

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÔNOMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**PLANEJAMENTO DA RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL PELA ANÁLISE
MULTICRITERIAL NA SUB-BACIA DO CÓRREGO DO DESCALVADO VISANDO
A CONSERVAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.**

FÁBIO ÁVILA NOSSACK

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus
de Botucatu, para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP
Julho/2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÔNOMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**PLANEJAMENTO DA RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL PELA ANÁLISE
MULTICRITERIAL NA SUB-BACIA DO CÓRREGO DO DESCALVADO VISANDO
A CONSERVAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.**

FÁBIO ÁVILA NOSSACK

Orientadora: Profa.Dra.Célia Regina Lopes Zimback

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus
de Botucatu, para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP
Julho/2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

N897p Nossack, Fábio Ávila, 1985-
Planejamento da recomposição florestal pela análise multicriterial na sub-bacia do Córrego do Descalvado visando a conservação de recursos hídricos / Fábio Ávila Nossack. - Botucatu : [s.n.], 2012
vi, 69 f. : tabs., maps. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2012

Orientador: Célia Regina Lopes Zimback
Inclui bibliografia

1. Avaliação multicritérios. 2. Áreas prioritárias. 3. Floresta - Restauração. 4. Sistemas de informação geográfica. I. Zimback, Célia Regina Lopes. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: PLANEJAMENTO DA RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL PELA
ANÁLISE MULTICRITERIAL NA SUB-BACIA DO CÓRREGO DO
DESCALVADO VISANDO A CONSERVAÇÃO DE RECURSOS

ALUNO: FÁBIO ÁVILA NOSSACK

ORIENTADORA: PROFA. DRA. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROFA. DRA. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK



PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS



PROF. DR. PAULO MILTON BARBOSA LANDIM

Data da Realização: 24 de julho de 2012.

“Te advirto, seja tu quem fores!

Oh! Tu que desejas sondar os arcanos da natureza,
que se não achas dentro de ti mesmo aquilo que buscas,
tão pouco poderás achar fora.

Se tu ignoras as excelências de tua própria casa,
como pretendes encontrar outras excelências?

Em ti está oculto o tesouros dos tesouros.

Oh! Homem! Conhece a ti mesmo e conhecerás
o universo e os Deuses.”

Tales de Mileto

Ofereço

À minha família, amigos, especialmente meus avós, que me dão tão boas lembranças e lições de vida.

Menção Especial

À minha orientadora, Professora Doutora Célia Regina Lopes Zimback, por sua confiança em mim, pelas oportunidades que me proporcionou, pela sua amizade sincera e sua serenidade em mostrar o caminho a seguir com sabedoria.

Menção Honrosa

Aos meus pais, Geraldo Eugênio Nossack e Ana Rita de Oliveira Ávila Nossack, pelo amor incondicional, pela educação e formação recebida, pelo conhecimento e sabedoria de vida transmitidos, pelas oportunidades de crescer neste lugar maravilhoso ao lado da natureza, fatores essenciais para que eu chegasse onde cheguei. À minha irmã querida, Ana Frieda Ávila Nossack, por sua dedicação a mim, por me aturar, por seu carinho, apoio nas horas mais difíceis e ajuda nos estudos sobre a vida desde sempre. Amo todos vocês.

Agradecimentos

À Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP, Campus de Botucatu-SP, pelo excelente curso de pós-graduação, conceituado corpo docente e sobre tudo, por ter confiado a mim o direito e oportunidade de tornar-me mestre.

Ao curso de pós-graduação em Irrigação e Drenagem, ao Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, por concederem-me a oportunidade de desenvolver o trabalho no Laboratório de Geoprocessamento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro, sem o qual a realização da dissertação de Mestrado seria comprometida.

A todos os amigos e amigas do Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas – GEPAG, que me presentearam com estímulo e companheirismo, vitais para o meu desenvolvimento e crescimento humano e profissional, sem o qual, teria sido muito difícil seguir com esta etapa da vida.

A todos os funcionários e técnicos dos Departamentos de Engenharia Rural e de Recursos Naturais/Ciência do Solo e Seção de Pós-Graduação, que sempre me foram tão solícitos, amigos e respeitosos, a vocês muito obrigado.

SUMÁRIO

	Página
SUMÁRIO.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	8
4.1 Bacia Hidrográfica.....	8
4.2 Geoprocessamento no Diagnóstico Ambiental.....	10
4.3 Análise Multicriterial na definição de Áreas Prioritárias a Recomposição Florestal.....	13
4.4 Recomposição Florestal na Conservação dos Recursos Hídricos.....	15
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
5.1 Material.....	18
5.1.1 Área de estudo.....	18
5.1.2 Localização.....	20
5.1.3 Relevo, Geologia, Geomorfologia e Solos.....	22
5.1.4 Material Cartográfico.....	25
5.1.5 Imagem de Satélite.....	25
5.2 Metodologia.....	27
5.2.1 Construção do Banco de dados da área de estudo.....	27
5.2.2 Diagnóstico Ambiental e Manipulação dos Dados Espaciais.....	27
5.2.3 Regra de decisão.....	28
5.2.4 Fatores.....	28
5.2.4.1 Proximidade das Nascentes.....	29
5.2.4.2 Proximidade da Rede de Drenagem.....	29
5.2.4.3 Proximidade de Processos Erosivos.....	30
5.2.4.4 Declividade.....	30
5.2.4.5 Proximidade da Cobertura Florestal.....	30
5.2.5 Restrições.....	31

5.2.6	Avaliação.....	31
5.2.7	Risco de Decisão	32
5.2.8	Compensação	32
5.2.9	Decisão Estratégica na Análise Multicriterial	32
5.2.10	Pesos dos Fatores	33
5.2.11	Matriz de Comparação Pareada	34
5.2.12	Análise Multicriterial	34
5.2.12.1	Combinação Linear Ponderada	35
5.2.12.2	Média Ponderada Ordenada	36
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
6.1	Planos de Informação	38
6.2	Definição dos Critérios.....	45
6.2.1	Fatores	45
6.2.1.1	Proximidade às Nascentes.....	45
6.2.1.2	Proximidade à Rede de Drenagem	46
6.2.1.3	Proximidade aos Processos Erosivos	47
6.2.1.4	Declividade	48
6.2.1.5	Fragmentos Florestais	50
6.2.2	Restrições	51
6.3	Definição dos Pesos dos Fatores.....	52
6.4	Mapas de Áreas Prioritárias.....	52
6.5	Considerações Finais.....	60
7	CONCLUSÕES	62
8	REFERÊNCIAS.....	63

LISTA DE TABELAS

TABELA	Página
1. Matriz de comparação pareada entre os fatores definidos para a Avaliação Multicritérios	52
2. Pesos de ordenação para os fatores utilizados na Avaliação Multicritérios, pelo método da Média Ponderada Ordenada.	53

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
1. Posição do Rio Capivara, do qual o Córrego Descalvado é tributário, em relação à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 10).	19
2. Localização da Sub-Bacia do Córrego do Descalvado no Município de Botucatu em São Paulo.	21
3. Localização da Sub-Bacia do Córrego do Descalvado no Município de Botucatu em São Paulo.	22
4. Feições geomorfológicas da sub-bacia do Córrego do Descalvado, Botucatu, S.P.	23
5. Classes de Solos da Sub-bacia do Córrego do Descalvado, Botucatu S.P.	24
6. Imagem em composição RGB do Satélite SPOT 2010 da sub-bacia do Córrego Descalvado, Botucatu, S.P.	26
7. Escala contínua utilizada na Matriz de Comparação Pareada para gerar os pesos de cada fator na Análise Multicriterial.	34
8. Rede de Drenagem da Sub-bacia do Ribeirão Descalvado extraído das cartas Planialtimétricas e atualizado à partir das Ortofotos aéreas de 2005.	39
9. Uso do Solo da Sub-bacia do Ribeirão Descalvado, extraído da Imagem SPOT 2010.	40
10. Processos Erosivos da Sub-bacia do Ribeirão Descalvado mapeados a partir das Ortofotos aéreas de 2005 e atualizados em campo com Receptor GPS.	41
11. Classes de Declividade da Sub-bacia do Ribeirão Descalvado realizado à partir das Curvas de Nível vetorizadas das cartas topográficas.	42
12. Mapa Altimétrico da Sub-bacia do Ribeirão Descalvado realizado à partir das Curvas de Nível vetorizadas das cartas topográficas.	43
13. Modelo Digital do Terreno da Sub-bacia do Córrego do Descalvado realizado à partir das Curvas de Nível vetorizadas das cartas topográficas.	44
14. Fator Proximidade às Nascentes da Sub-Bacia do Córrego Descalvado.	46

15. Fator Proximidade à Rede de Drenagem da Sub-Bacia do Córrego Descalvado.	47
16. Fator Proximidade aos Processos Erosivos da Sub-Bacia do Córrego Descalvado.	48
17. Fator Declividade da Sub-Bacia do Córrego Descalvado.	49
18. Fator Proximidade aos Fragmentos Florestais da Sub-Bacia do Córrego Descalvado.	50
19. Restrições à análise de áreas prioritárias dentro da Sub-Bacia do Córrego Descalvado.	51
20. Mapa de Áreas Prioritárias - Risco mínimo ou de esforço mínimo de restauração visando à conservação dos recursos hídricos para a sub-bacia do Córrego do Descalvado.	55
21. Mapa de Áreas Prioritárias - Risco Médio/Baixo. Segunda etapa de adequação visando à conservação dos recursos hídricos para a sub-bacia do Córrego do Descalvado.	56
22. Mapa de Áreas Prioritárias - Risco Médio. Corresponde a Combinação Linear Ponderada. Terceira etapa de adequação visando à conservação dos recursos hídricos para a sub-bacia do Córrego do Descalvado.	57
23. Mapa de Áreas Prioritárias - Risco Médio/Alto. Quarta etapa de adequação visando à conservação dos recursos hídricos para a sub-bacia do Córrego Descalvado.	58
24. Mapa de Áreas Prioritárias - Risco Alto. Última etapa de adequação visando à conservação dos recursos hídricos para a sub-bacia do Córrego do Descalvado.	59

1 RESUMO

A busca por novas tecnologias para estudos e monitoramento ambientais tem se tornado cada vez mais frequente. O sensoriamento remoto é um bom exemplo disso. Com o avanço da ciência, técnicas modernas de obtenção de imagens, associadas aos novos sistemas de informações geográficas (SIGs), facilitam a obtenção de uma grande quantidade de dados, muitas vezes impossíveis de serem obtidos sem a utilização dos mesmos. Diferentes abordagens podem ser empregadas na determinação de áreas prioritárias para a conservação, restauração e uso sustentável dos recursos naturais. Para a representação da distribuição espacial da paisagem, torna-se indispensável o uso dos SIGs, dada sua capacidade de análise de dados de natureza espacial. Dentre os diversos métodos para a determinação de áreas prioritárias, destacam-se aqueles que têm por base a análise de múltiplos critérios. A diferença entre estes está na forma de agregação dos critérios, principalmente no que se refere à maneira com que tratam de questões como a probabilidade de sucesso ou risco do empreendimento. Assim, os objetivos deste estudo foram: gerar um banco de dados (segundo Ortofotos 2005 e imagem SPOT 2010) da sub-bacia do córrego do

Descalvado, possibilitando um diagnóstico da área quanto à ocupação do território e, por consequência, os processos de degradação que nela ocorrem; e a definição de áreas prioritárias à recomposição florestal visando a conservação dos recursos hídricos, através da Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, por meio dos métodos da Combinação Linear Ponderada e da Média Ponderada Ordenada. Os fatores empregados foram a distancia das nascentes, distancia da rede de drenagem, distância dos processos erosivos, declividade e distancia dos fragmentos florestais, todos representados como mapas matriciais, onde cada valor foi padronizado a uma escala única e contínua de 256 valores. Pelos estudos e diagnósticos ambientais na bacia do Córrego Descalvado pôde-se concluir: presença de processos erosivos acelerados nas cabeceiras de nascentes dos corpos d'água; fragmentação da vegetação nativa, principalmente nas áreas de encosta, com alta declividade e pequena presença de vegetação nativa nas zonas ripárias. A aplicação da Análise Multicriterial - método da Média Ponderada Ordenada foi importante, pois discriminou e sistematizou os cenários de prioridade da recomposição florestal. Com a utilização de SIGs e dos mapas resultantes do diagnóstico ambiental, a confecção dos mapas prioritários foi consideravelmente rápida. O método utilizado é importante porque permite que o tomador de decisão faça integralmente a recomposição seguindo um dos cenários propostos ou por etapas, avaliando cada uma delas e, se necessário fazendo adaptações durante o processo.

Palavras-chave: Recomposição Florestal; Sistemas de Informações Geográficas; Avaliação Multicritérios; Áreas Prioritárias.

PLANNING OF FORESTRY RECOMPOSITION USING MULTICRITERIA ANALYSIS IN THE SUB-BASIN OF DESCALVADO RIVER AIMING THE CONSERVATION OF WATER RESOURCES.

Author: Fábio Ávila Nossack

Adviser: Ph. D. Célia Regina Lopes Zimback

2 SUMMARY

The search for new technologies for environmental studies and monitoring has become increasingly frequent. Remote sensing is a good example, modern techniques of imaging associated to the new geographic information systems (GIS), facilitates the production of a large amount of data, often impossible to be obtained without the use of them. Different approaches can be employed in determining priority areas for conservation, restoration and sustainable use of natural resources. To represent the spatial distribution of landscape, it is essential the use of GIS, because of its ability to analyze spatial data. Among the various methods for the determination of priority areas, we highlight those that are based on the analysis of multiple criteria. The difference between them is in the form of aggregation of the criteria, especially as regards the manner in dealing with issues such as the probability of success or risk the venture. The objectives of this study were: to create a database (based on Orthophotos 2005 and 2010 SPOT image) of sub-basin of Descalvado river, allowing a diagnosis of the area as the occupation of territory and, consequently, the degradation processes that occur in it, and the definition of priority areas for reforestation to promote the conservation of water resources through Multicriteria Evaluation in a GIS, using the methods of Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Average. The factors used were the distance of the water sources, distance of the drainage network, distance of erosion, slope and distance of forest fragments, all represented as raster maps, where each value was standardized to a single continuous scale of 256 values. After the environmental studies and assessments in the basin of Descalvado river could conclude: the presence of accelerated erosion in the headwaters of springs; fragmentation of native vegetation, especially in hillside areas with steep slopes and little presence of native vegetation in riparian zones. The application of Multicriteria Analysis - Ordered Weighted Average method was important because was

discriminated and systematized the scenarios of priority of forestry recovery. With the use of the GIS maps and of the environmental diagnosis, the making of maps of priority areas was very fast. The method used was important because it allows the decision maker to chose one of the proposed scenarios as the best for the area or follow them like stages, evaluating each one and, if necessary, making adjustments during the process.

Keywords: Forestry Restoration, Geographic Information Systems, Multicriteria Evaluation; Priority Areas.

3 INTRODUÇÃO

A busca por novas tecnologias para estudos e monitoramento ambientais tem se tornado cada vez mais frequente. O sensoriamento remoto é um bom exemplo disso. Com o avanço da ciência, técnicas modernas de obtenção de imagens, associadas aos novos SIGs, facilitam a obtenção de uma grande quantidade de dados, muitas vezes impossíveis de serem obtidos sem a utilização das mesmas.

O processo histórico de apropriação do ambiente natural para a produção agrícola e a exploração de recursos naturais na região de Botucatu resultou na fragmentação das formações vegetais nativas e da paisagem como um todo, ao mesmo tempo em que propiciou o surgimento de processos erosivos agravados pelas características dos solos da região. Como consequência dessa dinâmica de degradação, instalou-se um círculo vicioso de diminuição da diversidade biológica, distúrbio do regime hidrológico das bacias hidrográficas, a degradação dos recursos naturais, as mudanças climáticas e a deterioração da qualidade de vida das populações tradicionais. Atualmente, a urbanização desordenada tem acelerado ainda mais o processo de degradação ambiental no município.

O município de Botucatu está localizado na região centro-sul do Estado de São Paulo e caracteriza-se por uma instabilidade geotécnica, da qual decorrem

processos de escorregamento, rastejo e queda de blocos nas escarpas da Cuesta de Botucatu e muito localmente em encostas íngremes do seu reverso. Devido às fragilidades do quadro geológico regional, o IPT (1995) classificou o município como de alta criticidade em relação aos processos erosivos. Tal fragilidade tem sido agravada em decorrência do avanço da agricultura em locais impróprios, antes ocupados pela vegetação nativa da região, especialmente Mata Estacional e Cerrado. Em concordância com a classificação acima, a Deliberação CBH-SMT no. 229 de agosto de 2009 reconhece como área de ações prioritárias para a implantação de medidas que mitiguem o impacto no meio ambiente a fragilidade dos solos.

Com aproximadamente 152.000 hectares, o município é drenado por duas grandes bacias hidrográficas: do Rio Tietê, ao norte e do Rio Pardo, ao sul. A Bacia do Rio Tietê ocupa uma área de aproximadamente 77.300 hectares do município. Os tributários do Tietê são: Rio Lavapés, Rio Araquá, Rio Alambari e Rio Capivara. A cobertura florestal do Município é de apenas 10,45% da sua área total, compreendendo extensões significativas de matas de transição (ecótonos) entre as formações vegetais do Cerrado e da Floresta Estacional Semidecidual.

A formação que recebe o nome de Cuesta e sua geomorfologia resulta em nuances quanto à constituição florística das espécies nas regiões de planalto (reverso da Cuesta), Frente (“front” da Cuesta) e Depressão Periférica. Nesta última temos as formações geológicas correspondentes à dos arenitos Botucatu e Pirambóia, cuja participação na recarga do aquífero Guarani é elevada. Além de estar inserida em área de recarga do aquífero, a sub-bacia possui áreas em que a ocupação urbana já está consolidada, justamente nas partes mais altas, conferindo um problema de conflitos entre uso antrópico desordenado, disposição de resíduos e má conservação dos recursos nas áreas de afloramento natural do lençol freático (nascentes e córregos). Estas razões fundamentaram a escolha da área para o presente estudo.

O Código Florestal de 15 de setembro de 1965, revogado pela Lei Federal Nº 12.651, de 25 de maio de 2012, determinou a proteção dos cursos d’água e de áreas com declive acentuado. Há atualmente uma grande pressão para alteração do código florestal que por décadas foi considerado um dos mais completos do mundo, apesar de não ter sido colocado em prática integralmente. Porém, sabe-se que cada sistema hídrico tem um comportamento hidrológico caracterizado pelo resultado da interação entre os fatores

climáticos, geológicos, edáficos e geomorfológicos, além do uso e ocupação humana, informações que nem sempre coincidem com as exigências do Código.

Dentro deste contexto, torna-se extremamente importante o desenvolvimento de metodologias de análise e diagnóstico ambiental e modelos de recomposição florestal para as diferentes paisagens que aqui se encontram. Para isto, faz-se necessário um estudo direcionado às Bacias Hidrográficas que possam servir como exemplo de aplicação para as demais bacias que cruzam a Cuesta e têm as mesmas características edafoclimáticas.

O presente trabalho teve como área de estudo a Bacia do Córrego do Descalvado, onde toda a sua extensão localiza-se dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí, Botucatu, Tejupá - perímetro Botucatu, de acordo com ENGEA (1990), importante área de recarga do Aquífero Guarani. Assim, os objetivos deste estudo foram: gerar um banco de dados (segundo Ortofotos 2005 e imagem SPOT 2010) da sub-bacia do córrego do Descalvado, possibilitando um diagnóstico da área quanto à ocupação do território e, por consequência, os processos de degradação que nela ocorrem; e a definição de áreas prioritárias à recomposição florestal visando a conservação dos recursos hídricos, através da Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, por meio dos métodos da Combinação Linear Ponderada e da Média Ponderada Ordenada.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica é um sistema físico cuja entrada é representada pelo volume de água precipitado e a saída o volume de água escoado, considerando-se como perda toda água que sai do sistema por evaporação, transpiração e infiltração para o lençol subterrâneo (SILVEIRA, 1993). Apresenta características definidas, tais como, área, forma, tipo de drenagem, tipos de solo e rocha, formas e extensões de relevo, variação e dimensão das classes de declividade, uso e ocupação do solo. O reconhecimento e a análise destas características são fundamentais para o gestor ambiental no desenvolvimento de projetos de qualquer natureza (MONTEIRO, 2003).

Sob a óptica de bacia hidrográfica, no Brasil, os cursos d'água vêm sofrendo constante e crescente contaminação em virtude da má utilização e preservação inadequada dos recursos naturais existentes ao seu redor. As águas destes cursos d'água frequentemente transportam solo, muitas vezes provenientes das áreas agrícolas outrora adubadas ou corrigidas a altos custos por agricultores, propiciando assim, a poluição das

mesmas e até do lençol freático, comprometendo a sua utilização no abastecimento e irrigação (ASSAD et al., 1998).

A degradação desenfreada dos recursos naturais nos dias de hoje é um processo que deve ser analisado com eficiência e rapidez. Os solos, por exemplo, vêm sofrendo uma constante e crescente degradação, em função da preservação e uso inadequados (BUCENE, 2002).

Uma das maiores ameaças à qualidade da água, tanto superficial como subterrânea, é a poluição difusa resultante, principalmente, do uso agrícola inadequado dos solos. A substituição da cobertura original do solo por culturas agrícolas, aliada a práticas de manejo inadequadas, altera, entre outras coisas, as relações entre escoamento superficial e infiltração da água das chuvas, resultando em erosão do solo e carreamento de quantidades acima do normal de sedimentos aos canais de drenagem. Esse fenômeno é responsável pela aceleração do processo de assoreamento dos canais, além de alterar as características físicas e químicas da água pela presença dos sedimentos, material orgânico, nutrientes e outros elementos e compostos químicos, provenientes principalmente de defensivos agrícolas e fertilizantes, encarecendo os processos de captação e tratamento da água para consumo humano (VETTORAZZI, 2006).

As atividades agrícolas têm sido reconhecidas como sendo as fontes de poluição difusa dos recursos hídricos. A manutenção da vegetação natural ribeirinha pode reduzir a entrada de poluentes e sedimentos nos cursos de água, favorecendo a infiltração da água no solo, absorvendo, retardando ou purificando o escoamento antes que ele atinja os rios. Esta atitude constitui uma medida ecológica para controle da poluição difusa proveniente do escoamento das águas da chuva em áreas agrícolas (SIMÕES, 2001).

A supressão de áreas florestais e a sua substituição por outras coberturas podem contribuir de forma significativa para os processos de geração, transporte e deposição de sedimentos nos canais de drenagem. As florestas de encosta protegem a superfície do solo do início do processo erosivo, promovem a infiltração da água no solo e funcionam como barreiras ao transporte dos sedimentos. Ao redor das nascentes elas têm importante função de proteção, principalmente contra a compactação e o assoreamento, por práticas agrícolas inadequadas. Ao lado dos canais, as florestas ripárias, também chamadas de ciliares quando, com largura e estrutura adequadas, podem funcionar como filtros dos

sedimentos, material orgânico e elementos químicos e compostos associados, promovendo sua deposição antes de atingirem os cursos d'água, além de protegerem diretamente os canais contra a erosão de suas margens e contribuir para aumentar a capacidade de armazenamento de água na bacia (VETTORAZZI, 2006).

Assim, depreende-se que a oferta natural de água, em quantidade e qualidade adequadas, depende, entre outros fatores, de um planejamento adequado do uso e cobertura do solo. Para Vettorazzi (2006), o reflorestamento dirigido em bacias hidrográficas, notadamente por meio de ações de restauração florestal, tem sido apontado como uma das soluções mais factíveis e baratas para a questão da produção de água de boa qualidade para o uso humano. Ações conservacionistas, sob o respaldo do geoprocessamento, são estratégicas para a redução do custo de tratamento da água. O problema é que, mesmo sendo uma solução das mais baratas, a restauração apresenta, ainda assim, um custo elevado, exigindo um planejamento cuidadoso que aponte áreas prioritárias para o investimento de recursos em reflorestamento.

4.2 Geoprocessamento no Diagnóstico Ambiental

O Geoprocessamento, segundo Assad et al. (1998), é uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Esta tecnologia tem influenciado de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, planejamento urbano e regional e os produtos gerados pelo Sensoriamento Remoto.

Para Novo (1999), o Sensoriamento Remoto pode ser definido como a aquisição de informação sobre um objeto a partir de medidas feitas por um sensor que não se encontra em contato físico direto. As informações, neste caso, são derivadas da detecção, mensuração e interação da energia eletromagnética e o alvo.

Rocha (2007) afirmou que a principal contribuição do Sensoriamento Remoto veio com as primeiras imagens orbitais do Planeta Terra. Desde então, o homem tem verificado uma grande degradação do meio ambiente terrestre, provocado por uma visão consumidora e descartável dos recursos naturais, como se fossem inesgotáveis, poluindo o solo, a água e o ar e deixando uma perspectiva negativa para as gerações futuras. Esta visão

holística contribui muito para uma mudança de paradigma conhecida como Desenvolvimento Sustentável.

Os SIGs são sistemas bastante apropriados à análise ambiental, devido às suas características relacionadas à questão da espacialização da análise. Nas últimas décadas, a análise ambiental recebeu um impulso bastante grande com o desenvolvimento dos SIGs. Das atividades mais beneficiadas podem ser citadas os zoneamentos (VERÍSSIMO et al., 1998), os mapeamentos de risco (TEMESGEN et al., 2001), de vulnerabilidade (BRYAN et al., 2001; MENNELLA et al., 1996), de sensibilidade (ABDEL-KADER et al., 1998; CLAYTON, 1994; LAPLANA; BRUNSTEIN, 1992), de impactos ambientais (MOE et al., 2000), etc. Um passo adiante nessas atividades é a determinação de prioridades, para a qual o SIG também pode ser empregado, dadas as suas capacidades analíticas.

O SIG é um modelo matemático dinâmico construído com um banco de dados digitais, gerenciados para facilitar a atualização e a aplicação dos dados georreferenciados de infinitas camadas ou planos de informação no planejamento e na otimização de uma determinada tarefa. É empregado na integração e análise de dados provenientes de fontes dispersas, como imagens digitais de satélites, mapas digitais de usos e tipos de solo, topográficos, hidrologias, vegetação, floras e faunas, cartas climatológicas, censos socioeconômicos e outros (LIU, 2006).

Ainda Liu (2006) afirmou que para o SIG alcançar seu objetivo de aplicações diversas, a construção de um banco de dados digitais georreferenciados é crucial. Os processos incluem a escolha, obtenção e armazenamento de dados, de modo padronizado, em escalas compatíveis para fornecer e facilitar aos usuários a utilização, recuperação e manipulação das várias camadas de dados para atender suas aplicações específicas. Suas principais funções são armazenar, recuperar, analisar e gerar mapas desejados em um programa computacional.

Existem diferentes abordagens interessantes de serem utilizadas na determinação de áreas prioritárias, como o emprego de modelos hidrológicos, índices de produção de sedimentos etc., mas, de qualquer forma, a exigência da explicitação da distribuição espacial das áreas a serem restauradas torna imprescindível, nessa tarefa, o uso dos SIGs, dada a sua capacidade de análise de dados de natureza espacial (VETTORAZZI, 2006).

Diversos sistemas de apoio à decisão, apropriados à determinação, para uma ou mais finalidades, de áreas prioritárias, de risco, adequadas etc., têm sido desenvolvidos ou adaptados para operar em ambiente SIG, destacando-se aqueles que têm por base a avaliação de múltiplos critérios, como os métodos da Análise Booleana, da Combinação Linear Ponderada e da Média Ponderada Ordenada (VETTORAZZI, 2006).

Em muitas das aplicações de SIG na área de análise ambiental, é comum o envolvimento de múltiplos critérios para se atender a um ou mais objetivos. É a denominada Avaliação Multicritérios (AMC).

Embora a técnica de AMC possa ser empregada fora do ambiente SIG, e a literatura contém inúmeros exemplos dessa situação (TURNER et al., 2000; DAVOS; LAJANO, 2001; YIN, 2001; DALGAARD; HALBERG; PORTER, 2001; ANDERTON; LATRON; GALLART, 2002; AFGAN; CARVALHO, 2002; MAZZETTO; BONERA, 2003; ESPELTA; RETANA; HABROUK, 2003; para citar alguns), é na integração com o SIG que seu potencial é melhor explorado, em se tratando de análises espaciais.

Malczewski (2004) afirmou que a integração entre as técnicas de tomada de decisão multicritérios e sistemas de informações geográficas representa um avanço considerável nas análises envolvendo adequação de uso da terra, em relação às abordagens convencionais de sobreposição de mapas. Segundo o autor, a AMC em ambiente SIG pode ser pensada como um processo que combina e transforma dados espaciais e não-espaciais (entrada) em uma decisão resultante (saída). Os procedimentos envolvem a utilização de dados geográficos, as preferências dos tomadores de decisão e a manipulação dos dados e preferências de acordo com regras de decisão especificadas. Desta maneira, duas considerações são de importância crítica para a AMC: (1) as capacidades do SIG de aquisição, armazenamento, recuperação, manipulação e análise de dados; e (2) as capacidades dos métodos de tomada de decisão multicritérios em combinar os dados geográficos e as preferências dos tomadores de decisão em valores unidimensionais de decisões alternativas.

4.3 Análise Multicriterial na definição de Áreas Prioritárias a Recomposição Florestal

Segundo Vettorazzi (2006), áreas indicadas para restauração florestal, em diferentes graus de prioridade, podem ser mapeadas por meio de sistemas de apoio à decisão, em um SIG, com maior ou menor sucesso, em função do grau de flexibilidade oferecido pelo método ao analista, no que se refere à forma de agregação dos critérios.

Malczewski (1996) e Malczewski e Jackson (2000) comentaram que o problema de tomada de decisão multicritérios envolve um conjunto de planos alternativos de alocação, avaliados com base em critérios múltiplos, conflitantes e incomensuráveis, por grupos de indivíduos com interesses diversos. Esses grupos são caracterizados por preferências específicas, com respeito às importâncias relativas dos critérios, contra o que os planos alternativos são avaliados. De grande importância para os problemas de tomada de decisão no setor público é a busca de consenso entre as várias partes interessadas. Os autores sugerem que a AMC pode ser usada com sucesso no desenvolvimento de projetos alternativos de alocação, facilitando o compromisso entre interesses conflitantes. Nesse aspecto, uma variedade de abordagens desenvolvidas, junto a um crescente interesse em análises realizadas em SIGs, levará a uma grande ênfase em procedimentos alternativos de busca e conceitos de sistemas computacionais interativos de apoio à decisão.

A análise de áreas prioritárias, segundo Collins et al. (2001), tem em vista, principalmente, a identificação do padrão espacial mais apropriado para os futuros usos do solo de uma determinada região, de acordo com fatores específicos e preditores de uma atividade ou de um objetivo.

Segundo Store e Kangas (2001), a definição de áreas prioritárias com base nos SIGs tem sido amplamente aplicada em uma variedade de situações, como a definição de áreas ou regiões prioritárias para espécies animais ou vegetais; para atividades agrícolas; para risco de impactos ambientais; para a biodiversidade, entre outras.

Os conceitos dos tomadores de decisão são expressos pelos critérios que, de acordo com Eastman (2001), são a base do processo de tomada de decisão e que podem ser medidos e avaliados. Para esse autor, o critério é a evidência sobre a qual um indivíduo pode ser designado a um conjunto de decisão. Os critérios podem ser de dois tipos:

fatores e restrições e podem referir-se tanto a atributos do indivíduo como ao conjunto todo de decisão.

Os fatores irão realçar ou diminuir a suscetibilidade de uma alternativa específica para uma atividade ou objetivo (EASTMAN, 2001). Para Randhir et al. (2001), os fatores utilizados no processo de tomada de decisão são aqueles que representam as características críticas de um habitat.

As restrições podem ser entendidas como categorias restritivas das alternativas (fatores), excluindo áreas e limitando espacialmente a distribuição das possibilidades de escolha (EASTMAN et al., 1993).

Para a integração dos diferentes fatores, com base na abordagem multicritério, vários métodos vêm sendo utilizados, como o Booleano; o do Ponto Ideal; o da Combinação Linear Ponderada; o da Análise de Concordância; e mais recentemente o da Média Ponderada Ordenada (MALCZEWSKI, 2000). Dentre esses métodos a Combinação Linear Ponderada e o Booleano são empregados com mais frequência (MALCZEWSKI, 2004).

O procedimento pelo qual os critérios foram selecionados e combinados para se chegar a uma avaliação em particular, pelo qual as avaliações foram comparadas, é conhecido como regra de decisão. Segundo Vettorazzi (2006), uma regra de decisão pode ser tão simples quanto um limiar aplicado a um critério único (tal como, todas as regiões com declividade menor que 35% serão zoneadas como adequadas ao desenvolvimento) ou podem ser tão complexas como uma que envolva a comparação de diversas avaliações multicritérios. Regras de decisão tipicamente contêm procedimentos para combinar critérios em um simples índice composto e uma declaração de como as alternativas foram comparadas usando esse índice.

Para a escolha dos diferentes fatores neste tema específico, é necessário o entendimento da importância da existência de florestas ao longo dos rios e ao redor de lagos e reservatórios, fundamentada no amplo espectro de benefícios que este tipo de vegetação traz ao ecossistema, exercendo função protetora sobre os recursos naturais bióticos e/ou abióticos (DURIGAN; SILVEIRA, 1999).

As espécies animais, de maneira geral, utilizam-se e necessitam dos corpos d'água. Dessa maneira, as áreas de floresta próximas a esses corpos d'água passam a ter uma grande importância ecológica na dinâmica da paisagem, pois, possibilitam o movimento dessas espécies animais ao longo da paisagem e contribuem para a dispersão vegetal que, por sua vez, irá auxiliar no incremento da qualidade da estrutura dessa paisagem - conexão florestal (FORMAN; COLLINGE, 1997; HARPER et al., 1992).

A conexão florestal promovida pela união entre fragmentos que margeiam os corpos d'água pode ser incorporada em paisagens com matriz predominantemente agrícola. Elas podem coexistir, mesmo sem grandes alterações na estrutura dessas paisagens (FORMAN, 1997; FORMAN; COLLINGE, 1997).

4.4 Recomposição Florestal na Conservação dos Recursos Hídricos

A ecologia da paisagem tem sido intensamente praticada na Europa por muitas décadas e tornou-se amplamente reconhecida nos Estados Unidos a partir de 1980. Desde então, tem-se desenvolvido rapidamente como uma disciplina, estimulada pelas interações sinérgicas entre o sensoriamento remoto e as tecnologias SIG, bem como pelos avanços na teoria ecológica (JENSEN, 2009).

Ecologia da Paisagem é o estudo da estrutura, função e mudanças em áreas terrestres heterogêneas compostas por organismos que interagem (BOURGERON e JENSEN, 1993). É o estudo da interação entre os padrões de paisagem e os processos ecológicos, especialmente a influência do padrão da paisagem nos fluxos de água, energia, nutrientes e biota. O que distingue a ecologia da paisagem de outras disciplinas que ela engloba é que provê uma abordagem hierárquica para interpretar estrutura ecológica, função, mudança e resiliência em múltiplas escalas de investigação.

Segundo Jensen (2009), medidas tradicionais para proteger o ambiente, tais como evitar a poluição da água ou proteger a biodiversidade, frequentemente focam em descargas de efluentes específicos ou em condições específicas de habitats.

A floresta que ocupa o espaço próximo à nascente chama-se vegetação ripária. Segundo Gregory e Ashkenas (1990), o termo ripária significa banco de areia ou de terra depositada junto à margem dos rios e/ou terra próximo da água e, simplesmente, refere-se

à área ou zona próxima ao corpo da água. Essa zona ripária também é considerada como ecótono, onde a água subterrânea flui entre os ecossistemas terrestre e aquático. Segundo Takahashi e Ohta (1999), a profundidade é normalmente de 20 a 60 cm, sendo difícil determinar este valor na prática. Hendricks (1993) e White (1993) propuseram uma forte relação entre o movimento da água subterrânea nessa zona e a estrutura da nascente ou da rede de drenagem.

A intervenção humana, através da agricultura em áreas com grande declividade e o desmatamento de encostas e margens de rios, propicia a redução da infiltração de água no solo e, por conseguinte, o aumento do fluxo superficial, desencadeando fluxo torrencial sob fortes chuvas. Esses fatores acabam favorecendo a instalação de processos de erosão do solo, que desestabilizam encostas e confere uma maior carga sedimentar ao fluxo de água no canal (VESTENA, 2008).

A distância entre os fragmentos de uma paisagem contribui para a caracterização de sua configuração e fornece um indicativo sobre seu nível de fragmentação florestal (TURNER; GARDNER, 1990; YONG; MERRIAN, 1994).

A fragmentação dos habitats é considerada uma das mais sérias ameaças à biodiversidade, sendo a principal causa da extinção de espécies, pois gera efeitos físicos e biológicos variados, modificando padrões de predação, dispersão e migração, redução de populações e alterações nos fluxos de entrada e saída de energia dos ecossistemas (TABARELLI; MANTOVANI, 1997; KAGEYAMA et al., 1998). Nessas condições são formadas verdadeiras ilhas de florestas continentais das mais variadas dimensões (LIMA, 1993).

Para a conservação e preservação florestal é necessário que essas ilhas sejam novamente conectadas, o que será facilitado se houver fragmentos próximos uns aos outros (KINDVALL; PETERSSON, 2000). Atendida essa condição, o estabelecimento ou incremento da estrutura interna do novo fragmento será alcançada em menor tempo e esses remanescentes de floresta passarão a contribuir para o restabelecimento da integridade natural da paisagem (ROY; TOMAR, 2000).

A teoria hierárquica permite aos ecologistas de paisagem integrar múltiplas escalas de informação para determinar se os padrões de paisagem são suficientes para permitir que processos ecológicos operem nas necessárias escalas. O objetivo é investigar

mudanças na distribuição, dominância e conectividade de componentes do ecossistema e o efeito de tais mudanças nos recursos ecológicos e biológicos. Por exemplo, a fragmentação de ecossistemas tem implicado no declínio da diversidade biológica e na sustentabilidade dos ecossistemas em várias escalas espaciais. A determinação do *status* e das tendências no padrão da paisagem é crítico para o entendimento das condições gerais dos recursos ecológicos. Os padrões de paisagem fornecem então um conjunto de indicadores (p.ex., padrão de forma, dominância, conectividade, configuração) que podem ser usados para avaliar o *status* ecológico e as tendências em escalas variadas. Uma abordagem também permite dois importantes tipos de comparações: 1) para comparar condições dentro de e entre paisagens, e 2) para comparar condições entre diferentes tipos de riscos ecológicos. Tais riscos ecológicos incluem o risco de erosão, de perda da produtividade do solo, de perda da função hidrológica e de perda de biodiversidade (JENSEN, 2009).

Os fatores, que envolvem a regra de decisão em questão, foram escolhidos de acordo com técnica participativa com sugestões de professores e alunos dos laboratórios de Geoprocessamento e Fotopedologia. Como um fator é um critério que realça ou diminui a adequação de uma alternativa específica para uma atividade em consideração, foram, portanto, colocados em uma escala contínua de importância para a conservação dos recursos hídricos. Estes fatores também são conhecidos por variáveis decisórias, em programação matemática e variáveis estruturais, em programação linear, segundo Vettorazzi (2006). Os fatores selecionados foram: distância das nascentes, distância da rede de drenagem, distância dos processos erosivos, distância dos fragmentos de floresta nativa e áreas com relevo acentuado.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material

5.1.1 Área de estudo

O município de Botucatu esta inserido na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - (UGRHI 10), composta pelas bacias hidrográficas dos Rios Sorocaba e Médio Tietê e pertence à Sub-bacia 1 – Médio Tietê Inferior (Figura 1).

A sub-bacia do Córrego Descalvado, possui uma área média de 2.196,08 ha, e perímetro de 23,26 km. Este córrego é tributário do Rio Capivara, que pertence à Bacia do Médio Tietê.



Figura 1. Posição do Rio Capivara, do qual o Córrego Descalvado é tributário, em relação à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 10).

A cobertura vegetal na UGRHI – 10 é caracterizada por nove tipos de vegetação: formações Savânicas ou Cerrados e Cerradões; Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Ombrófila Densa; Matas Ripária ou Ciliar; Capoeira; Áreas úmidas/Várzeas; reflorestamentos; culturas, campos e pastagens. Atualmente, a mata nativa corresponde apenas a 12,09% da área da UGRHI, sendo que os 87,91% restante é ocupada por coberturas vegetais produzidas pelo homem (culturas, campos e pastagens), destacando as áreas de pastagens com 67,64% (CBH-SMT; FABH-SMT, 2008).

Em reconhecimento das características ambientais peculiares da região, em 1983 foi criada a Área de Proteção Ambiental (APA) de Corumbataí, Botucatu e Tejuapá, destinada a proteger parte da área de afloramento do Aquífero Guarani, as Cuestas Basálticas e os maciços vegetacionais formadores do ecótono Mata Estacional Semidecidual/Savana Brasileira, entre outros (Decreto Estadual nº 960).

A Sub-bacia do Córrego Descalvado, assim como a Bacia do Rio Capivara localiza-se dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí, Botucatu, Tejupá - perímetro Botucatu, de acordo com ENGEA (1990).

As Áreas de Proteção Ambiental são Unidades de Manejo Sustentável nas quais se procura conciliar a preservação da diversidade biológica e dos recursos naturais, com o uso sustentável de parte desses recursos, mantendo-se tanto a propriedade privada da terra como a jurisdição municipal sobre elas.

5.1.2 Localização

A Bacia está situada entre os paralelos $22^{\circ} 57' 39''$ e $22^{\circ} 39' 36''$ de latitude S, e entre os meridianos $48^{\circ} 17' 34''$ e $48^{\circ} 29' 36''$ de longitude W.Gr.

A localização do município de Botucatu em relação ao Estado de São Paulo é indicada na Figura 2 e a localização da Sub-Bacia do Córrego Descalvado em relação ao Município de Botucatu está indicada na Figura 3.

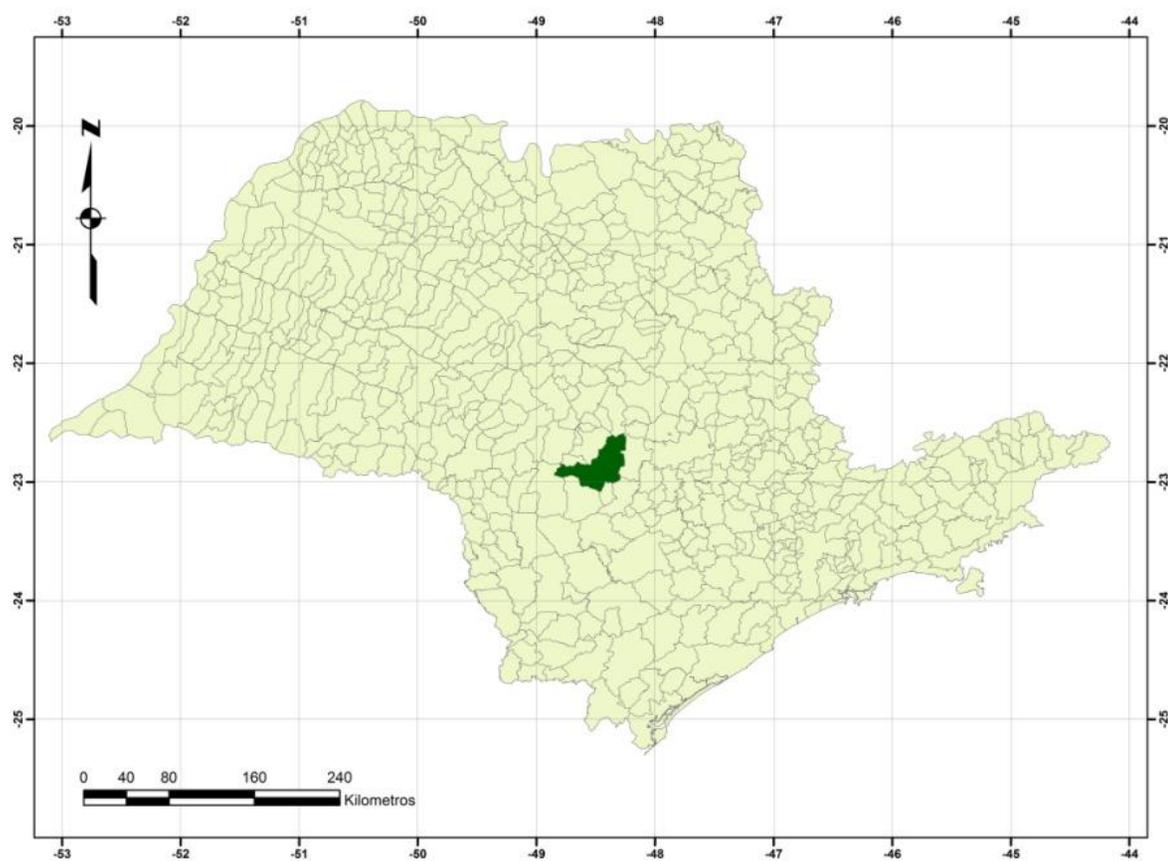


Figura 2. Localização do Município de Botucatu no Estado de São Paulo.

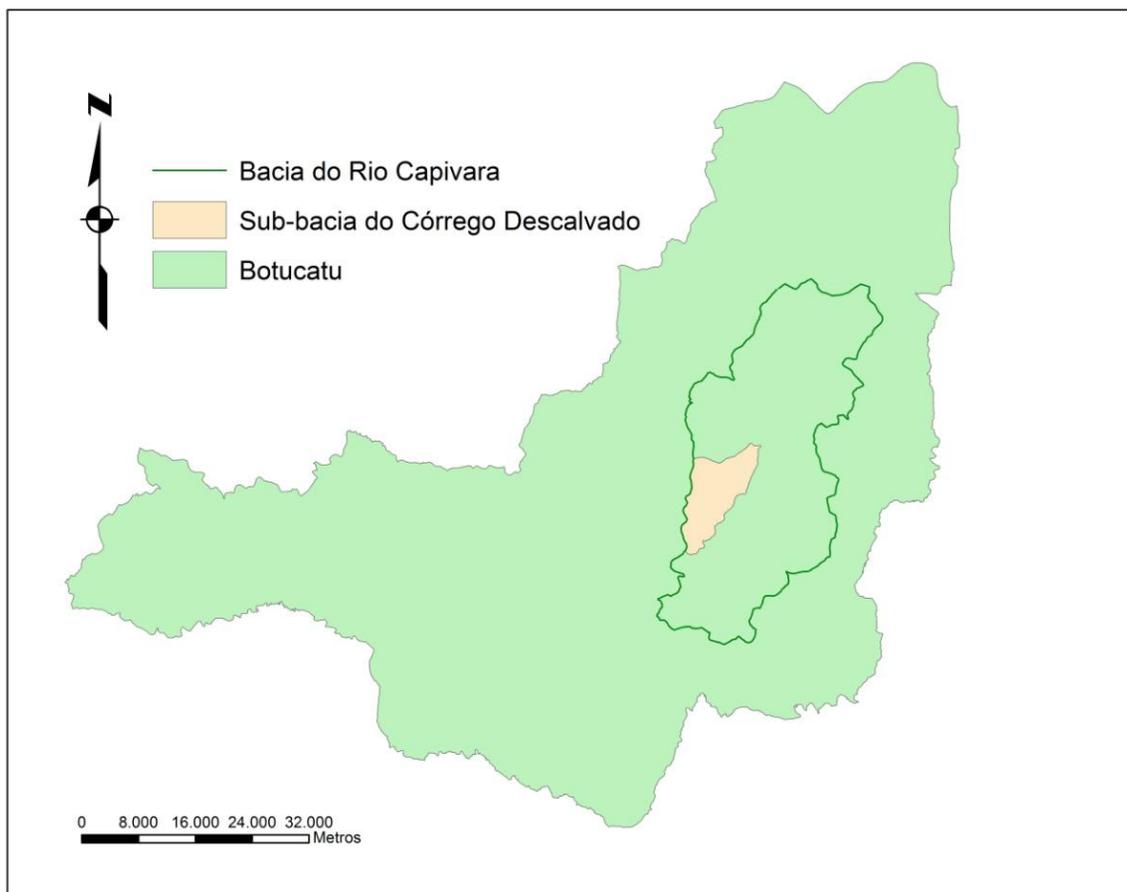


Figura 3. Localização da Sub-Bacia do Córrego do Descalvado no Município de Botucatu em São Paulo.

5.1.3 Relevo, Geologia, Geomorfologia e Solos

Segundo IPT (1981), as terras situadas acima das cuestas, provenientes de formações sedimentares, estendendo-se a Norte e Oeste do Estado são denominadas de Planalto Ocidental. Descreve-se a geologia do Planalto Ocidental como constituída de sedimentos pertencentes ao Grupo Bauru, dividido em rochas com cimento calcáreo e rochas com cimento argiloso e não calcário. São arenitos com até 85% de areia tendo, portanto, os solos provenientes desse material, alto teor de areia em relação as demais frações granulométricas do solo e depósitos do Quaternário.

A sub-bacia distribui-se pelas três feições geomorfológicas da Cuesta (Figura 4), sendo que as cotas abaixo de 610 metros são definidas como Depressão Periférica, de 610 metros e 810 metros correspondem ao Front da Cuesta e acima de 810 metros tem-se o reverso da Cuesta. Apresenta 12,90 % de sua área localizada sobre o Reverso da Cuesta, 32,25 % no Front e 54,85 % na Depressão Periférica.

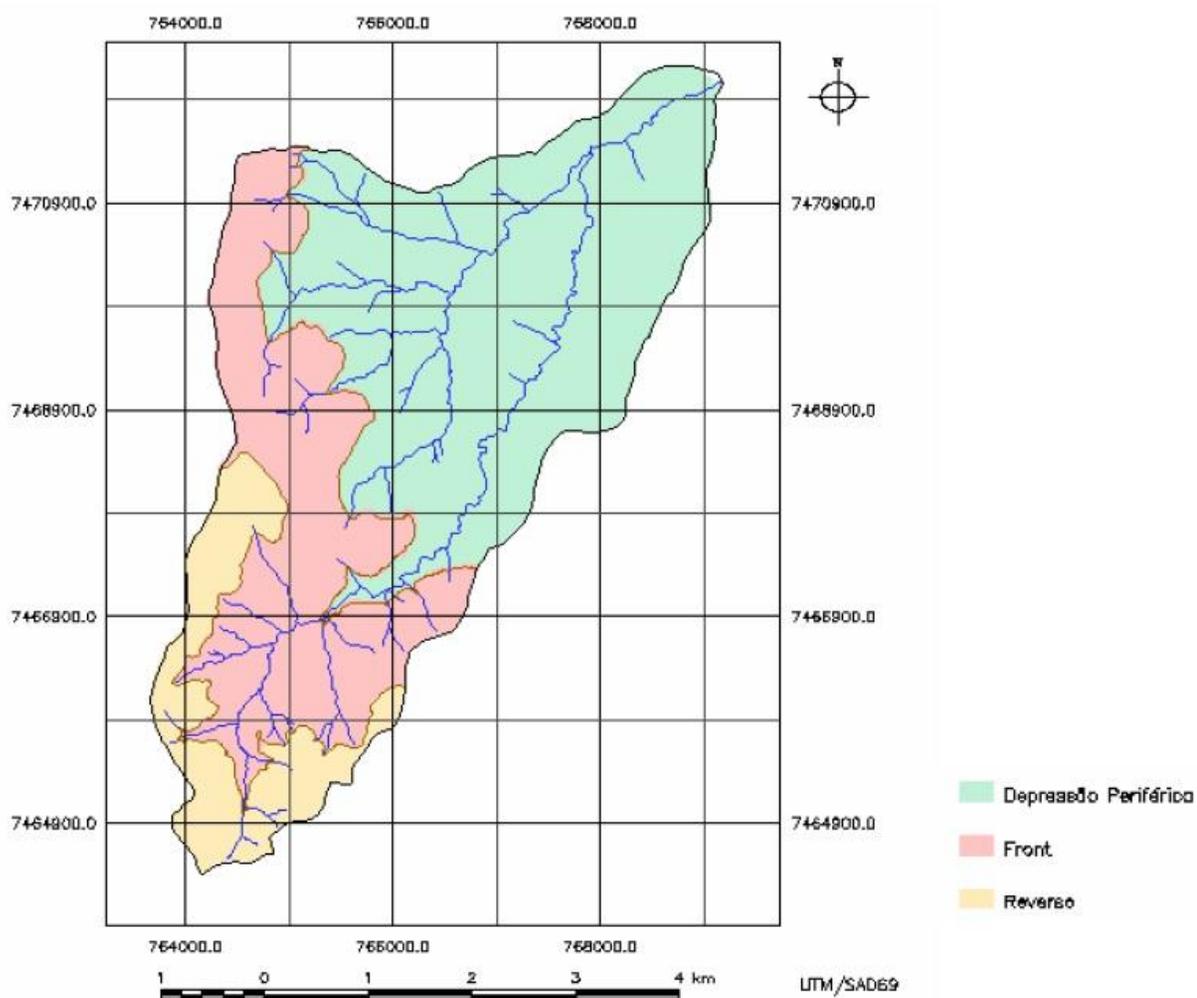


Figura 4. Feições geomorfológicas da sub-bacia do Córrego do Descalvado, Botucatu, S.P.
Fonte:Jim 2006.

Segundo Piroli (2002), os tipos de solo (Figura 5) que caracterizam a bacia são os Gleissolos Háplicos Tb, os Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, os Latossolos Vermelhos Distróficos, os Neossolos Litólicos Eutróficos, os Neossolos Quartzarênicos Órticos e os Neossolos Vermelhos Distrofêrricos.

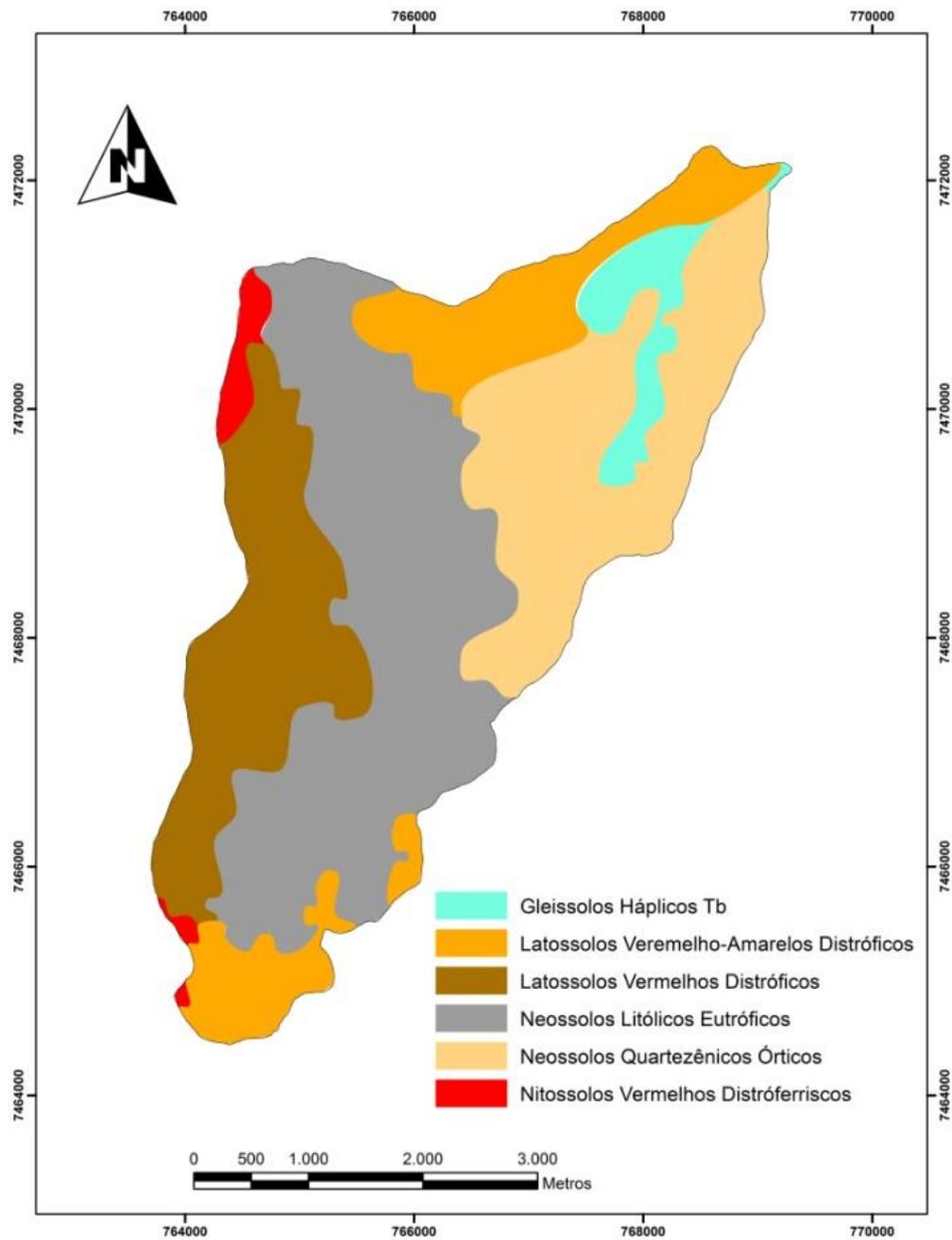


Figura 5. Classes de Solos da Sub-bacia do Córrego do Descalvado, Botucatu S.P.

Fonte: Adaptado de Piroli 2002.

5.1.4 Material Cartográfico

O material cartográfico usado foram as cartas do IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico) na escala 1:10.000, com equidistância vertical de 5 m, da área em estudo. As articulações das cartas são: BOTUCATU-II SF-22-Z-B-VI-3-NO-F, BOTUCATU-IV SR-22-Z-B-VI-3-NE-C.

5.1.5 Imagem de Satélite

Para a elaboração da atualização do Uso do Solo foi utilizada uma Imagem do satélite SPOT de 2010 (Figura 6), que fornece imagens com uma resolução espacial de 10 metros, operando em 5 bandas espectrais, sendo uma no pancromático, uma no azul, uma no verde, uma no vermelho e uma no infravermelho próximo, fornecida pelo Instituto Florestal à Equipe gestora da APA Corumbataí-Tejupá-Botucatu.

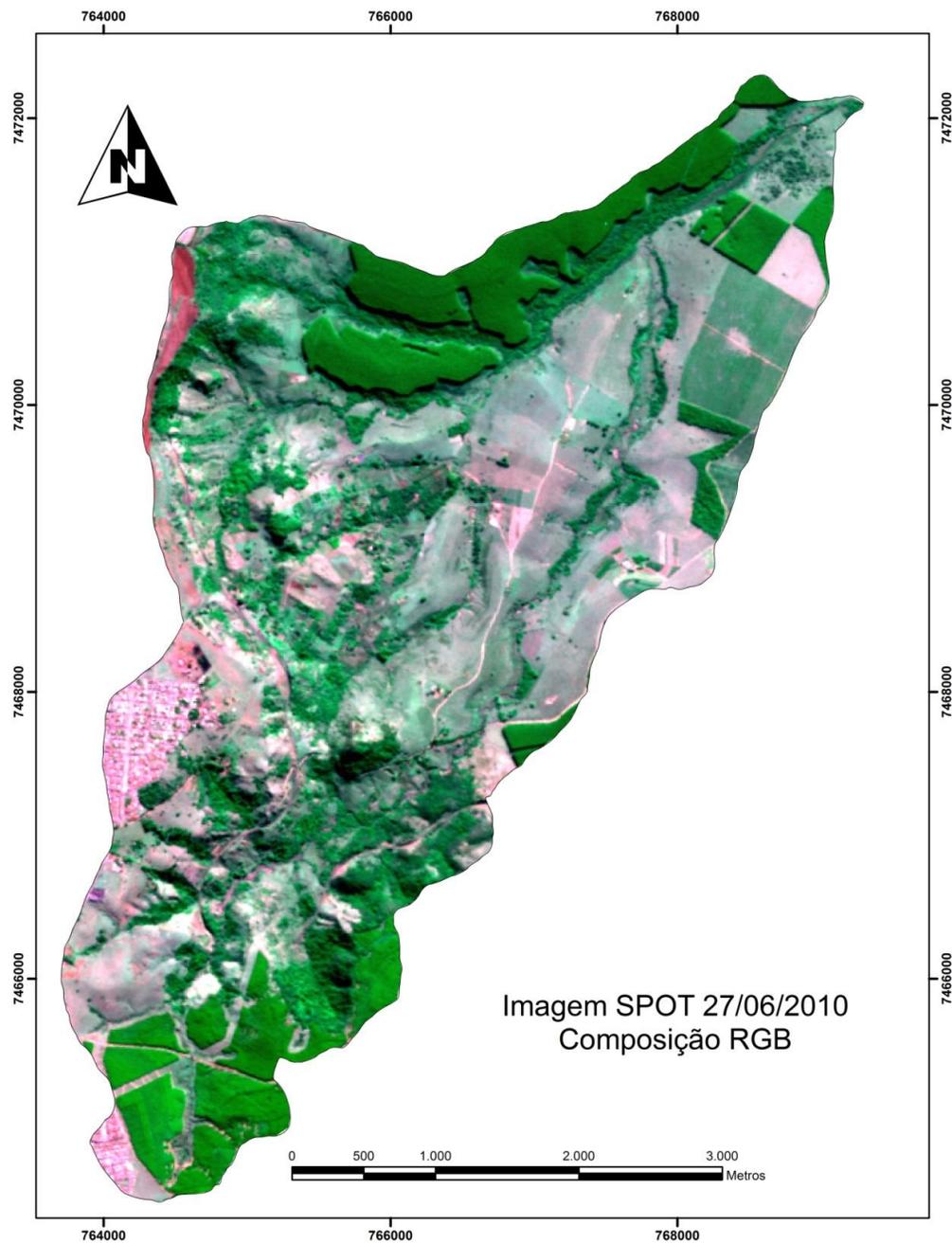


Figura 6. Imagem em composição RGB do Satélite SPOT 2010 da sub-bacia do Córrego Descalvado, Botucatu, S.P.

5.2 Metodologia

5.2.1 Construção do Banco de dados da área de estudo

Iniciou-se o levantamento pela digitalização das cartas planialtimétricas e consequente vetorização da rede de drenagem, curvas de nível e limite da Sub-Bacia em ambiente CAD. Em seguida importou-se estas informações para o SIG, gerando com elas o mapa de declividade e o modelo digital de elevação da sub-bacia. Os intervalos considerados para as classes de declividade, em porcentagem, foram: 0-3; 3-6; 6-12; 12-20; 20-40 e > 40% correspondendo, respectivamente, às classes de relevo: plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado segundo Lepsch et al.(1991).

O mapeamento do uso do solo foi elaborado utilizando-se as imagens do satélite SPOT. Em ambiente SIG foi georreferenciada por registro, isto é, quando se utiliza uma imagem georreferenciada da área como parâmetro para georreferenciar outra imagem. Finalizado este processo, foi vetorizado o uso do solo.

A classificação visual em tela de imagens de satélite é um procedimento pouco usual, porém bastante confiável, desde que os recursos oferecidos para a classificação sejam de boa qualidade. Na confecção do Mapa de Uso do Solo foi necessário caracterizar o uso atual da área de estudo, utilizando-se o receptor GPS topográfico para confirmações do uso no campo.

As informações adquiridas foram organizadas em Planos de Informação (PIs). Para o estudo proposto foram necessários os seguintes PIs: rede de drenagem; curvas de nível, limite, cobertura vegetal e tipos de uso e ocupação das terras.

5.2.2 Diagnóstico Ambiental e Manipulação dos Dados Espaciais

As informações geradas foram transformadas em Modelo Digital do Terreno, Classes de Declividade da sub-bacia seguindo a classificação de Lepsch et al.(1991),

Mapas de fatores e, por fim, Mapas de áreas prioritárias. Os fatores foram selecionados a partir de uma regra de decisão definida, visando atingir o objetivo proposto neste trabalho: Plano de Recomposição Florestal visando a conservação dos recursos hídricos.

Através dos dados obtidos foi possível notar a presença de processos erosivos acelerados ocorrendo na sub-bacia, principalmente nas áreas usadas como pastagens e em relevos mais acentuados. O Diagnóstico Ambiental se baseou na presença/ausência de Proteção Vegetal nas zonas ripárias, áreas de preservação permanente e proteção do solo em áreas declivosas. A partir deste diagnóstico definiu-se a Regra de Decisão.

Foi utilizado o programa Idrisi Selva (CLARKLABS, 2012) para a manipulação dos fatores e geração dos mapas de áreas prioritárias. No módulo de Suporte à Decisão deste programa, estabelecida a regra de decisão e os fatores, é possível criar diversos cenários para a tomada de decisão, desde expansão urbana, expansão Industrial ou de malha viária ou áreas adequadas à disposição de resíduos, desde que a regra de decisão esteja bem estruturada e os fatores bem definidos para o objetivo escolhido.

5.2.3 Regra de decisão

Os critérios utilizados foram proximidade quanto à localização das nascentes e córregos, proximidade quanto aos processos erosivos acelerados, proximidade dos fragmentos florestais existentes e as áreas de maior declividade do terreno. Entende-se que estes fatores são fundamentais para a conservação dos recursos hídricos na sub-bacia hidrográfica.

5.2.4 Fatores

Os fatores foram gerados a partir do módulo de suporte à decisão do programa Idrisi Selva (CLARKLABS, 2012). Neste módulo, primeiramente, definiu-se qual é o objetivo da análise, neste caso Conservação dos Recursos Hídricos. Os fatores gerados apresentam uma escala contínua, que varia de 0 (zero) a 255 (duzentos e cinquenta e cinco),

totalizando 256 valores, sendo o zero o valor de menor importância e o 255 o de maior importância. Após isto, selecionou-se o arquivo das restrições, ou seja, as áreas em que a análise será mascarada. Em sequência, gerou-se os fatores que integram a análise, cada um com um peso, compondo, segundo os critérios, as áreas prioritárias para a conquista do objetivo.

Existem situações em que a contribuição do fator é simétrica, ou seja, até certa distância sua contribuição é crescente, quando atinge um ponto máximo de contribuição e começa a decrescer com a distância. Outra contribuição é a linear crescente, que aumenta de acordo com a distância. Não houve fator de distância com contribuição simétrica ou linear crescente neste trabalho.

5.2.4.1 Proximidade das Nascentes

Este fator foi escolhido por ser a Nascente de enorme importância na conservação dos Recursos Hídricos. São áreas de afloramento natural do Sistema Aquífero Guarani. Seu peso é o maior na escala de importância definida neste trabalho.

A etapa que configura a análise de distância é fundamental na geração dos fatores. Primeiro deve-se ter em mente se a contribuição do fator é crescente, decrescente ou simétrica quando se trata da distância do objeto analisado. Para nascentes, quanto mais distante a vegetação, menor é a importância para a conservação da água e vice-versa e essa importância é linearmente decrescente, quanto mais longe, menos prioritária.

5.2.4.2 Proximidade da Rede de Drenagem

Assim, como o fator anterior, este foi escolhido devido a sua importância na conservação dos recursos hídricos. Pode-se afirmar que quanto mais próximo à rede de drenagem mais importante é a consolidação de vegetação ripária, que protege as águas superficiais da contaminação por sedimentos e por materiais derivados da ação antrópica direta ou indireta. Estas áreas são prioritárias à conservação dos recursos hídricos e

este mapa de fator vem em segundo na ordem de importancia da regra de decisão estabelecida para este estudo.

5.2.4.3 Proximidade de Processos Erosivos

Quando ocorre modificação da cobertura da bacia, pela retirada da sua proteção natural, o solo fica desprotegido e a erosão aumenta no período chuvoso, aumentando também a produção de sedimentos. Este é o local onde ocorre erosão superficial e subsuperficial. Chuvas frequentes dificultam o estabelecimento da vegetação pela erosão superficial e também pelos efeitos da enxurrada. Por esta razão este fator foi colocado em terceiro lugar na ordem desta regra de decisão. Quanto mais próximo do processo erosivo maior é a importância da vegetação neste local.

5.2.4.4 Declividade

Inclinações maiores das encostas significam maior velocidade no escoamento de água e, portanto, menor disponibilidade hídrica e infiltração de água para a recarga do lençol freático, além de favorecer o surgimento de processos erosivos em áreas sem a cobertura vegetal adequada. Nesta regra de decisão, o fator declividade ficou em quarto lugar na ordem de importância, logo atrás do fator Proximidade dos Processos Erosivos. As áreas com declive acentuado são prioritárias à Recomposição Florestal visando à redução do escoamento superficial de água e aumento da infiltração, logo, à conservação dos recursos hídricos.

5.2.4.5 Proximidade da Cobertura Florestal

O Fator Proximidade dos Fragmentos Florestais foi escolhido para que a avaliação multicriterial apontasse áreas que formem corredores ecológicos, unindo os fragmentos da sub-bacia. Apesar de sua importância na manutenção da biodiversidade e nos

processos hidrológicos da bacia, este fator ficou em último na ordenação de importância da regra de decisão, por ser o que menos contribui à conservação dos recursos hídricos em comparação aos demais fatores escolhidos.

5.2.5 Restrições

Restrições são utilizadas para limitar as alternativas consideradas. Em muitos casos, restrições podem ser expressas na forma de mapas booleanos (lógicos), com as áreas excluídas de consideração sendo codificadas com zero (0) e aquelas abertas à consideração codificadas com um (1). Entretanto, em alguns casos, a restrição pode ser expressa como alguma característica que o conjunto de decisão deve possuir. Por exemplo, pode ser requerido que o conjunto de decisão consista de uma única área contínua. De qualquer forma, ambos os tipos de restrição têm o mesmo significado: limitar as alternativas estudadas.

De acordo com o objetivo proposto pelo projeto, áreas urbanas, áreas com construções rurais e áreas com vegetação nativa consolidada foram tratadas como restrições uma vez que, nestas regiões, a ocupação do solo já está definida, seja pelo reflexo da expansão urbana e desenvolvimento rural ou por força de lei, no caso, o Código Florestal Brasileiro.

5.2.6 Avaliação

Regras de decisão são estruturadas no contexto de um objetivo específico. A natureza desse objetivo e como ele é visto pelos tomadores de decisão (isto é, seus motivos) servirão como uma força-guia no desenvolvimento de uma regra de decisão específica. Um objetivo é, então, uma perspectiva que serve para guiar a estruturação de regras de decisão. O processo de, efetivamente, aplicar-se a regra de decisão é chamado de avaliação.

(A) Avaliações Multicritérios

Para se atingir um objetivo específico, é freqüente o caso em que diversos critérios devem ser avaliados. Tal procedimento é chamado de *Avaliação Multicritérios*.

(B) Avaliações Multiobjetivos

Enquanto muitas das decisões a serem tomadas são induzidas por um único objetivo, também acontece de haver tomadas de decisão que devem satisfazer a vários objetivos. Um problema multiobjetivo é encontrado sempre que houver dois ou mais conjuntos de candidatos (conjuntos de entidades) e membros a partilhar. Os objetivos podem ser de natureza complementar ou conflitante

5.2.7 Risco de Decisão

Risco de decisão pode ser entendido como a probabilidade de que a decisão tomada esteja errada. O risco resulta da incerteza e sua avaliação requer, assim, uma combinação de estimativas de incertezas das várias fontes envolvidas (incerteza na base de dados e na regra de decisão) e procedimentos.

5.2.8 Compensação

A compensação entre fatores (*trade-off*) pode ser pensada como uma taxa de substituição, ou seja, o quanto de um fator que o tomador de decisão dispõe-se a abrir mão, em favor de uma “quantidade” especificada de algum outro fator.

5.2.9 Decisão Estratégica na Análise Multicriterial

Segundo Eastman (2001), a Teoria de Decisão trata da lógica pela qual se chega a uma escolha entre alternativas. O que são essas alternativas varia de problema a problema. Elas podem ser ações alternativas, hipóteses alternativas sobre um fenômeno, objetivos alternativos e assim por diante. No contexto do SIG, é útil distinguir-se entre

decisões políticas e decisões sobre alocação de recursos. A última envolve decisões que afetam diretamente a utilização de recursos (por exemplo, terra) enquanto a primeira somente pretende influenciar o comportamento decisório de terceiros que, por sua vez, irão fazer o comprometimento dos recursos. O SIG possui um potencial considerável em ambas as áreas.

No contexto de decisões políticas, o SIG é mais comumente utilizado para informar o tomador de decisão. Entretanto, ele também tem potencial como um instrumento de modelagem de processos, com o qual os efeitos espaciais do comportamento previsto da decisão podem ser simulados.

Decisões sobre alocação de recursos são também excelentes candidatas à análise por meio de SIG. Na verdade, a avaliação e a alocação de terras são das atividades mais importantes no gerenciamento de recursos. Com o emprego de um SIG, há a oportunidade para um processo de avaliação de terras explicitamente mais racional. Entretanto, há necessidade de um constante desenvolvimento de procedimentos e instrumentos para a aplicação de regras de decisão e modelagem preditiva, para que esse potencial do SIG seja efetivamente aproveitado.

Definida a análise multicriterial, a metodologia para a seleção de áreas prioritárias para a gestão de uma bacia hidrográfica, a partir de características relevantes à conservação da água e manutenção do ciclo hidrológico, a seleção de critérios (fatores e restrições) tornou-se parte importante na elaboração do mapa final de prioridades.

A definição dos critérios foi orientada por consulta bibliográfica e por meio de consultas a pesquisadores com experiências em diferentes áreas relevantes ao tema do trabalho.

5.2.10 Pesos dos Fatores

Os pesos de compensação, que expressam a importância ou ordem de importância dos fatores no processo de tomada de decisão, foram determinados com base na revisão de literatura, utilizando o Método da Comparação Pareada, proposto por Saaty (1977) no contexto do Processo Hierárquico Analítico. Esse método baseia-se na elaboração de uma

matriz de comparação pareada entre os fatores, de acordo com a importância relativa entre pares de fatores (Eastman, 2001).

5.2.11 Matriz de Comparação Pareada

Para a elaboração da matriz de comparação, os fatores foram comparados dois a dois, utilizando como referência a escala contínua de pontos (Figura 7) e classificados segundo a importância relativa entre eles.

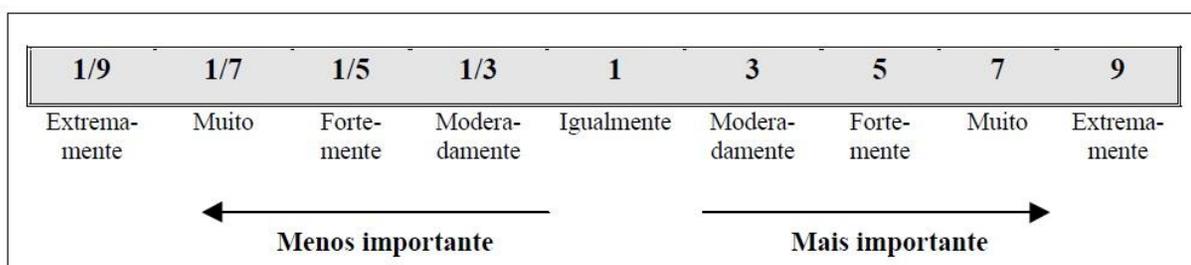


Figura 7. Escala contínua utilizada na Matriz de Comparação Pareada para gerar os pesos de cada fator na Análise Multicriterial.

5.2.12 Análise Multicriterial

A integração entre técnicas de Tomada de Decisão Multicritérios (TDMC) e SIG tem proporcionado um avanço considerável nas abordagens convencionais de análise de adequação de uso da terra por sobreposição de mapas. A TDMC em ambiente SIG pode ser pensada como um processo que combina e transforma dados espaciais e não-espaciais (entrada) em uma decisão resultante (saída). Os procedimentos (ou regras de decisão) de TDMC definem um relacionamento entre os mapas de entrada e o mapa de saída. Os procedimentos envolvem a utilização de dados geográficos, as preferências dos tomadores de decisão e o tratamento dos dados e preferências de acordo com regras de decisão especificadas. Consequentemente, duas considerações são de importância crítica para a TDMC

espacial: (i) as capacidades do SIG de aquisição, armazenamento, recuperação, manipulação e análise de dados; e (ii) as capacidades da TDMC de combinar os dados geográficos e as preferências do tomador de decisão em valores unidimensionais de decisões alternativas. Uma série de regras de decisão tem sido implementada em ambiente SIG para abordar a questão da adequação de uso do solo. As regras de decisão podem ser classificadas em multiobjetivos e multicritérios (multiatributos).

Na última década, ou pouco mais, vários métodos de avaliação multicritérios têm sido implementados em ambiente SIG, incluindo a Combinação Linear Ponderada (CLP) e suas variantes; Método do Ponto Ideal; Análise de Concordância; e Processo Hierárquico Analítico. Entre esses procedimentos, a CLP e as operações Booleanas de sobreposição, ou seja, a intersecção (AND) e a união (OR), são considerados os mais diretos e os mais freqüentemente empregados.

5.2.12.1 Combinação Linear Ponderada

A CLP, também conhecida por ponderação aditiva simples, é baseada no conceito de média ponderada. O tomador de decisão assinala diretamente os pesos de "importância relativa" a cada mapa de atributo. Uma pontuação (score) total é então obtida para cada alternativa, multiplicando-se o peso de importância assinalado para cada atributo pelo valor escalar dado à alternativa sobre aquele atributo e somando-se os produtos de todos os atributos. Quando os escores totais são calculados para todas as alternativas, a alternativa com o escore geral mais alto é escolhida. Esse método pode ser operacionalizado usando-se qualquer SIG que possua capacidade de sobreposição (*overlay*). As técnicas de sobreposição permitem que os mapas de critérios (mapas de entrada) sejam combinados de modo a determinar o mapa final (mapa de saída). Os métodos podem ser implementados tanto em ambientes SIG *raster* como vetoriais. Alguns SIGs possuem rotinas próprias para o método da CLP. Há, entretanto, algumas limitações fundamentais associadas ao uso desses procedimentos em um processo de tomada de decisão. Jiang e Eastman (2000) fazem uma discussão dessas limitações e sugerem que o método da Média Ponderada Ordenada (MPO)

proporciona uma extensão e uma generalização dos métodos convencionais de combinação de mapas em SIG.

5.2.12.2 Média Ponderada Ordenada

A MPO é uma classe de operadores multicritérios (YAGER, 1988). Ela envolve dois conjuntos de pesos: pesos de importância do critério (ou pesos de fatores) e pesos de ordenação. Um peso de importância é assinalado para cada critério (atributo) para todos os locais da área de estudo, para indicar sua importância relativa (de acordo com as preferências do tomador de decisão) em um conjunto de critérios sob consideração.

Os pesos de ordenação estão associados com os valores dos critérios em uma base local-a-local (objeto-a-objeto). Eles são assinalados a um atributo de local, com valores em ordem decrescente, sem assinalar de que atributo o valor é proveniente. Os pesos de ordenação são essenciais aos procedimentos de combinação (agregação) no método da MPO. Eles são associados ao grau de ORness, que indica o grau ao qual um operador MPO é similar à conectiva lógica OR em termos de seu comportamento de combinação. O parâmetro é também associado com uma medida de compensação (*trade-off*), indicando o grau de compensação entre critérios. Os parâmetros associados com as operações MPO servem como um mecanismo para guiar a análise de adequação do uso da terra com base em um SIG. A medida ORness permite a interpretação dos resultados da MPO no contexto da teoria comportamental da tomada de decisão. As operações MPO tornam possível o desenvolvimento de uma variedade de estratégias de uso da terra, variando do pessimismo extremo (a estratégia do tipo "mínimo", baseada na combinação pela lógica AND), passando pela estratégia intermediária (neutra) em termos de risco (correspondendo à CLP convencional), até a estratégia extremamente otimista (a estratégia do tipo "máximo", baseada na combinação pela lógica OR). Desse modo, a MPO pode ser considerada como uma extensão e uma generalização dos procedimentos convencionais de combinação em um SIG.

Outra técnica multicritérios, que tem sido incorporada aos procedimentos de análise de adequação em SIG, é a Análise Hierárquica Analítica (SAATY, 1980). Esse método pode ser usado de duas maneiras distintas em ambiente SIG. Primeiro, ela

pode ser empregada para derivar os pesos associados aos mapas de critérios. Então, os pesos podem ser combinados com os mapas de critérios de modo similar aos métodos de combinação aditiva linear. Esta abordagem é de particular importância para problemas envolvendo um grande número de alternativas representadas por meio de dados matriciais (*raster*), quando é impossível executar uma comparação pareada das alternativas (EASTMAN; KYEM; TOLEDANO, 1993). Segundo, o princípio da AHA pode ser usado para agregar a prioridade para todos os níveis da estrutura hierárquica, incluindo o nível representando alternativas. Neste caso, um número relativamente pequeno de alternativas pode ser avaliado. Esta abordagem é também mais apropriada para implementação em SIGs vetoriais. Deve-se notar que a AHA pode ser usada como uma "ferramenta" de consenso em situações envolvendo a tomada de decisão por um comitê ou grupo. Apesar do uso abrangente da AHA, alguns pesquisadores questionam as funções teóricas do método.

Para o cálculo dos pesos de cada fator neste trabalho, foi utilizado o processo de tomada de decisão da Análise Hierárquica Analítica (SAATY, 1977). Os pesos definidos expressaram a importância, ou ordem de importância dos fatores no processo de tomada de decisão e foram determinados a partir de estudos na literatura existente, por experiências em aplicações já realizadas ou, ainda, através da Técnica Participatória, como descrito por Sartori (2010).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Planos de Informação

Os planos de informação gerados foram organizados de forma a facilitar a criação dos fatores, necessários à modelagem dos mapas finais de área prioritárias. Todo o banco de dados gerados foi utilizado no Sistema UTM (Universal Transverso de Mercator) e no datum Córrego Alegre, o mesmo das Cartas Topográficas Utilizadas.

Os planos de informação gerados foram Rede de Drenagem (Figura 8), extraído das cartas Planialtimétricas e atualizado à partir das Ortofotos aéreas de 2005; Uso do solo (Figura 9), extraído da Imagem SPOT 2010; Processos Erosivos (Figura 10), mapeados a partir das Ortofotos aéreas de 2005 e atualizados em campo com Receptor GPS; Declividade (Figura 11), realizado à partir das Curvas e Nível vetorizadas das cartas topográficas; Mapa altimétrico (Figura 12) e Modelo Digital do Terreno (Figura 13).

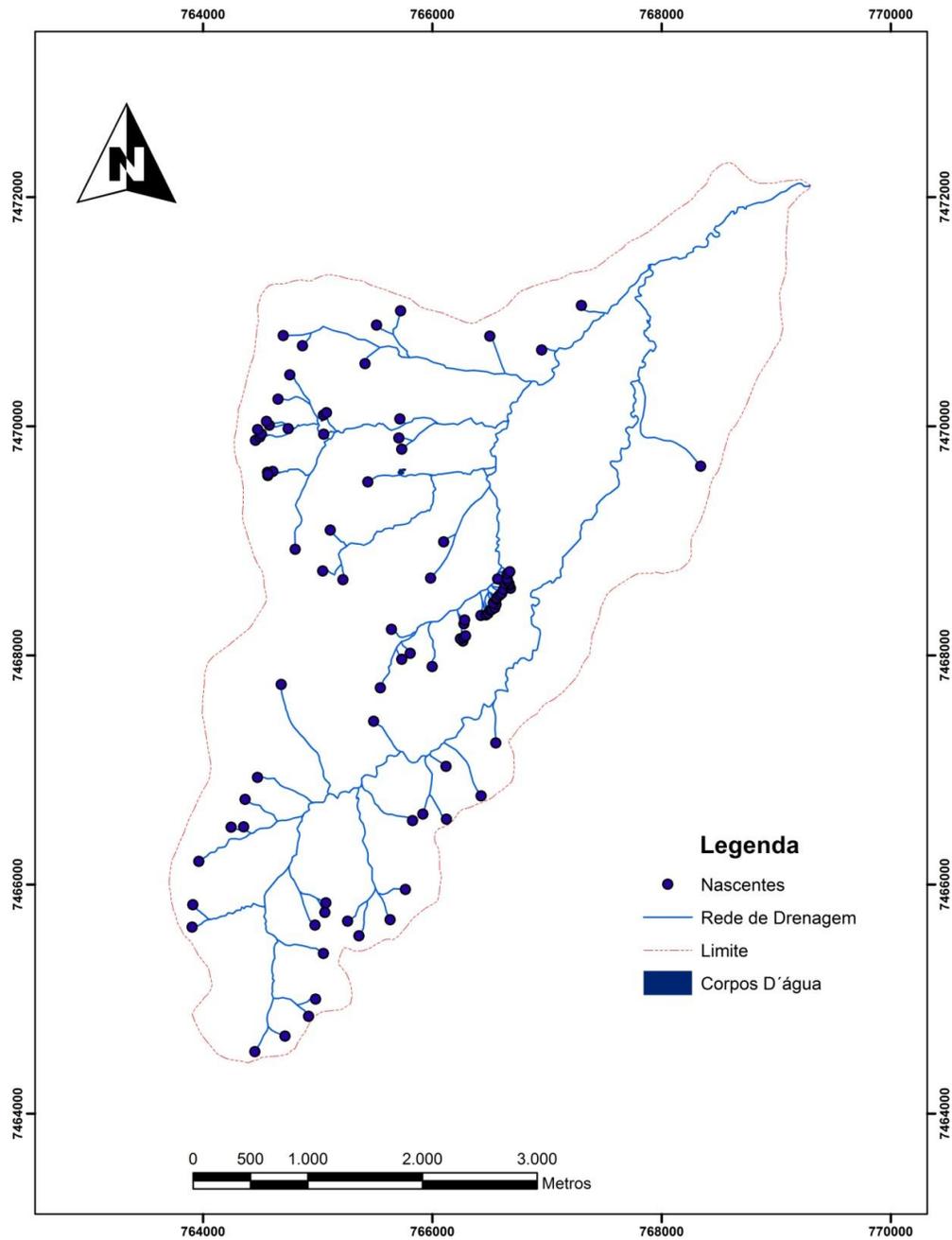


Figura 8. Rede de Drenagem da Sub-bacia do Ribeirão Descalvado extraído das cartas Planialtimétricas e atualizado à partir das Ortofotos aéreas de 2005.

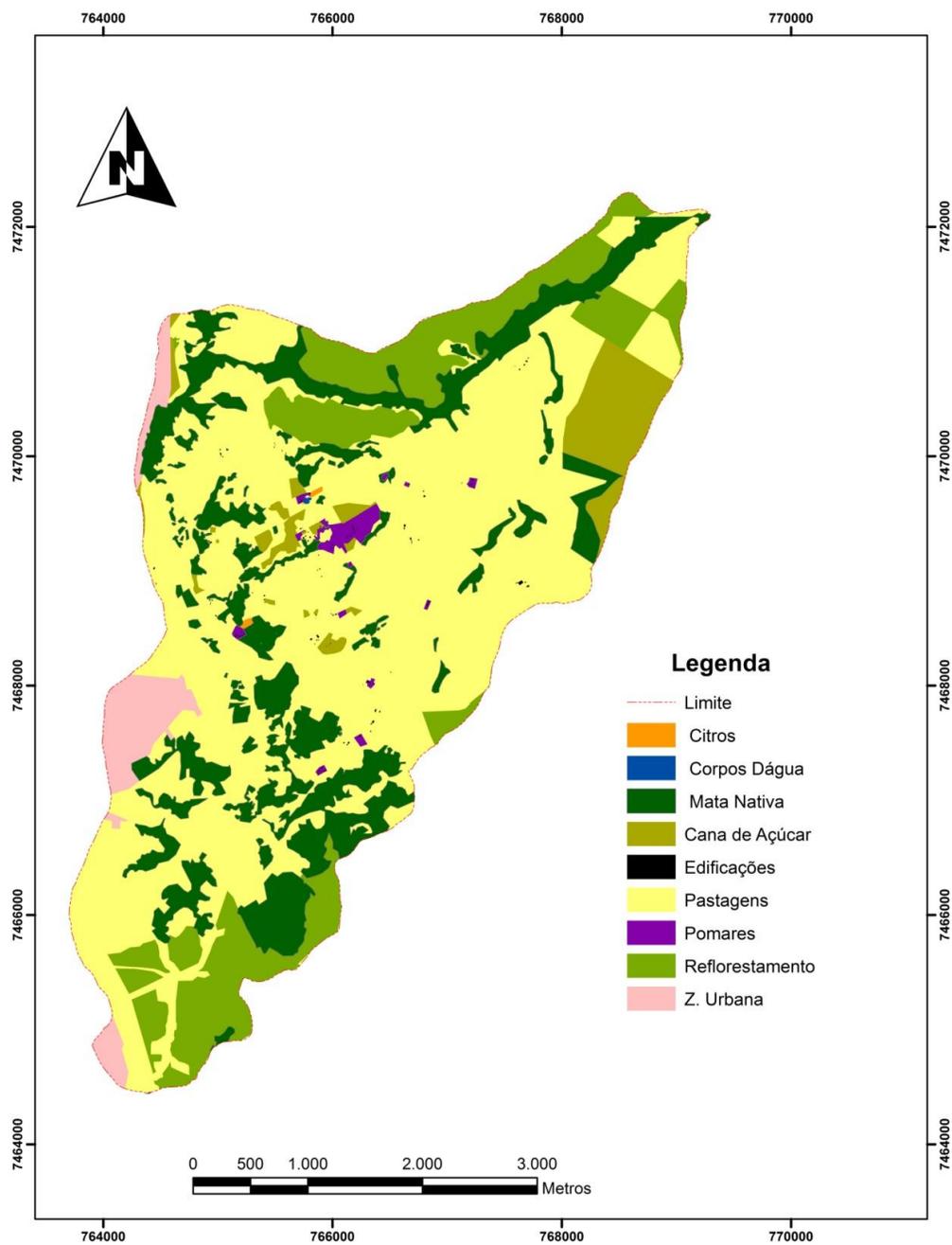


Figura 9. Uso do Solo da Sub-bacia do Ribeirão Descalvado, extraído da Imagem SPOT 2010.

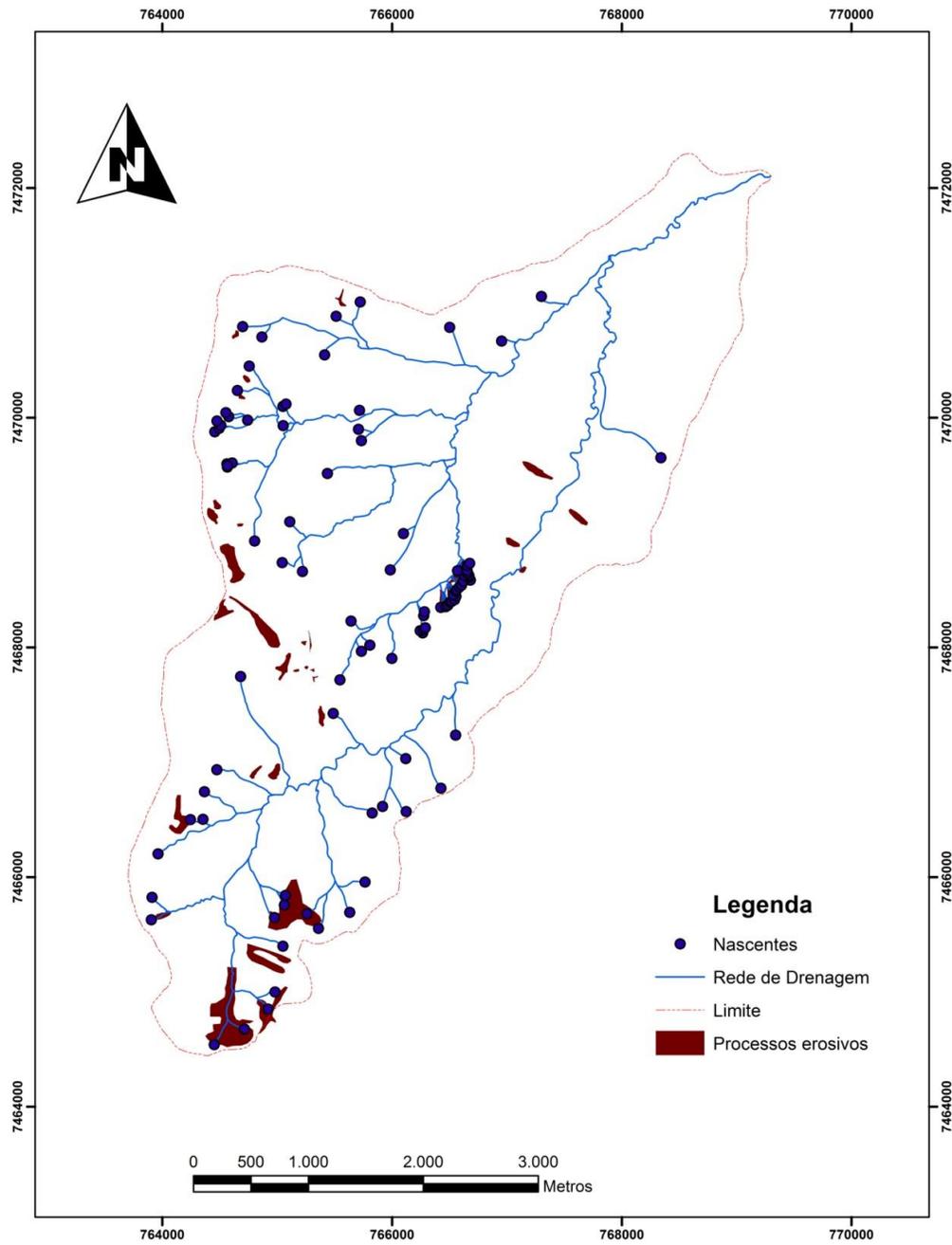


Figura 10. Processos Erosivos da Sub-bacia do Ribeirão Descalvado mapeados a partir das Ortofotos aéreas de 2005 e atualizados em campo com Receptor GPS.

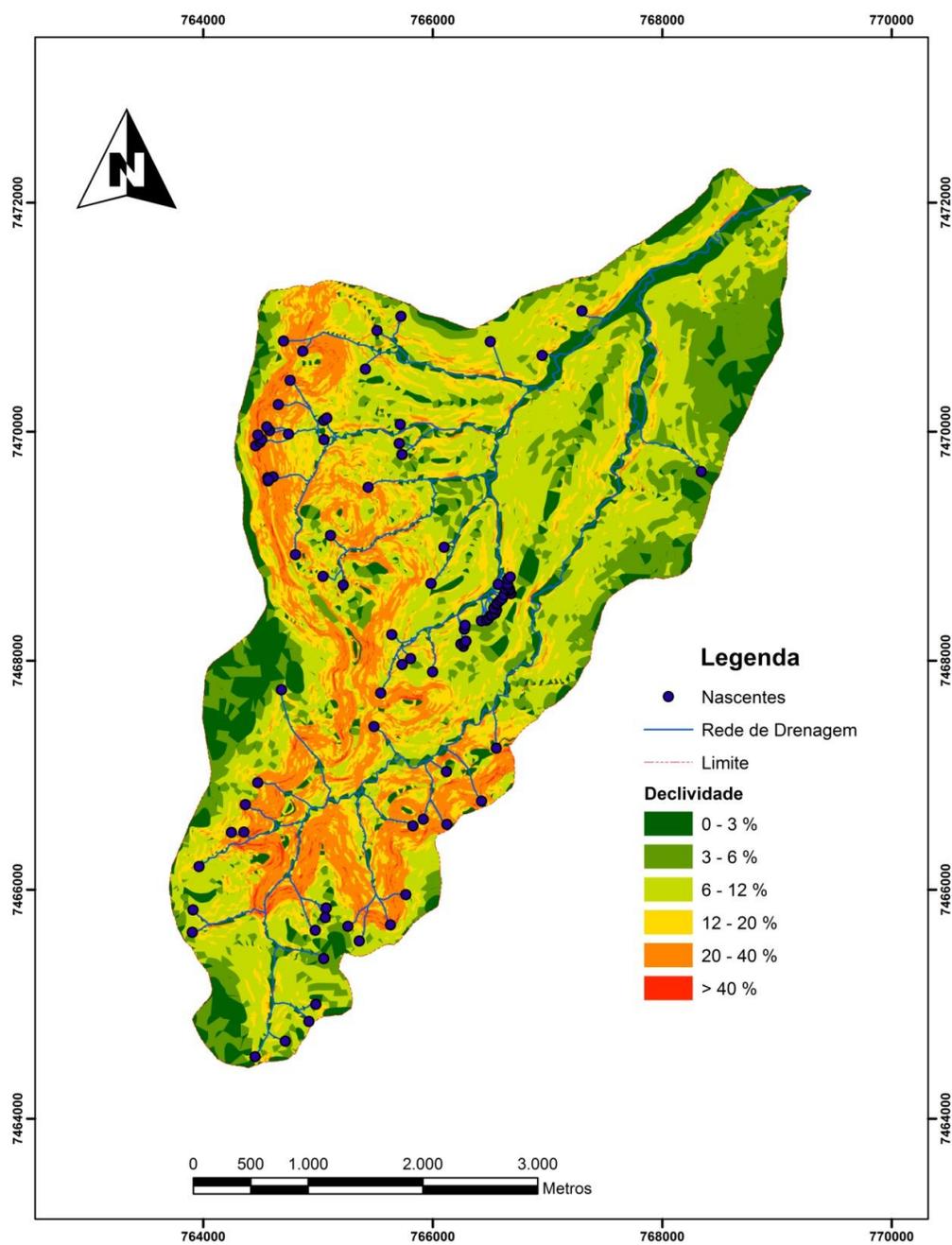


Figura 11. Classes de Declividade da Sub-bacia do Ribeirão Descalvado realizado à partir das Curvas de Nível vetorizadas das cartas topográficas, classificadas segundo Lepsch (1991).

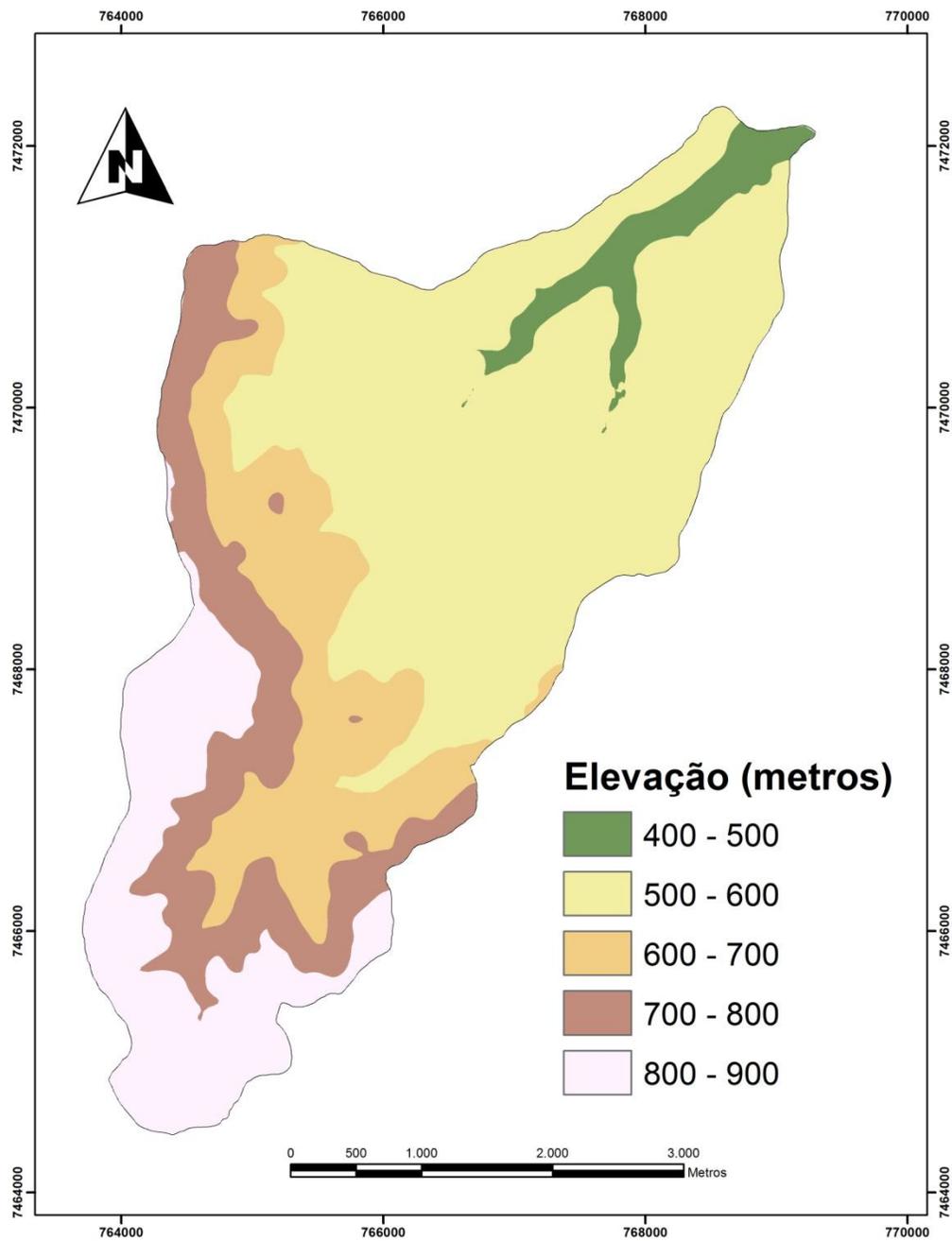


Figura 12. Mapa Altimétrico da Sub-bacia do Ribeirão Descalvado realizado à partir das Curvas de Nível vetorizadas das cartas topográficas.

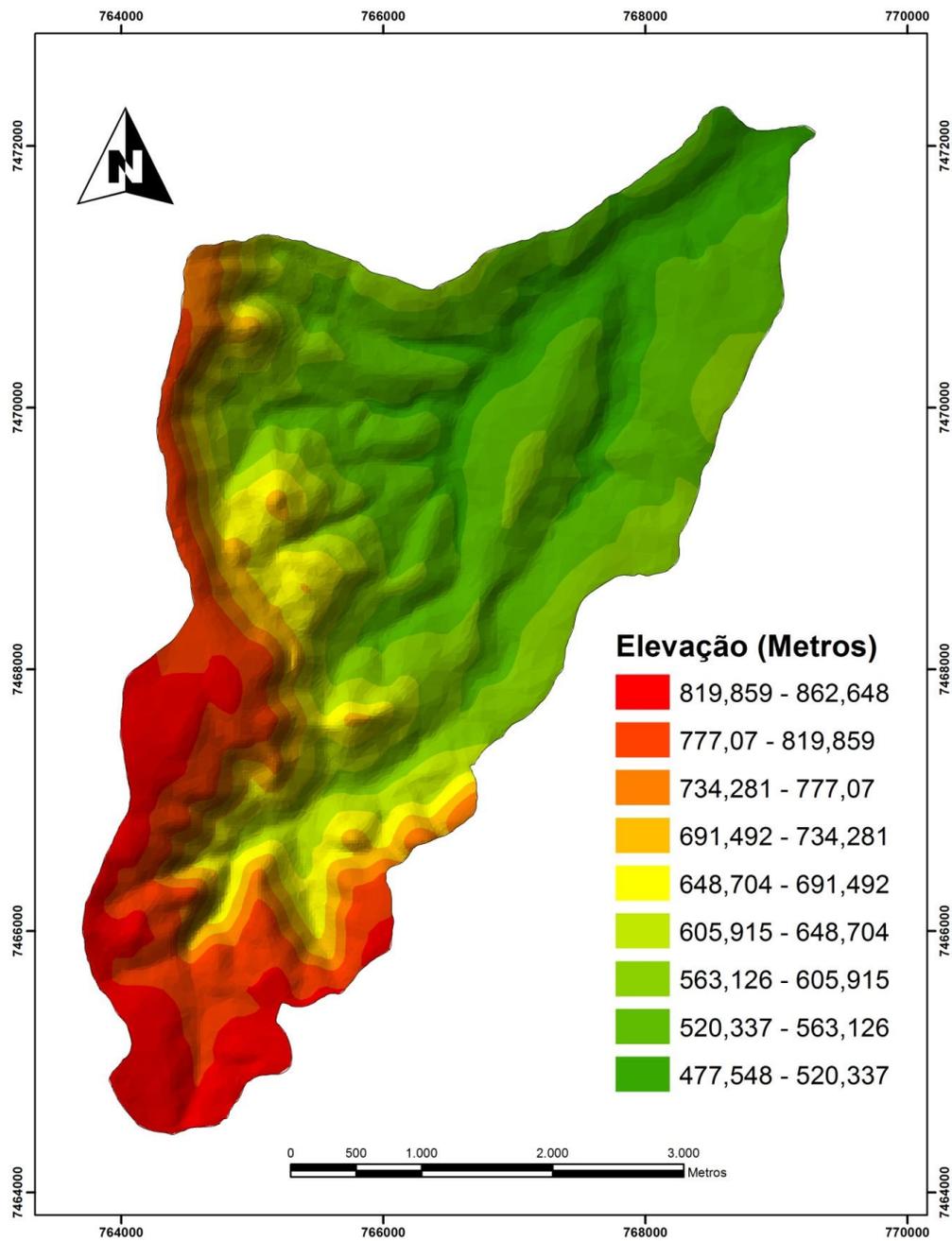


Figura 13. Modelo Digital do Terreno da Sub-bacia do Córrego do Descalvado realizado à partir das Curvas de Nível vetorizadas das cartas topográficas.

6.2 Definição dos Critérios

Definidos os critérios: proximidade dos recursos hídricos, processos erosivos acelerados, áreas com declive acentuado e conexão de fragmentos florestais para a conservação dos recursos hídricos, gerou-se os fatores abaixo descritos.

6.2.1 Fatores

Para a análise de distância, limitou-se a distância máxima de cada fator de modo que fosse apenas o suficiente para cobrir toda a área de estudo. Isto mostrou um melhor refinamento e distribuição dos valores das áreas prioritárias para cada fator. Esta técnica consistiu em obter valores ao acaso de forma que toda a área fosse analisada, porém sem extrapolar demais os limites da sub-bacia, mantendo os valores o mais próximo possível do limite. Por esta razão alguns fatores tiveram um valor maior na análise de distância, por se concentrarem em uma região específica da sub-bacia e necessitarem de um valor maior para cobrir toda a sua extensão.

Os Fatores foram gerados na seguinte ordem de importância para o objetivo proposto: Proximidade às Nascentes; Proximidade à rede de drenagem; Proximidade aos processos erosivos; Declividade; e Proximidade aos fragmentos florestais.

6.2.1.1 Proximidade às Nascentes

A distância utilizada para este fator foi de 2.500 metros, este valor foi suficiente para preencher toda a extensão da sub-bacia com valores distribuídos de zero (menor prioridade) a 255 (maior prioridade) em uma função linear decrescente, conforme demonstrado na Figura 14, a seguir.

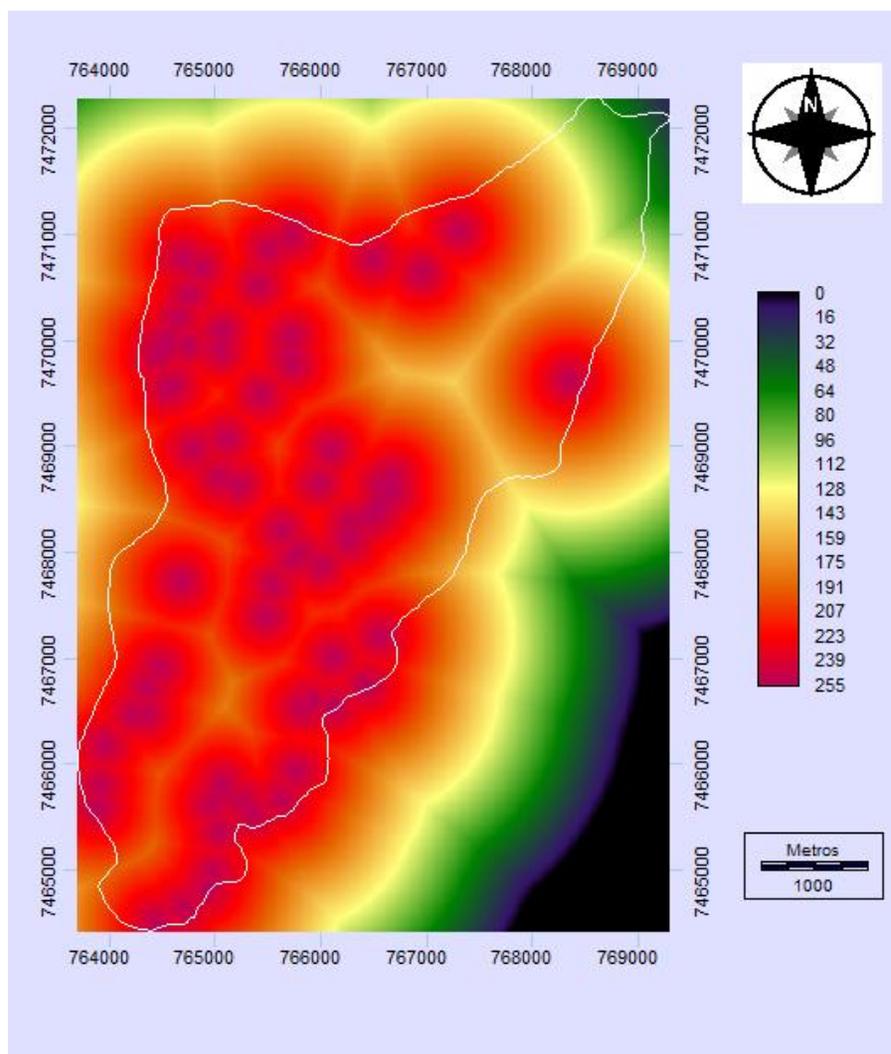


Figura 14. Fator Proximidade às Nascentes da Sub-Bacia do Córrego Descalvado.

6.2.1.2 Proximidade à Rede de Drenagem

Para o mapa de proximidade da rede de drenagem foi contabilizada a distância dos corpos d'água, a partir do plano de informação rede hidrográfica. Este, associado aos limites da bacia, possibilitou definir as distâncias somente dentro dos limites da Bacia do Córrego Descalvado. O Fator (Figura 15) foi normalizado (escala 0 – 255 bytes) com uma função linear decrescente. Desse modo obtiveram-se valores iguais e/ou próximos a 255 quanto mais próximo da rede hidrográfica.

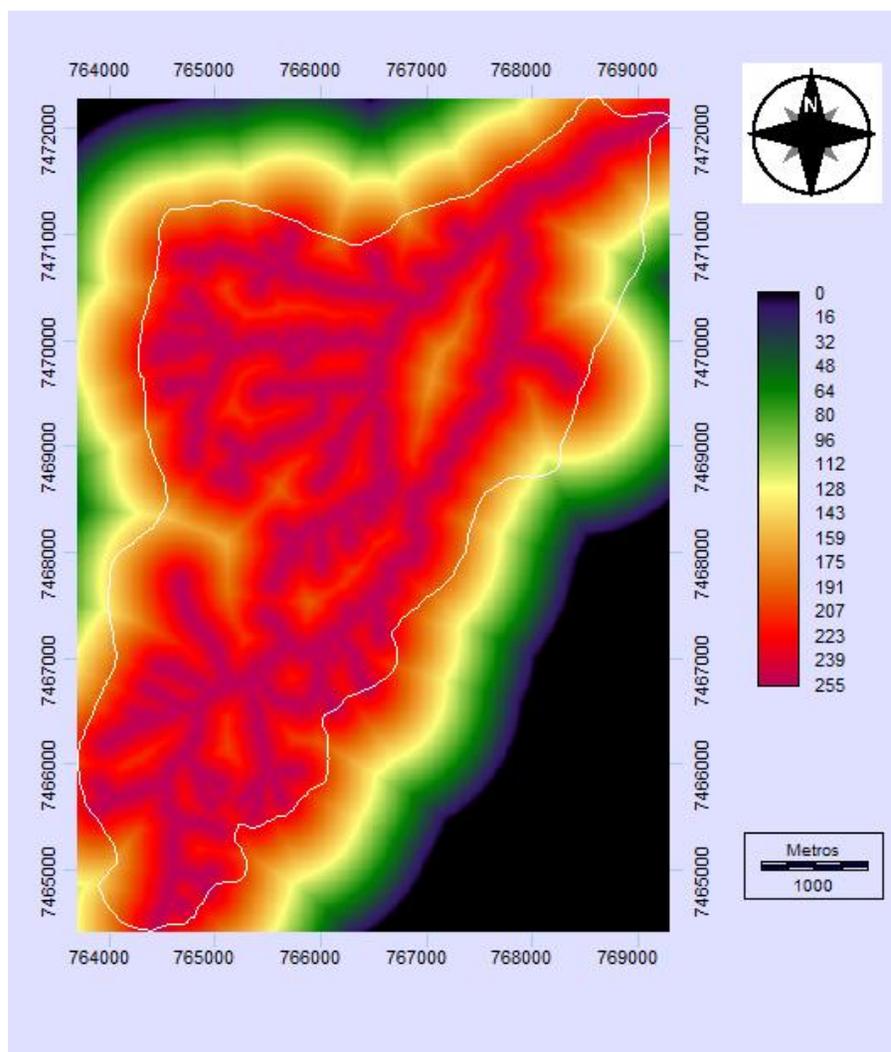


Figura 15. Fator Proximidade à Rede de Drenagem da Sub-Bacia do Córrego Descalvado.

6.2.1.3 Proximidade aos Processos Erosivos

Para elaboração deste mapa de fator (Figura 16), utilizou-se o plano de informação Processos Erosivos Acelerados. Considerou-se que áreas com presença de erosão laminar e superficial, além de se encontrarem em relevo mais acentuado, são mais adequadas à recomposição devido à necessidade de proteção permanente do solo e à dificuldade de restauração do ambiente após este tipo de degradação. Sendo assim, a imagem desse fator foi normalizada (0-255 bytes) de maneira a ter maior prioridade para as áreas próximas aos

processos erosivos. Dentro de uma paisagem, o relevo pode, portanto, ter uma influência decisiva na colonização vegetal, devido ao papel que ele tem em diversos fatores ecológicos.

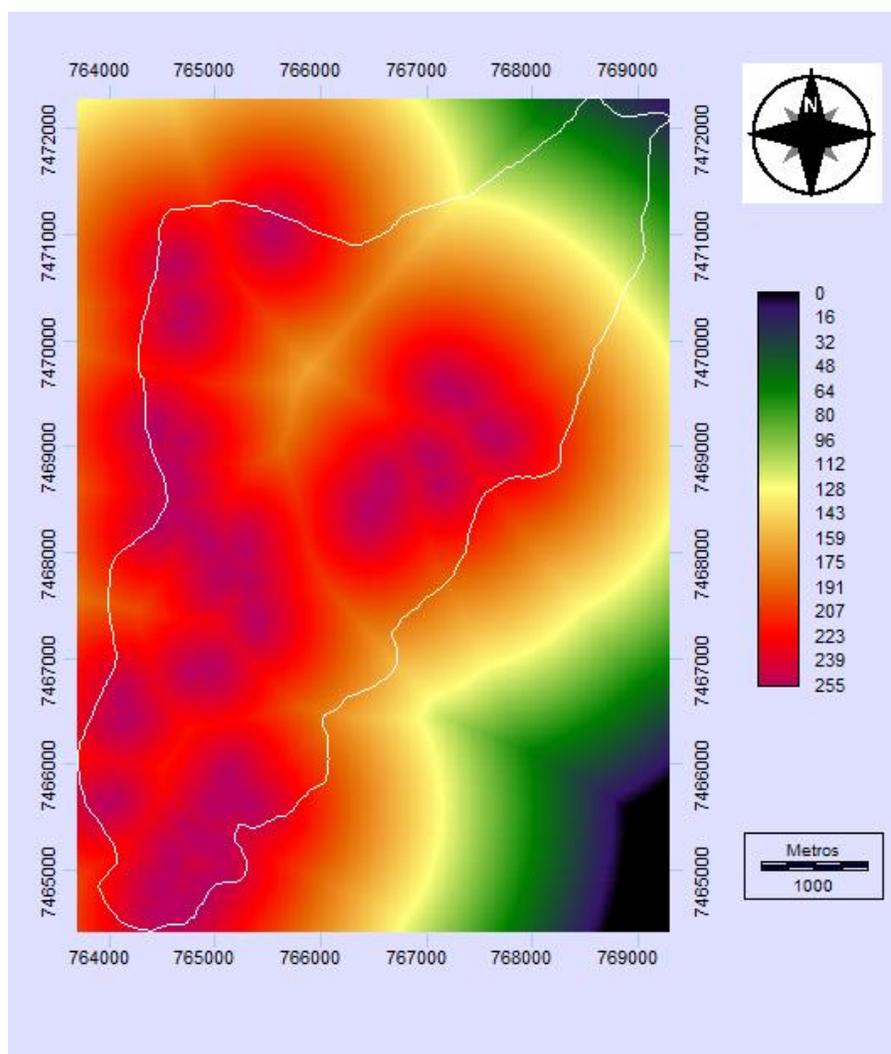


Figura 16. Fator Proximidade aos Processos Erosivos da Sub-Bacia do Córrego Descalvado.

6.2.1.4 Declividade

Para elaboração desse mapa de fator (Figura 17), utilizou-se o plano de informação Classes de Declividade, em porcentagem. Considerou-se que áreas com declive mais acentuado são mais adequadas à recomposição, devido à necessidade de proteção

permanente do solo e à dificuldade de mecanização dessas áreas para o processo produtivo. Sendo assim, a imagem desse fator foi normalizada (0-255 bytes) de maneira a ter maior prioridade para os maiores valores de declividade. Dentro de uma paisagem, o relevo pode, portanto, ter uma influência decisiva na colonização vegetal, devido ao papel que ele tem em diversos fatores ecológicos.

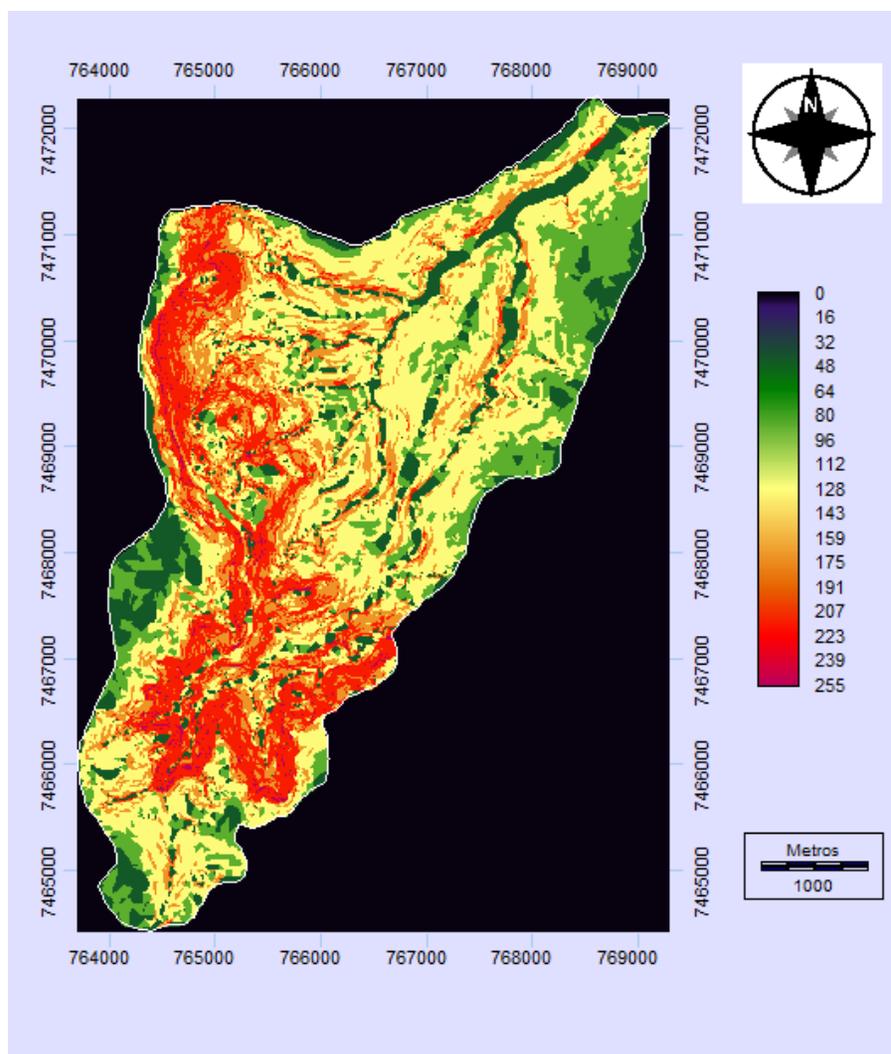


Figura 17. Fator Declividade da Sub-Bacia do Córrego Descalvado.

6.2.1.5 Fragmentos Florestais

Com esse mapa (Figura 18) foram priorizadas as uniões entre os fragmentos de floresta, independentemente de seus tamanhos. A partir do plano de informação Fragmentos de Floresta (extraído do uso) gerou-se um mapa com as distâncias entre os fragmentos. Esse mapa foi associado ao limite da bacia e, em seguida, foi normalizado (escala 0 a 255 bytes) com uma função linear decrescente. Dessa forma ficou garantido que quanto mais próximo à cobertura florestal maior a importância (prioridade) da distância.

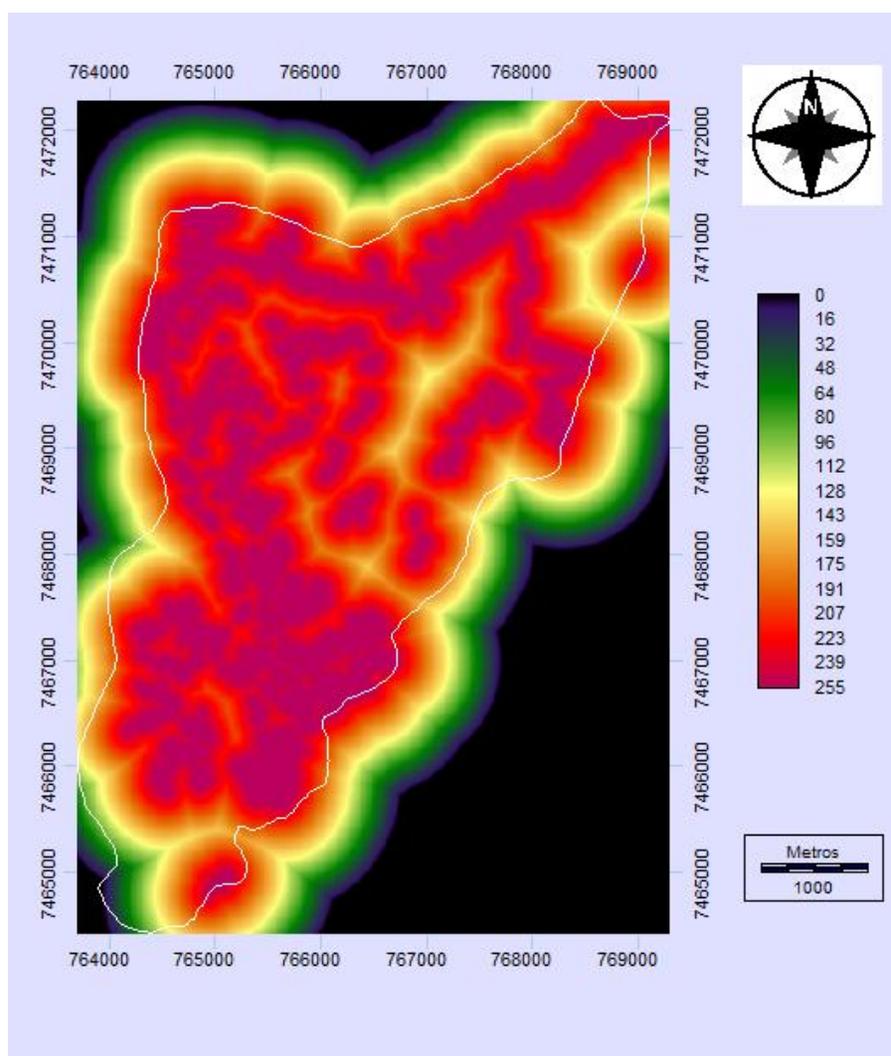


Figura 18. Fator Proximidade aos Fragmentos Florestais da Sub-Bacia do Córrego Descalvado.

6.2.2 Restrições

O mapa de Restrições é aquele em que se define o que será mascarado na análise multicriterial. Como o objetivo é a definição de áreas prioritárias a recomposição florestal, áreas em que já existem ocupação antrópica consolidada e vegetação nativa com porte florestal não foram definidas como áreas passíveis de recuperação ambiental visando à conservação da água, pois, ou já possuem vegetação ou construções impedem o uso para este fim. Na Figura 19, demonstram-se as restrições dentro da sub-bacia. Para limitar a Avaliação Multicriterial, consideraram-se também as áreas externas à sub-bacia como restrições.

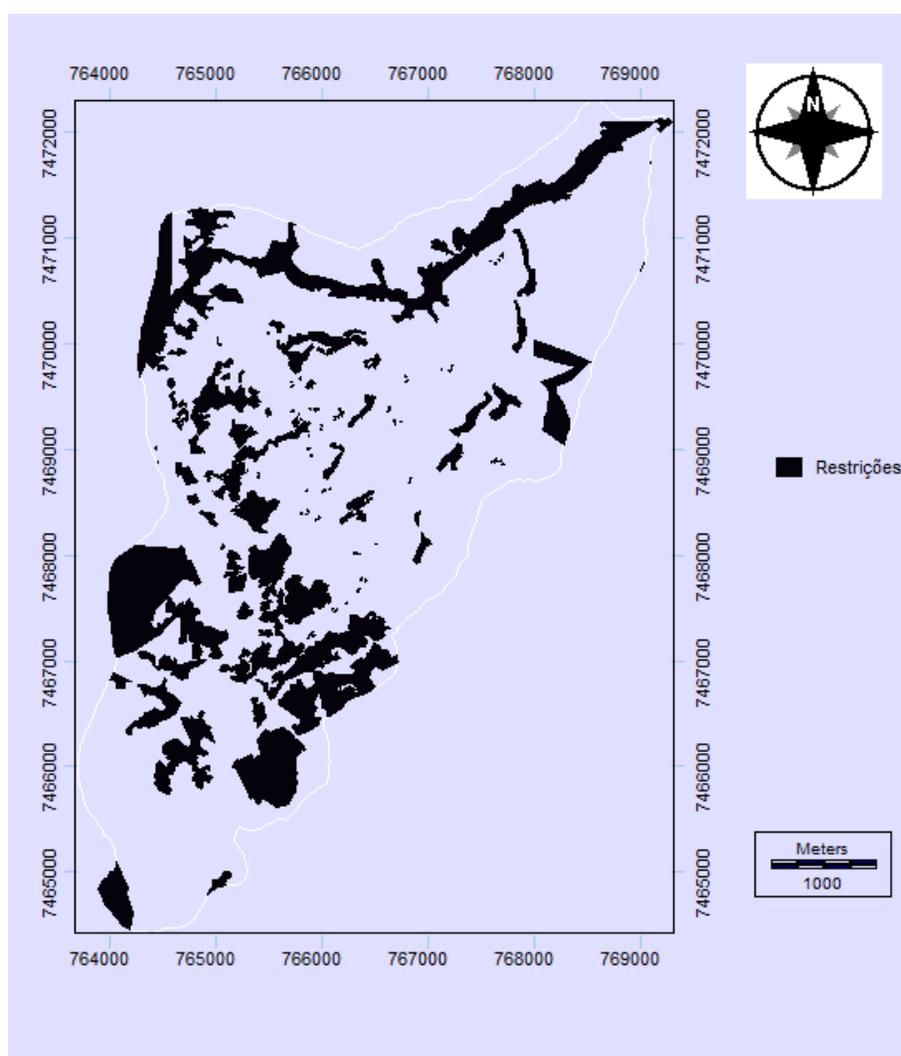


Figura 19. Restrições à análise de áreas prioritárias dentro da Sub-Bacia do Ribeirão Descalvado.

6.3 Definição dos Pesos dos Fatores

Para a definição dos pesos dos Fatores utilizou-se o método da comparação pareada através de uma Matriz. Foram então definidos valores para cada comparação entre pares de fatores, de modo que houvesse consistência na matriz e buscando uma ordenação nos pesos finais dos fatores (Tabela 1).

Tabela 1. Matriz de comparação pareada entre os fatores definidos para a Avaliação Multicritérios

Fatores	Fragmentos	Declividade	Erosões	Rede de Drenagem	Nascentes	Pesos
Fragmentos	1	-	-	-	-	0,0781
Declividade	2	1	-	-	-	0,1018
Erosões	2	2	1	-	-	0,1263
Rede de Drenagem	3	3	2	1	-	0,2014
Nascentes	3	3	5	5	1	0,4924
Taxa de Consistência (TC) = 0,09						1,000

Nesta etapa de definição de pesos através da Matriz de Comparação Pareada buscou-se, através dos valores, a taxa de consistência aceitável (menor do que 0,10) e a ordenação dos fatores quanto ao peso. O fator mais importante, na regra de decisão, teve o maior peso e assim sucessivamente até que o fator de menor importância apresentasse o menor peso.

6.4 Mapas de Áreas Prioritárias

Mais importante do que dizer qual mapa é o que melhor representa o cenário atual para a seleção de áreas prioritárias, é o fato de o resultado poder ser manipulado de forma a separar as etapas de restauração das áreas em questão. Pode-se ter uma visão diferenciada dos conceitos de risco, por exemplo, se for interpretado como etapas de adequação, visando o objetivo proposto. Na Tabela 2 estão os pesos de Ordenação para o método da Média Ponderada Ordenada, acompanhados do risco de decisão à eles atribuídos. É

evidenciada, nos Mapas de Áreas Prioritárias, a relação dos riscos com as etapas de adequação.

Tabela 2. Pesos de ordenação para os fatores utilizados na Avaliação Multicritérios, pelo método da Média Ponderada Ordenada

Cenário	Pesos de Ordenação				
	Fragmentos	Declividade	Erosões	R. de Drenagem	Nascentes
Risco Baixo	1	0	0	0	0
Risco médio/baixo	0,4300	0,2639	0,1900	0,0941	0,0220
Risco médio (CLP)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Risco médio/alto	0,0220	0,0941	0,1900	0,2639	0,4300
Risco Alto	0	0	0	0	1

Neste contexto de cenários pode-se interpretar o Risco como Risco da decisão estar errada devido aos problemas da base de dados, ou apenas como uma visão mais conservadora na aplicação dos recursos. Conflitos Políticos e/ou Financeiros afetam à decisão de quanto investir ou quais áreas deverão ser definidas para a conservação. Tais questões afetam todos os que vivem ou retiram seu sustento a partir dos recursos da sub-bacia, porém, como esta já é uma área prevista para conservação, quando delimitada a APA, há de se esperar uma política pública de adequação destas áreas, restando apenas resolver o problema de distribuição de recursos e metodologia de restauração das áreas e readequação econômica dos que lá vivem.

Pode-se, assim, ter os menores riscos como estratégia mais pessimista ou de ação mínima para a conquista do objetivo proposto e os maiores riscos como estratégia mais otimista ou de ação máxima, visto que mais áreas seriam restauradas e conservadas neste do que naquele.

A Figura 20 representa o Mapa de Áreas Prioritárias - Risco baixo ou, em um cenário pessimista, o esforço mínimo de restauração visando à conservação dos recursos hídricos para a sub-bacia. Pode-se ter este mapa também como uma primeira etapa na conquista dos objetivos, o que seria o mais sensato aos tomadores de decisão. Assim a primeira etapa favorece as seguintes, sendo que, se terá uma visão de como o ambiente

corresponde à restauração, podendo-se reformular a metodologia de restauração da paisagem antropizada.

O Mapa de Áreas Prioritárias – Risco Médio/Baixo (Figura 21) foi colocado em segundo em ordem de adequação. Estas áreas, demonstradas com maior prioridade, são uma ampliação do que foi visto no Mapa de Áreas Prioritárias – Risco Mínimo. Dentro do contexto que se propõe, deve-se enxergar os resultados como fases de adequação e de estabelecimento de metas visando à restauração e recomposição florestal.

O Mapa de Áreas Prioritárias – Risco Médio (Figura 22) corresponde a Análise Multicriterial pelo método da Combinação Linear Ponderada (CLP), por ter todos os pesos de ordenação iguais (Cinco fatores com peso de ordenação de 0,2 para cada). A vantagem de utilizá-la neste conjunto de Mapas é não só compará-la ao Método da Média Ponderada Ordenada (MPO), mas também tê-la como uma análise que determina áreas potencialmente importantes para a conquista dos objetivos, por ser uma média dos riscos extremos ou das perspectivas reais de favorecimento, político/social ou ambiental, à conquista do objetivo. É o limiar entre o pessimismo e otimismo na conservação dos recursos hídricos.

A Figura 23 representa o Mapa de Áreas Prioritárias – Risco Médio/Alto. Tomando a ordenação de adequação que se propõe, este mapa está em quarto lugar, logo após ao mapa da CLP. Suas áreas prioritárias são mais abrangentes que o anterior, o que significa um cuidado maior no uso do solo. Nesta etapa deve-se propor uma agricultura sustentável ou o manejo florestal diferenciado nas áreas prioritárias. Garantindo-se a consolidação de um uso diferenciado para uma área crítica à produção e conservação das águas, tornando-o economicamente viável aos proprietários destas terras.

No decorrer do tempo, supõe-se que o cenário da sub-bacia terá mudado substancialmente, devendo haver avaliações das etapas e redefinições no plano de restauração das áreas. A Figura 24 representa o Mapa de Áreas Prioritárias – Risco Máximo, ou seja, onde houve maiores riscos de erros na seleção das áreas, porém maior garantia da conquista dos objetivos. Pode-se tê-lo como seleção mais otimista de áreas visando à conservação dos recursos hídricos. Para esta etapa, que é a última para a adequação do uso, deve-se planejar o sistema de pagamento por serviços ambientais, visto que, vastas áreas deixarão de ser subutilizadas com uma agricultura menos desenvolvida, para um uso diferenciado que promove a conservação do solo e dos recursos hídricos da sub-bacia.

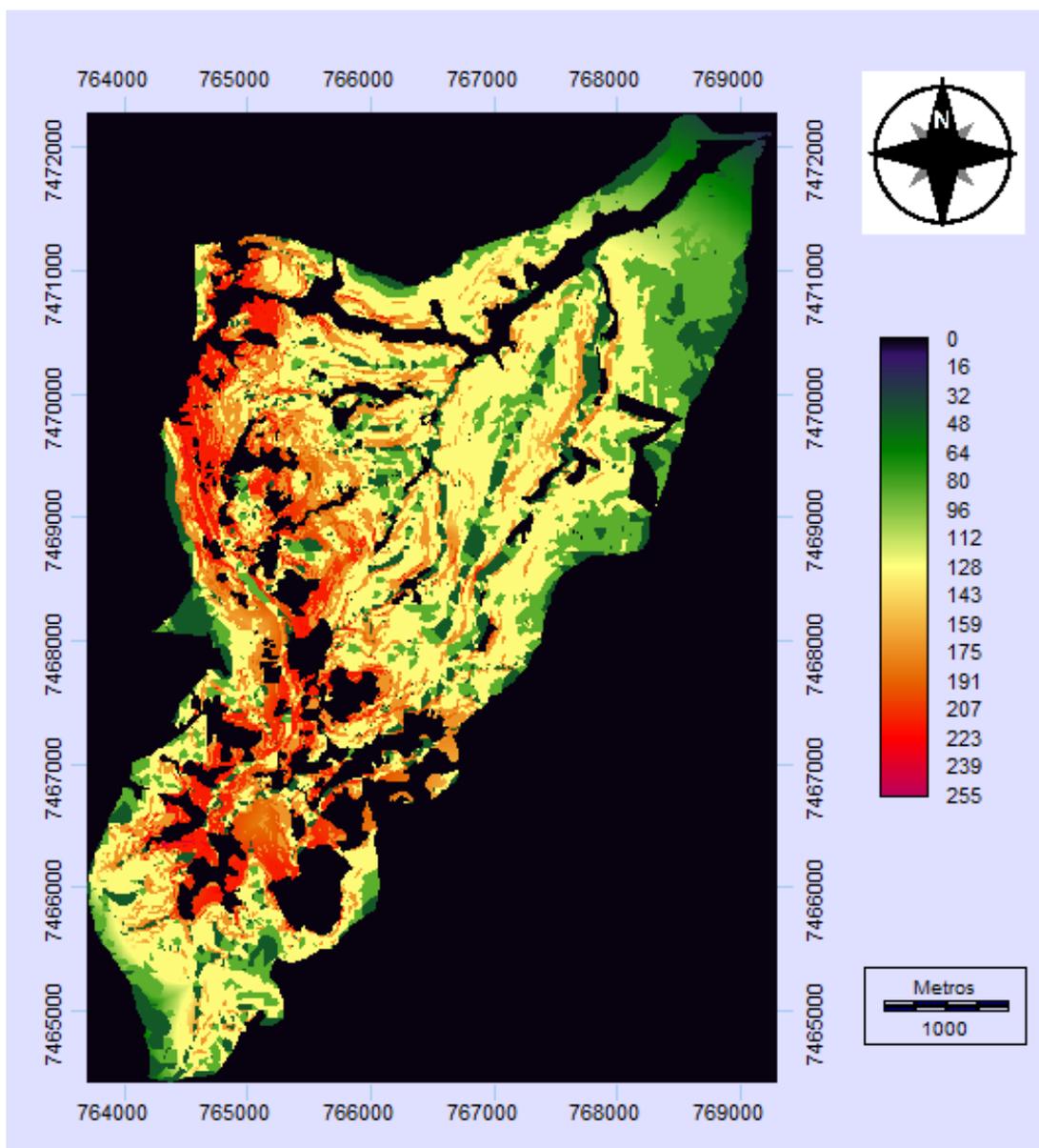


Figura 20. Mapa de Áreas Prioritárias - Risco baixo ou de esforço mínimo de restauração visando à conservação dos recursos hídricos para a sub-bacia do Córrego do Descalvado.

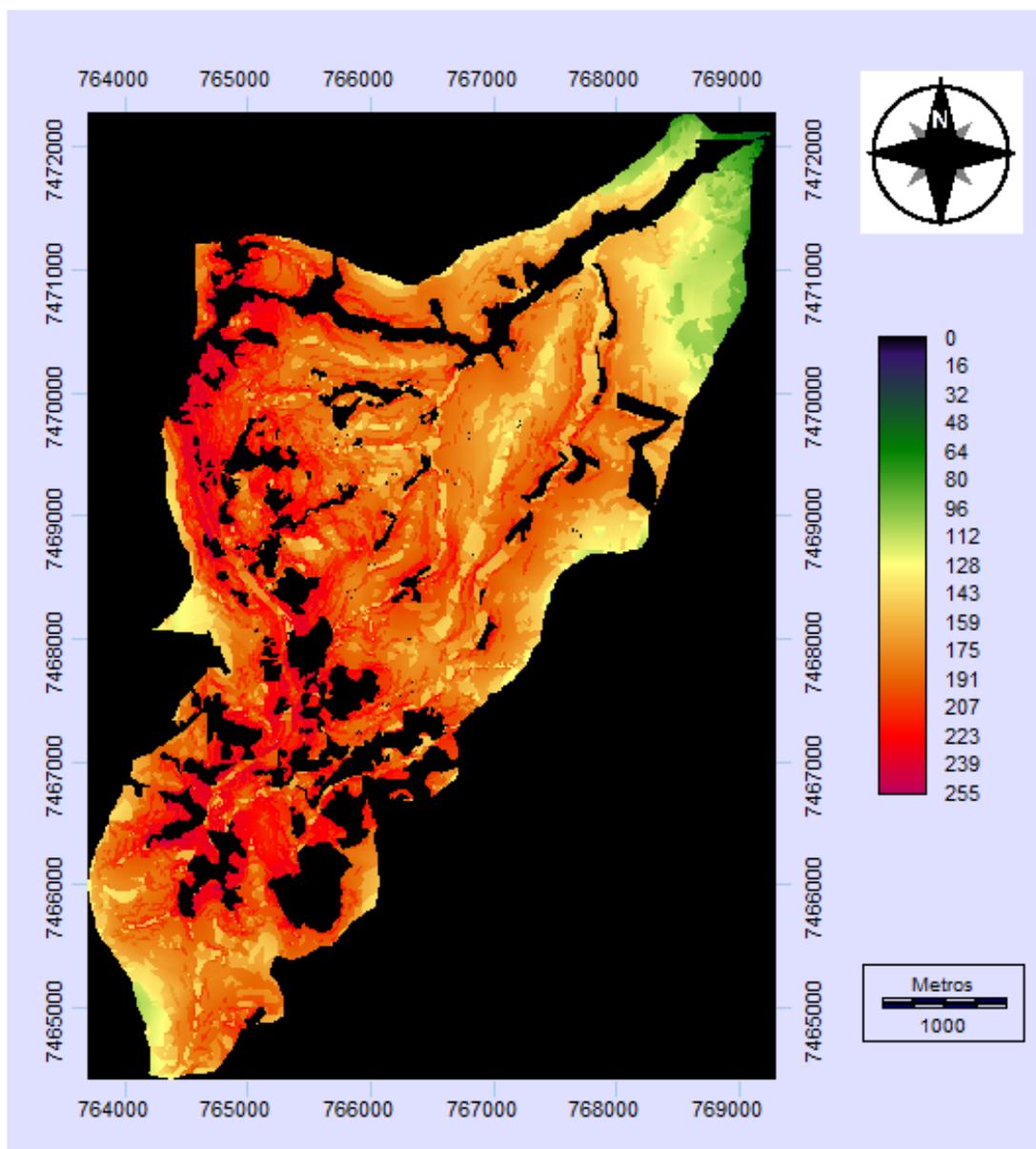


Figura 21. Mapa de Áreas Prioritárias - Risco Médio/Baixo. Segunda etapa de adequação visando à conservação dos recursos hídricos para a sub-bacia do Córrego do Descalvado.

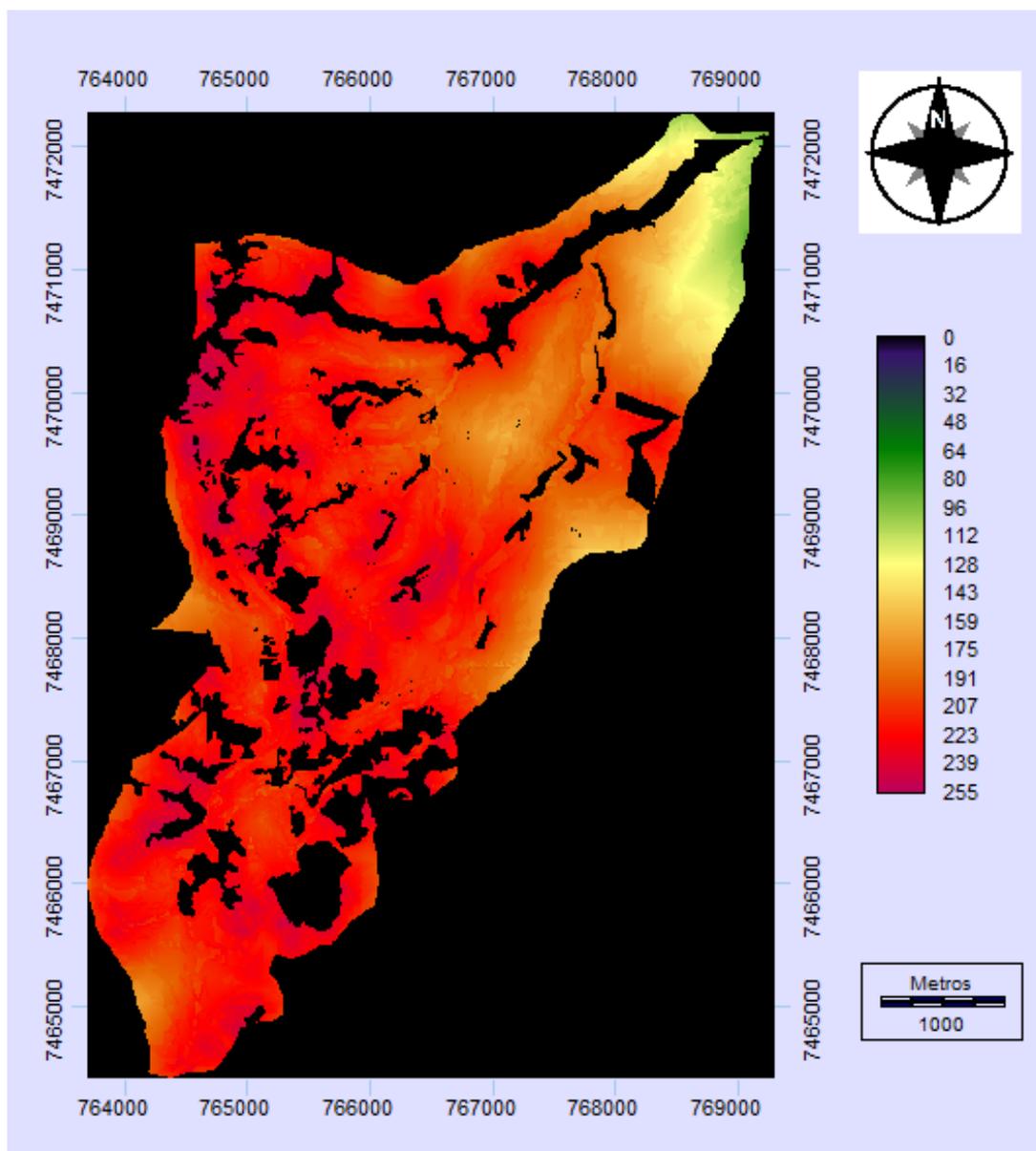


Figura 22. Mapa de Áreas Prioritárias - Risco Médio. Corresponde a Combinação Linear Ponderada. Terceira etapa de adequação visando à conservação dos recursos hídricos para a sub-bacia do Córrego do Descalvado.

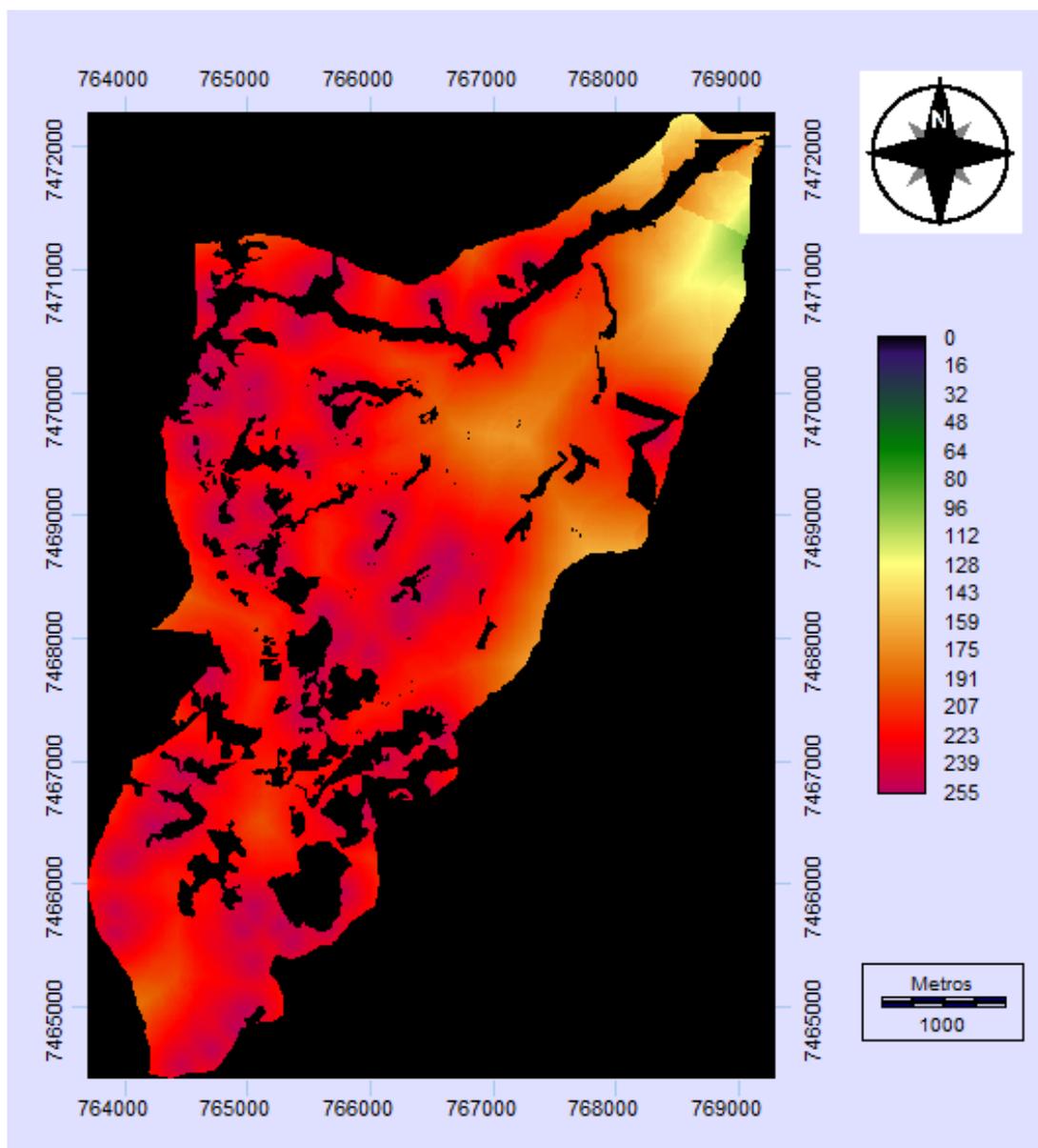


Figura 23. Mapa de Áreas Prioritárias - Risco Médio/Alto. Quarta etapa de adequação visando à conservação dos recursos hídricos para a sub-bacia do Córrego Descalvado.

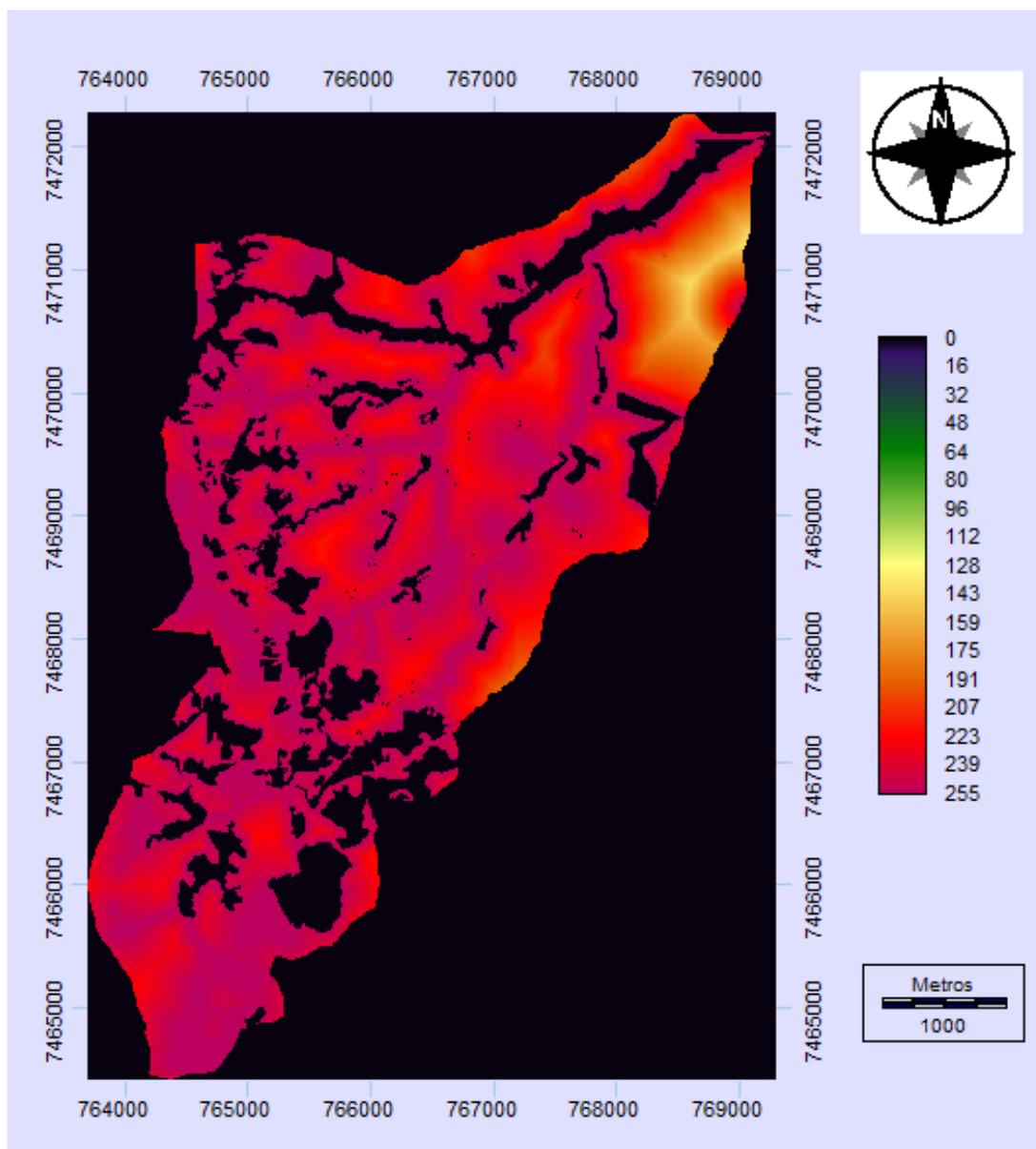


Figura 24. Mapa de Áreas Prioritárias - Risco Alto. Última etapa de adequação visando à conservação dos recursos hídricos para a sub-bacia do Córrego do Descalvado.

Os Mapas de Áreas Prioritárias são mapas matriciais com uma escala que varia de 0 a 255 (256 valores), dentro da área de estudo. Quanto maior o risco de decisão, mais os valores se concentraram próximo ao maior valor (próximo a 255), o que significa que mais áreas foram classificadas como altamente prioritárias devido à combinação dos fatores e dos pesos de ordenação definidos. A delimitação exata das classes de prioridades é uma

padronização que facilita a execução da restauração florestal. Esta delimitação está condicionada a um valor que o tomador de decisão determina como sendo o limiar entre prioritário e o não prioritário, ou entre estágios de adequação, porém, o que se percebe na realidade é que este zoneamento não representa fielmente os dados ambientais. Estes são contínuos como na escala apresentada, portanto, o tomador de decisão deve adotar o critério adequado de delimitação das áreas ou das etapas da restauração. Por esta razão não foram quantificadas as áreas exatas de cada classe de adequação, isto depende, dentre diversos fatores, da aceitação e entendimento dos proprietários rurais para a conquista do objetivo.

No Mapa de áreas Prioritárias – Risco Baixo pode-se melhor perceber a delimitação das classes, por ter maior amplitude de valores dentro da área de estudo. Porém, os mapas de Risco Médio e Risco Alto, devido aos pesos maiores de combinação e ordenação, já não demonstram limites de classes claramente definidos, necessitando um estudo dirigido aos valores distribuídos dentro da área para seu zoneamento. Estes valores podem mudar dependendo dos critérios adotados pelo tomador de decisão. O zoneamento nunca deve ser tido como exato ou único, mas sim como algo que muda ao longo do tempo. A partir das mudanças impostas ao meio ambiente a determinação de áreas prioritárias também deverá mudar, sempre no sentido de expandir as áreas de adequação.

A área de estudo escolhida é crítica para a conservação da água, pois pertence totalmente à APA que, por definição, é uma área com necessidades especiais de conservação. Por esta razão todo seu uso deve estar comprometido com a conservação dos recursos naturais, isto deve ser totalmente compreendido por todos os usuários desta área. Empreendimentos contrários a este princípio devem ser realocados para áreas que os suportem sem tantos riscos ao ambiente.

6.5 Considerações Finais

A Avaliação Multicriterial utilizando o método da Média Ponderada Ordenada é uma ótima ferramenta de suporte à decisão, sendo este método o mais recomendado para a definição de áreas prioritárias, principalmente frente a argumentos

antagônicos das diferentes classes da sociedade e a falta de recursos, pois demonstra cenários que podem se adaptar as suas ideias e limitações, visando atingir o objetivo global.

A problemática envolvida na determinação efetiva de áreas prioritárias à restauração/recomposição florestal converge à conjuntura política, social e ambiental da sociedade. Primeiro social, pois, culturalmente, é tida como perda de território a conservação das florestas pelos proprietários de terra. Não há o entendimento do benefício que a conservação traz à sociedade como um todo e há falta de incentivo econômico para esta ação. Depois há o problema político, este tão grave quanto o primeiro, pois influencia aquele, em geral o que se percebe é a falta de comprometimento com a recuperação do ambiente degradado ou de políticas públicas de mitigação do impacto que as atividades econômicas geram nos ecossistemas. Por último a ambiental, recursos naturais passando por descargas cada vez maiores de agentes poluidores e sendo erroneamente visto como infinito e altamente resiliente.

Seguindo o panorama atual de uso e conservação do solo, é apenas uma questão de tempo até os recursos chegarem a níveis críticos e a solução dos problemas se tornarem uma questão de necessidade básica. Portanto, metodologias de recomposição devem ser estudadas e otimizadas cada vez mais, pois, quando a recuperação ambiental se tornar uma necessidade real da sociedade haverá um caráter de urgência na sua execução.

7 CONCLUSÕES

Pelos estudos e diagnósticos ambientais na bacia do Córrego Descalvado pôde-se concluir: presença de processos erosivos acelerados nas cabeceiras de nascentes dos corpos d'água; fragmentação da vegetação nativa, principalmente nas áreas de encosta, com alta declividade e pequena presença de vegetação nativa nas zonas ripárias.

A aplicação da Análise Multicriterial - método da Média Ponderada Ordenada foi importante, pois discriminou e sistematizou os cenários de prioridade da recomposição florestal. Com a utilização de SIGs e dos mapas resultantes do diagnóstico ambiental, a confecção dos mapas prioritários foi consideravelmente rápida.

O método da Média Ponderada Ordenada, incluindo a Combinação Linear Ponderada, é importante porque permite que o tomador de decisão faça integralmente a recomposição seguindo um dos cenários propostos ou a faça por etapas, avaliando cada uma delas e, se necessário fazendo adaptações durante o processo.

8 REFERÊNCIAS

ABDEL-KADER, A. F. et al. Environmental sensitivity analysis of potential oil spill for Ras-Mohammed coastal zone, Egypt. **Journal of Coastal Research**, Tallahassee, v. 14, n. 2, p. 502-511, 1998.

AFGAN, N.H.; CARVALHO, M.G. Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants. **Energy**, Kidlington, v. 27, n. 8, p. 739-755, 2002.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: Embrapa, SPI; Embrapa, CPAC, 1998. 434 p.

ASSAD, E. D. et al. Estruturação de dados geoambientais no contexto de microbacia hidrográfica. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Planaltina: Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1998. cap. 7, p. 119-137.

ANDERTON, S.; LATRON, M.; GALLART, F. Sensitivity analysis and multi-response, multi-criteria evaluation of a physically based distributed model. **Hydrological Processes**, Hoboken, v. 16, n. 2, p. 333-353, 2002.

BRASIL. Código Florestal Brasileiro. Lei Federal Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 mai. 2012. Seção 1.

BRITES, R. S. et al. Geoprocessamento e meio ambiente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. Cartografia, Sensoriamento e Geoprocessamento: **Anais**. Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 141-163.

BRYAN, B. et al. Distributed process modeling for regional assessment of coastal vulnerability to sea-level rise. **Environmental Modeling and Assessment**, Bussum, v. 6, n. 1, p. 57-65, 2001.

BUCENE, L. C. **Sistema de informação geográfica na classificação de terras para irrigação, em Pardinho-SP**. 2002. 177 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

BOURGERON, P. S.; JENSEN, M. E. 1993. An overview of ecological principles for ecosystem management. Eastside forest ecosystem health assessment, Vol. 11, Ecosystem management: principles and applications. Missoula, MT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Region. pp. 49-60.

CBH-SMT & FABH-SMT, Fundamentos da Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos na Bacia do Sorocaba e Médio Tietê, Material elaborado pelo Grupo Técnico para Cobrança do Uso da Água. Sorocaba, 2008.

CLAYTON, I. Sensitivity modeling data base provides GIS capabilities for non-GIS users. **Earth Observation Magazine**, Aurora, v. 3, n. 7, p. 25-28, 1994.

COLLINS, M. G.; STEINER, F. R.; RUSHMAN, M. J. Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. **Environmental Management**, Phoenix, Arizona, EUA, v. 28, n. 5, p. 611-621, 2001.

DALGAARD, T.; HALBERG, N.; PORTER, J. R. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 87, n. 1, p. 51-65, 2001.

DAVOS, C.A.; LAJANO, R.P. Analytical perspectives of cooperative coastal management. **Journal of Environmental Management**, London, v. 62, n. 2, p. 123-130, 2001.

DURIGAN, G.; SILVEIRA, E.R. Recomposição da mata ciliar em domínio de cerrado, Assis, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, S.P., n. 56, p. 135-144, dez. 1999.

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, 22 p.

EASTMAN, J. R.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. **GIS and decision making**. Genebra: UNITAR, 1993. 112 p. (Explorations in Geographic Information Systems Technology).

ENGEA. **Projeto: levantamento e análise dos quadros ambientais e proposições físico territoriais de zoneamento ambiental para APA Corumbataí – Botucatu – Tejupá, perímetro Botucatu**. Departamento de Estudos Patrimoniais, Ambientais e Técnicos do Estado de São Paulo. São Paulo, SP. 1990. v. 2,.

ESPELTA, J. M.; RETANA, J.; HABROUK, A. An economic and ecological multi-criteria evaluation of reforestation methods to recover burned *Pinus nigra* forests in NE Spain. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 180, n. 1/3, p. 185-198, 2003.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

FORMAN, R. T. T. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. New York: Cambridge University, 1997. 632 p.

FORMAN, R. T. T.; COLLINGE, S. K. Nature conserved in changing landscapes with and without spatial planning. **Landscape and Urban Planning**, Los Angeles, Califórnia. v. 37, p. 129-135, 1997.

GORGULHO, M. **G.P.S. – O sistema de posicionamento global**. São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.geocities.com/baja/canyon/5201/gps/apostila.htm>>. Acesso em: 12 dez. 2010.

GREGORY, S. V.; ASHKENAS, L. **Riparian management guide**. Washington: USDA Forest Service Pacific Northwest Region, 1990. 120 p.

HARPER, K. T.; SANDERSON, S. C.; McARTHUR, E. D. Riparian ecology in Zion National Park, Utah. **International General Technical Report**, USDA Forest Service, Washington, n. 298, p. 32-42, 1992.

HENDRICKS, S. P. Microbial ecology of the hyporheic zone – a perspective integrating hydrology and biology. **Journal of the North American Benthological Society**, Lawrence, Kansas, EUA. v. 12, n. 1, p. 70-78, 1993.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geológico do Estado de São Paulo** São Paulo: IPT, 1981. v. 1. Escala 1:500.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa de Erosão do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1995. Convênio IPT-DAEE. Escala 1:1.000.000.

JIANG, H.; EASTMAN, J. R. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. **International Journal of Geographical Information Science**, Abingdon, v. 14, n. 2, p. 173-184, 2000.

JIM, A. S. **Geoprocessamento aplicado no diagnóstico físico-ambiental**. 2006. 109 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B.; SOUZA, L. M. I. Consequências genéticas da fragmentação sobre populações de espécies arbóreas. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 65-70, dez. 1998.

KINDVALL, O.; PETERSSON, A. Consequences of modelling interpatch migration as a function of patch geometry when predicting metapopulation extinction risk. **Ecological Modelling**, v. 129, p. 101-109, 2000.

LAPLANA, R.; BRUNSTEIN, D. Les erosion eolienne et regressive dans le bassin versant de la Leyre. **Bulletin de l'Institute de Geologie du Bassin d'Aquitane**, Bordeaux, n. 51/52, p. 21-29, 1992.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4a aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.

LIMA, G. S. **Estudo da paisagem do município de Ilha Solteira-SP: subsídios para o planejamento físico-ambiental**. 1993. 149 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1993.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006. 908p.

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

MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning**, New York, n. 62, p. 3-65, 2004.

MALCZEWSKI, J.; JACKSON, M. Multicriteria spatial allocation of educational resources: an overview. **Socio-Economic Planning Sciences**, New York, v. 34, p. 219- 235, 2000.

MAZZETTO, F.; BONERA, R. MEACROS: a tool for multi-criteria evaluation of alternative cropping systems. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 18, n. 3/4, p. 379-387, 2003.

MENNELLA, V. G. G. et al. Territorial vulnerability evaluation in Tiber watershed. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 41, n. 2, p. 183-200, 1996.

MOE, K. A. et al. The Svalbard intertidal zone: a concept for the use of GIS in applied oil sensitivity, vulnerability and impact analyses. **Spill Science & Technology Bulletin**, Kidlington, v. 6, n. 2, p. 187-206, 2000.

MONTEIRO, R. C. **Estimativa do espaço temporal da superfície potenciométrica do sistema aquífero Guarani na cidade de Ribeirão Preto (SP)**. 2003. 212 f. Tese (Doutorado em Geociências / Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto**. Rio de Janeiro: UFRJ, IGEO, Departamento Geografia, LAGEOP, 1999. v. 2. 1 CD-ROM. Curso de Especialização em Geoprocessamento.

OLIVEIRA, J. B. **Solos do Estado de São Paulo**: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: IAC, 1999. 108 p. (boletim científico, 45).

PIROLI, E. L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra no município de Botucatu – SP**. 2002. P. 108. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

RANDHIR, T. O. et al. Watershedbased land prioritization model for water supply protection. **Forest Ecology and Management**, v. 143, p. 47-56, 2001.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: UFJF, 2007. 220 p.

ROY, P. S.; TOMAR, S. Biodiversity characterization at landscape level using geospatial modelling technique. **Biological Conservation**, v. 95, p. 95-109, 2000.

SAATY, L. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, San Diego, v. 15, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchic process**. New York: McGraw-Hill, 1980. 287 p.

SARTORI, A. A. C. **Análise multicritérios na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais**. 2010. 112 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.** In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Editora da Universidade do Rio Grande do Sul; Editora da Universidade de São Paulo, 1993. p. 35-51.

SIMÕES, L. B. **Integração entre um modelo de simulação hidrológica e sistema de informação geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias.** 2001. 171 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

STORE, R.; KANGAS, J. Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling. **Landscape and Urban Planning.** Kannus, Finland, v. 55, p. 79-93, 2001.

TAKAHASHI, G.; OHTA, T. Physical structure of mountain stream environment. In: OHTA, T.; TAKAHASHI, G. (Ed.). **Erosion control and ecological management of mountain streams,** Tokyo: University Tokyo Press, 1999. p. 7-16.

TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. Colonização de clareiras naturais na floresta Atlântica no Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica,** São Paulo, n. 20, p. 57-66, 1997.

TEMESGEN, B.; MOHAMMED, M. U.; KORME, T. Natural hazard assessment using GIS and remote sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondogenet area, Ethiopia. **Physics and Chemistry of the Earth. Part C – Solar, Terrestrial and Planetary Science,** Kidlington, v. 26, n. 9, p. 665-675, 2001.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. **Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity.** New York: Springer Verlag, 1990. 536 p.

TURNER, R. K. et al. Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. **Ecological Economics,** Amsterdam, v. 35, n. 1, p. 7-23, 2000.

VALENTE, R. O. A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG.** 2005. P. 121. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

VERÍSSIMO, A. et al. Zoning of timber extraction in the Brazilian Amazon. **Conservation Biology,** Malden, v. 12, n. 1, p. 128-136, 1998.

VESTENA, L. R. **Processos hidrodinâmicos em bacias hidrográficas: uso da modelagem para análise do espaço.** Guarapuava: Editora Unicentro, 2008. P.14.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos.** 2006. P.151. Tese (Livre Docência em Geoprocessamento) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

WHITE, D. S. Perspectives on defining and delineating hyporheic zone. **Journal of the North American Benthological Society**, Lawrence, Kansas, EUA. v. 12, n. 1, p. 61-69, 1993..

YAGER, R. R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision-making. **IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics**, New York, v. 8, n. 1, p. 183-190, 1988.

YIN, Y. Y. Flood management and sustainable development of water resources: the case of Great Lake Basin. **Water International**, Carbondale, v. 26, n. 2, p. 197-205, 2001.

YONG, A. G.; MERRIAM, H. G. Effects of forest fragmentation on the spatial genetic structure of *Acer saccharum* Marsh. (sugar maple) populations. **Heredity**, v. 1, p. 277-289, 1994.