association**. v. 34, n. 5, p. 1015-1023, 1998.
- GUERRA, A. J. T., **Soil characteristics and erosion, with particular reference to organic matter content**. Tese de doutorado, Universidade de Londres, 1991.
- GUERRA, A..J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Berthand Brasil, 1994.

GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S., BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

HIRUMA, S.T.; PONÇANO, W.L. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfopedológicos na área do alto rio Pardo, SP e MG. **Revista do Instituto Geológico.** São Paulo, 15 (1/2), 49-57p., 1994.

HUDSON, N. W. **An introduction to the mechanics of soil erosion under conditions of sub-tropical rainfall.** Proc. Trans. Rhod. Sci. Ass., 1961.

INSTITUTO BIOATLÂNTICA. **Projeto entre Serras e Águas.** Disponível em: <<http://www.bioatlantica.org.br>> Acessado em 10 de abril de 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), Unidade Estadual em Goiás, Gerência de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de pedologia.** Virlei Álvaro de Oliveira (Coordenador). Goiânia : IBGE/UE-GO/GRNEA, 2003.

KAGEYAMA, P.Y.; GANDARA, F.B. Conseqüências genéticas da fragmentação sobre populações de espécies arbóreas. **Série Técnica IPEF**, 32(12):65-70. 1998.

KENT, M.; COKER, P. **Vegetation Description and Analysis: a practical approach.** Londres, Inglaterra, Editora Belhaven, 1992.

KURTZ, B. C.; ARAÚJO, D. S. D. Composição florística e estrutura do componente arbóreo de um trecho de Mata Atlântica na Estação Ecológica Estadual do Paraíso, Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia** 51(78/79): 69-111. 2000.

LEÃO, S.Z. **Análise Espacial em Sistemas de Informações Geográficas.** Aula 7. 64p. 2005.

LEONARDO, H.C.L. **Indicadores de qualidade de solo e água para avaliação do uso sustentável da bacia hidrográfica do rio Passo Cue, região Oeste do estado do Paraná.** Dissertação (mestrado em ciências florestais). 90f. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz-ESALQ-USP. Piracicaba, 2003.

LIMA, M. R., CABRAL JUNIOR, M. & STEFANI, F. L. **Palinologia de Sedimentos da Formação Macacu - Rifte da Guanabara, Terciário do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.** *An. Acad. Bras. Ci.*, Rio de Janeiro, 68 (4): 531- 543. 1996.

LIMA, W.P. **Princípios de Hidrologia Florestal para Manejo de Bacia Hidrográficas.** USP, Piracicaba, SP. 241p.1986.

LIMA, W. de P.; ZAKIA, M.J.B. Monitoramento de Bacias Hidrográficas em Áreas Florestadas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.10, n.29, p.11 – 21, Nov.1996.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. **Hidrologia de Matas Ciliares.** São Paulo: editora da Universidade de São Paulo, FAPESP, 2000.

LINDNER, E.A.; GOMIG, K.; KOBAYAMA, M. Sensoriamento remoto aplicado à caracterização morfométrica e classificação do uso do solo na bacia rio do Peixe/SC. In: **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3405-3412.

LOHMAN, R. J. **Recomposição da Mata Ciliar no Manancial do Córrego Sanga Vera no Município de Nova Santa Rosa**. Monografia de Conclusão de Curso; Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. 46p. 2003.

MALCZEWSKI, J.A. A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making. **International Journal of Geographical Information Science**, v.10, n.8, p. 955-971, 1996.

MARQUES, O; TIENNE, L.; CORTINES, E.; VALCARCEL,R. Atributos ambientais definidores de presença de fragmentos florestais de Mata Atlântica em microbacias instáveis. **Revista Universidade Rural – Ciências da Vida**. no. 24, v.2 / no 25, Vol.1, Seropédica, RJ. 2005.

MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 143 p. 2001.

MATOS JUNIOR, C.F. **O efeito da cobertura florestal na regularização hídrica de microbacias no município de Miguel Pereira, RJ**. Monografia de conclusão de curso. UFRRJ, Seropédica. 2008.

MCCNUNE, B.; GRACE, J.B. **Analysis of Ecological Communities**. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, 300p. 2002.

MCCUNE, B.; MEFFORD, M.J. PC-ORD. **Multivariate analysis of ecological data**, version 5.0. MjM Software Design, Gleneden beach, Oregon, Estados Unidos, 1999.

MEIRELLES, M.S.P. **Análise integrada do ambiente através de Geoprocessamento - uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos**. Tese de doutorado. UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.

MENDES, C.A.R. **Erosão Superficial em Encosta Íngreme sob Cultivo Perene e com Pousio no Município de Bom Jardim – RJ**. Tese de doutorado. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 237p. 2005.

MIARA, M.A. **Análises Têmporo-Espaciais da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Cará-Cará, Ponta Grossa – PR**. Dissertação de mestrado. 201p. UFPR, Curitiba, 2006.

MOLIN, P.G.; STAPE, J.L. Diferença na alocação de uma reserva legal de critérios ambientais versus uma de critérios técnico-econômicos com o uso de ferramentas de SIG. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, INPE, p. 1749-1756. 2007.

MONTEBELO, L.A.; CASAGRANDE, C.A.; BALLESTER, M.V.R.; VICTORIA, R.L.; CUTOLO, A.P.A.. **Relação entre uso e cobertura do solo e risco de erosão nas áreas de preservação permanente na bacia do ribeirão dos Marins, Piracicaba-SP**. Anais XII

Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3829-3836.

NEGREIROS, D. H; ARAÚJO, F. P; COREIXAS, M. A. 2002. “**Nossos Rios**”. Niterói. Instituto Baía de Guanabara. p.31. , 2002.

NETO, F.de D.F.; BRAGA, A.L.; OLIVEIRA, A.M.S.; OLIVEIRA, J.C.de. Uso dos Sistemas de Informações Geográficas na Determinação das Características Físicas de uma Bacia Hidrográfica. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, INPE, p.2581-2588. 2007.

OLERIANO, E.dos S.; DIAS, H.C.T. A dinâmica da água em microbacias hidrográficas reflorestadas com eucalipto. In: **Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico**, Taubaté, 2007, 215-222p.

OLIVEIRA, R. R.; ZAÚ, A. S.; LIMA, D. F.; SIVA, M. B. R.; VIANNA, M. C.; SODRÉ, D. O.; SAMPAIO, P. D. Significado ecológico da orientação de encostas no Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: **Oecologia Brasiliensis**, [s.l.] v. 1, p 523-524. 1995.

OLIVEIRA, S.N. de. **Metodologia para delimitação e análise multivariada de atributos morfométricos de bacia de drenagem usando Modelo Digital de Elevação hidrológicamente corrigido**. Dissertação de Mestrado. 74p. Brasília, 2008.

OTTONI, NETO. T.B. **Fundamentos de Engenharia Ambiental com Ênfase em recursos hídricos.: Perenização e Regularização Fluvial**. 232p. 1995.

PEREIRA, J.C.; MOLINARI, A. **Experiências com microbacias em Santa Catarina**. Resumo da mesa redonda. 5º Simpósio Nacional de Controle da Erosão. Anais. Boletim de Campo. Bauru, SP, p.85-88, 1995.

PEREIRA, T.F.P.D.; CASTRO JUNIOR, E. Diagnóstico Geo-Biofísico de um Caso de Fragmentação da Floresta Atlântica na Bacia Do Rio Macacu (RJ). **X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. UERJ, 2003.

PERES-NETO, P.; JACKSON D. A. ; SOMERS K. M. 2005. How many principal components? stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. **Computational Statistics & Data Analysis**. 49 974 – 997. 2005.

PINHEIRO, C.A.A. **Dinamismo dos processos erosivos em fontes pontuais de emissão de sedimentos para a baía de Sepetiba**. Dissertação de mestrado. UFRRJ, 68p. 2004.

PINHEIRO, R.M.P. **Sub-bacias hidrográficas do alto Jaguaribe (Tauá-CE): vulnerabilidades ante a incidência de degradação/dessertificação**. Dissertação de Mestrado. UFCE, Fortaleza, 193p. 2003.

PISSARRA, T.C.T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A.S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 28: 297 – 305p. 2004.

PLANO DIRETOR DE RECURSOS HÍDRICOS DA BAÍA DE GUANABARA, Rio de Janeiro. Consórcio Ecologus-Agrar. Governo do Estado do Rio de Janeiro. Out. 2005.

PRIMACK, R.B.; RODRIGUEZ, E. **Biologia da Conservação**. 328p. 2001.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CACHOEIRAS DE MACACU. **Reflorestamento das margens do Rio Macacu trará mais indústrias e emprego para a região**. Disponível em: <<http://www.macacu.com>> Acessado em 07 de abril de 2008.

RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais**, Folha SF 23/24 - Rio de Janeiro/Vitória. Vol. 32. MME/SG/Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro, 1983.

RETIS. **Gente do Caceribu, sua Geografia, sua história Diagnóstico Sócio-Econômico da Bacia do Caceribu**. Disponível em: <http://www.igeo.ufrj/fronteiras/trabtec/caceribu.htm>. Acessado em 20/01/2010.

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

RICCOMINI,C.; RODRIGUES-FRANCISCO,B.H. Idade potássio-argônio do derrame de ankaramito da Bacia de Itaboraí, Rio de Janeiro, Brasil: implicações tectônicas. **In:** Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo. Resumos Expandidos... São Paulo: SBG p. 469-470. 1992.

RICH, P. M.; DUBAYAH, R.; HETRICK, W. A. & SAVING, S. C. **Using Viewshed models to calculate intercepted solar radiation: applications in ecology**. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers, p 524-529. 1994.

RICKLEFS, R.E. **Economia da Natureza**. Ed. Guanabara. 503p. 2003.

RODRIGUES, J.E. **Estudos de fenômenos erosivos acelerados – Boçorocas**. Tese doutorado em Engenharia de Transportes. EESC-USP, São Carlos, SP, 1982.

RUFINO, R.C. **Avaliação da qualidade ambiental do município de Tubarão (SC) através do uso de indicadores ambientais**. Dissertação de Mestrado. UFSC. 123p. Florianópolis. 2002.

SAATY, T. **The analytic hierarchy process**. New York. McGraw-Hill. 287p., 1980.

SAMIZAVA, T.M.; HIROSHI KAIDA, R.; IMAI, N.N.; NUNES, J.O.R. SIG Aplicado à Escolha de Áreas Potenciais para Instalação de Aterros Sanitários no Município de Presidente Prudente – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, No 60/01, 2008.

SANT'ANNA, L.G. **Geologia, mineralogia e gênese das esmectitas dos depósitos paleogênicos do Rift Continental do Sudeste do Brasil**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 239p. 1999.

SANTOS, A.P.A.; AVILLA, L.S.; IGLESIAS, A. & SOUTO, P.R.F. Itaboraian grass: cuticular morphology, taxonomy and paleoenvironmental significance. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 20, Búzios. Anais... Búzios: SBP, p. 168. 2007.

SANTOS, G.V.; DIAS, H.C.T.; SILVA, A.P.de S.; MACEDO, M.de N. C. de. Análise hidrológica e socioambiental da bacia hidrográfica do córrego Romão dos Reis, Viçosa- MG. **Revista Árvore**. v.31, n. 5, 931-940p. Viçosa-MG, 2007.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C. & ANJOS, L. H. C. **Manual de Descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 100 p. 2005.

SCOSS, L.M.; MARCO JÚNIOR, P.de; SILVA, E. MARTINS, S.V. Uso de parcelas de areia para o monitoramento de impacto de estradas sobre a riqueza de espécies de mamíferos. **Rev. Árvore**.v.28, n.1, 121-127p., Viçosa-MG, 2004.

SEMADS. **Ambiente das águas no estado do Rio de Janeiro**. Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, Projeto PLANÁGUA-SEMADS/GTZ. 230 pp. 2001.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RIMA, 2003.

SILVA, J.M.A.da. **Modelo hidrológico para o cálculo do balanço hídrico e obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas: desenvolvimento e aplicação**. Tese de doutorado. 155p. Viçosa-MG, 2002.

SILVA, M.A.R.da; OLIVEIRA, M.N.de. **Meteorologia Básica**. Apostila. Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais e Florestais. 2004.

SILVA, S.F.da. **Avaliação das alterações ambientais na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão, Campinas-SP**. Dissertação de Mestrado. São Carlos, SP, 2000.

SILVEIRA, A.L.L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. São Paulo: EDUSP, p 35-51. 2001.

SOPPER, W. E. Effects of timber harvesting and related management practices on water quality in forested watersheds. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.4, n.1, p.24-9, 1975.

SPOLIDORO, M.L.C.V. **Fatores ambientais que afetam a distribuição e frequência de capinzais na serra de Madureira-Mendanha**, Rio de Janeiro, RJ. Monografia (IV CECA/UFRRJ). 59p. 1998.

STRAHLER, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. New Halen: Transactions: American Geophysical Union, v.38. p. 913-920. 1957.

TONELLO, K.C.; DIAS, H.C.T.; SOUZA A.L.de.; RIBEIRO, C.A.A.S.; LEITE, F.P. Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões – MG. **Revista Árvore**. Viçosa, MG. v..30; n.5; p. 849-857; 2006.

TEIXEIRA A.J.A.; CRUZ C.B.M. **Classificação de Bacias de Drenagem com o Suporte do Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento- o Caso da Baía de Guanabara.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Goiânia, Anais...São Jose dos Campos: INPE. Artigos, p. 2779-2786. CD-ROM.12, 2005.

TORRES, A.P.; ALMEIDA, R.A.de. Esboço sócio-ambiental da bacia hidrográfica do rio Passa Vaca, SSA-BA. **GeoTextos**, vol. 4, n . 1 e 2, 37-51p., 2008.

TRANCOSO, R. **Efeitos das mudanças do uso do solo na resposta hidrológica de bacias hidrográficas na Amazônia Brasileira.**Dissertação de Mestrado. INPA. 2006.

TREVISAN, G.V.; ADAMI, M. Avaliação do uso e cobertura da terra em áreas de preservação permanente com dados DE sensores remotos. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30, INPE, p. 6337-6344. 2009.

UEZU, A. **Composição e estrutura da comunidade de aves na paisagem fragmentada do Pontal do Paranapanema.** Tese de doutorado. USP. 193p., São Paulo, 2006.

VALCARCEL, R. Problemas e estratégias de recuperação de áreas degradadas na Europa. **Rev. Floresta e Ambiente**, n.1, 147-150p., UFRRJ, 1994.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de nascentes: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras** 1ª ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 210p. 2005.

VALENTE, R.O. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio de abordagem multicriterial em ambientes SIG.** Dissertação de Mestrado, ESALQ, 2005.

VALENTE, R.O.A.; VETTORAZZI, C.A. A abordagem multicriterial na definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21, INPE, p. 1681-1683. 2005.

VETTORAZZI, C.A. **Sensoriamento remoto orbital.** ESALQ. Piracicaba. Série Didática 2.134p. 1992.

VETTORAZZI, C.A. **Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando a conservação de recursos hídricos.** Tese de doutorado. ESALQ, Piracicaba, 2006. 151p.

VIANA, V.M.; PINHEIRO, L.A.F.V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n.32, 25-42p., 1998.

VIANA, V.M.; TABANEZ, A.A.J.; MARTINS, J.L.A. Restauração e manejo de fragmentos florestais. In: Congresso Nacional sobre Essências Nativas, 2, São Paulo, 1992. **Anais.** São Paulo: Instituto Florestal de São Paulo, p. 400-407. 1992.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245p. 1975.

VITAL, A.R.; ZAMPARONI, C.A.G.P. Características hidrológicas da bacia do rio Pari. **Anais I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste**. Cuiabá. 2007.

VOOGD, H. Multicriteria evaluation for urban and regional planning. London: Pion, 125p.1983.

WEILL, M.A M. **Estimativa da erosão do solo e avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP), através do índice de tempo de vida**. Tese de doutorado. Piracicaba-SP, Universidade de São Paulo (USP), 1999.

8 ANEXOS

A – Mapa das microbacias hidrográficas (Formato A2)

B – Mapa de uso do solo (Formato A2)

C – Mapa das classes de solos (Formato A2)

D – Mapa das classes de vulnerabilidade à erosão (Formato A2)

E – Mapa das áreas prioritárias para recomposição florestal (Formato A2)

F – Mapa das microbacias prioritárias (Formato A2)

Anexo A - Mapa das microbacias hidrográficas

Anexo B – Mapa de uso do solo

Anexo C – Mapa das classes de solos

Anexo D – Mapa das classes de vulnerabilidade à erosão

Anexo E – Mapa das áreas prioritárias para recomposição florestal

Anexo F – Mapa das microbacias prioritárias