



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

VÂNIA ROSA PEREIRA

**Identificação de Áreas com Potencial para a Produção de Sedimentos a montante dos
reservatórios do Sistema de Abastecimento Cantareira: os reservatórios de Cachoeira e
Atibainha**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como parte
dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia

Orientador: Prof. Dr. José Teixeira Filho

CAMPINAS - SÃO PAULO

**Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca
do Instituto de Geociências/UNICAMP**

P414i Pereira, Vania Rosa
Identificação de áreas com potencial para a produção de sedimentos a montante dos reservatórios do sistema de abastecimento Cantareira: os reservatórios de Cachoeira e Atibainha / Vania Rosa Pereira.-- Campinas,SP.: [s.n.], 2007.

Orientador: José Teixeira Filho
Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Sedimentos e depósitos. 2. Bacia hidrográfica. 3. Simulação e modelagem. 4. Sistema de informação geográfica. I. Teixeira Filho, José. II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. III. Título.

Título em inglês: Sediment yield potencial areas identification in the upstream Cantareira system catchments: Cachoeira and Atibainha catchments.

Keywords: - Sediment yield;

- Watershed;
- Simulation model;
- Geographic information system..

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial.

Titulação: Mestre em Geografia

Banca examinadora: - Jose Teixeira Filho;
- Archimedes Perez Filho;
- Jener Fernando Leite de Moraes;
- Gilberto Garcia;
- Jansle Vieira Rocha.

Data da defesa: 05/03/2007.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA
TERRITORIAL

AUTORA: VÂNIA ROSA PEREIRA

Identificação de Áreas com Potencial para a Produção de Sedimentos a montante dos reservatórios do Sistema de Abastecimento Cantareira: os reservatórios de Cachoeira e Atibainha

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Teixeira Filho

Aprovada em: 01 / 03 / 2007

EXAMINADORES:

Prof. Dr. José Teixeira Filho

Prof. Dr. Archimedes Perez Filho

Prof. Dr. Jener Fernando Leite de Moraes

 - Presidente



Campinas, 01 de março de 2007

AGRADECIMENTOS

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos que me permitiu desenvolver este trabalho com tranqüilidade.

Ao professor José Teixeira Filho, pelos ensinamentos, pela paciência demonstrada em todo o desenvolvimento deste trabalho e por exercer o papel de crítico e incentivador com a sensibilidade e firmeza próprias de um amigo querido.

Aos professores Archimedes e Jener, pelas discussões e valiosas contribuições ao trabalho por ocasião do exame de qualificação.

Ao Agmon, técnico do Labgeo/Feagri, amigo de todas as horas, pelas valiosas dicas, inúmeras ajudas sobre geoprocessamento e gentileza constante ao disponibilizar os equipamentos de campo.

À Valdirene, mãe de todos os anjos, por sua exímia competência e alegria!!

Ao SÉRGIO, técnico do Laboratório de Hidrologia/Feagri, motorista e companheiro nos trabalhos de campo.

Ao Prof. Dr. Flávio Ponzoni, pelos ensinamentos e dicas sobre sensoriamento remoto e processamento digital de imagens, assim como pela disponibilização das imagens Landsat.

Ao pessoal da Casa da Agricultura (CATI) de Joanópolis e Piracaia, em especial ao Maurício, Tatiana e Nelson, sempre dispostos a ajudar nos trabalhos de campo e na aplicação de questionários, assim como a disponibilizar as informações existentes sobre a área de estudo.

Dedico este trabalho aos meus familiares, meus quatro pilares

Lupércio, Silvina, Amilcar e Nádia

**por me ensinarem o valor da vida e serem minha eterna fonte de
orgulho e referência!**

Ao amigo Rodrigo Batalha, pela paciência e pelo companheirismo ao me ensinar a metodologia da Aptidão Agrícola das terras.

Aos amigos da Feagri, Tânia, Agmon, Júlio, Erivelto, Rodrigo, Celso, Fausto, Kelly, Aline, Rojane, Márcio, Laura e Anderson, entre outros, pelas discussões acadêmicas e pelas agradáveis companhias, que fizeram do nosso convívio uma alegria!

Aos amigos do Ig, Fernandinha, Neto, Cristiano, Ricardo, entre outros, pela enriquecedora e alegre fase das disciplinas.

Ao Rogério, que me proporcionou momentos de vida inesquecíveis, por ter sido o adorável companheiro no desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE QUADROS.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
3. SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL.....	4
3.1 Os Processos erosivos e a bacia hidrográfica.....	4
3.2 Impactos da intensificação dos processos erosivos nos cursos d'água.....	6
3.3 Estudos relacionados à produção de sedimentos e seus principais agentes Controladores.....	7
3.4 Modelos para avaliação dos processos erosivos.....	12
3.5 Utilização dos Sistemas de Informação Geográfica no estudo da erosão dos solos e potencialidades para a produção de sedimentos.....	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
4.1 Caracterização da Área de Estudo.....	19
4.2 Materiais.....	23
4.3. Métodos.....	25
4.3.1 Primeira Fase.....	26
4.3.1.1 Caracterização do Meio Físico.....	26
4.3.1.2 Caracterização do uso e ocupação da terra e procedimentos Agrícolas.....	32
4.3.1.3 Caracterização da Aptidão agrícola das terras e suas respectivas adequações de uso.....	36
4.3.2 Segunda Fase.....	36
5. RESULTADOS	40
5.1 Primeira Fase.....	40

5.1.1 Caracterização do meio físico.....	40
5.1.2 Caracterização de uso e ocupação da terra e procedimentos Agrícolas.....	61
5.1.3 Caracterização da Aptidão agrícola das terras e suas respectivas adequações de uso.....	70
5.2 Segunda Fase.....	73
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
ANEXOS	
Anexo 1: Equações utilizadas no processo de complementação dos dados anuais e mensais.....	96
Anexo 2: Questionário sócio ambiental das bacias a montante dos reservatórios de Atibainha e Cachoeira.....	97
Anexo 3: Valores de mínima, máxima, desvio padrão, amplitude e intervalos de classes de chuva definidos a partir do desvio padrão para cada mapa de chuvas (anual e mensal).....	99
Anexo 4: Detalhes dos pesos dos planos de informação e dos cruzamentos dos planos.....	100
Anexo 5: Tabela com a relação dos postos que possuíam falhas.....	103

LISTA DE FIGURAS

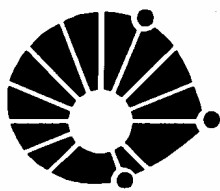
Figura 4.1: Localização da área de estudos: as bacias do rio Atibainha e do rio Cachoeira a montante dos reservatórios de Atibainha e Cachoeira.....	19
Figura 4.2: Formações geológicas na área de estudo, enfatizando as porcentagens de cada classe para as bacias estudadas.....	21
Figura 4.3: Ilustração do Sistema Cantareira de abastecimento de água para RMSP.Fonte: Comitê dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ) disponível em < http://www.comitepcj.sp.gov.br/SC.htm >.....	23
Figura 4.4: Estrutura do modelo de áreas com potencialidade para a produção de sedimentos.....	37
Figura 5.1: Limites topográficos das bacias de estudos com a rede de drenagem e seus respectivos reservatórios.....	40
Figura 5.2: Porcentagem das classes de declividade na área de estudo.....	41
Figura 5.3: Mapa da área variável de afluência na área de estudo.	43
Figura 5.4: Classes de solo na área de estudos com as porcentagens de cada classe separadas pelas áreas das bacias de estudos.....	45
Figura 5.5: Localização dos postos pluviométricos cujas informações foram utilizadas para identificar a normal climatológica na área de estudos.....	48
Figura 5.6: Mapa de distribuição de chuvas na área de estudos e suas respectivas porcentagens de ocorrência nas classes.....	50
Figura 5.7: Mapas de distribuição de chuva em mm/mês na área de estudos referentes aos meses de janeiro, fevereiro e março.....	54
Figura 5.8: Mapas de distribuição de chuva em mm/mês na área de estudos referentes aos meses de abril, maio e junho.....	55
Figura 5.9: Mapas de distribuição de chuva em mm/mês na área de estudos referentes aos meses de julho, agosto e setembro.....	56
Figura 5.10: Mapas de distribuição de chuva em mm/mês na área de estudos referentes aos meses de outubro, novembro e dezembro.....	57

Figura 5.11: Gráficos demonstrando a % de ocorrência dos intervalos de classes de chuvas em mm/mês.....	58
Figura 5.12: Resultado do cruzamento entre os dados de chuva anual e mensal para identificação de áreas coincidentes representado em %.....	60
Figura 5.13: Resultados da classificação supervisionada de uso das terras antes da viagem para coleta dos dados de campo na bacia do Atibainha.....	61
Figura 5.14: Mapa de uso e ocupação das terras na área de estudo.....	64
Figura 5.15: Relação das porcentagens de uso e ocupação das terras na área de estudo.....	65
Figura 5.16: Porcentagem dos tipos de uso e ocupação das terras nas bacias da área de estudos.....	65
Figura 5.17: Resultados em percentual das áreas classificadas antes e depois do processo de validação do modelo de classificação.....	66
Figura 5.18: Foto registrando área recém queimada para colheita de eucalipto na bacia do Atibainha.....	68
Figura 5.19: Vertente com registro de queima das toras de eucalipto para colheita.....	68
Figura 5.20: Mapa com os subgrupos de Aptidão das terras nas bacias do Atibainha e do Cachoeira.....	71
Figura 5.21: Representação espacial das áreas adequadas, sub utilizadas e sobre utilizadas na bacia do Atibainha e Cachoeira.....	73
Figura 5.22: Mapa de distribuição das classes de chuva em função dos riscos considerados para cada aintervalo.....	76
Figura 5.23: Mapa de representação dos riscos dos aspectos físicos da área de estudo em relação à produção de sedimentos.....	77
Figura 5.24: Fotos demonstrando as práticas adotadas no cultivo de eucalipto...	80
Figura 5.25: Mapa de uso e ocupação da terra classificado em alto, médio e baixo risco em relação à produção de sedimento em função dos procedimentos agrícolas da área de estudo.....	82

Figura 5.26: Mapa de classificação de áreas de alto e baixo risco em relação à adequabilidade de utilização da terra para a produção de sedimentos na área de estudo.....	84
Figura 5.27: Fluxograma com as etapas da construção do modelo de áreas com potencial para a produção de sedimentos.....	85
Figura 5.28: Mapa de áreas de risco em relação à produção de sedimentos na bacia do Atibainha e na bacia do Cachoeira a montante das barragens.....	86

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1: Classes de declividade elaborada por Oliveira et al (1999).....	26
Quadro 4.2: Intervalos de declividade reclassificados a partir de histograma da imagem com as % de declividade elaborada por Oliveira et al (1999).....	27
Quadro 4.3: Qualidade da classificação associada aos valores da estatística de Kappa adaptada de Lindis e Koch (1977) por Moreira (2004).....	35
Quadro 5.1: Relação de ocorrência das porcentagens das classes de declividade nas bacias de estudo.....	42
Quadro 5.2: Valores máximos, mínimos e média de chuva em mm extraído da média anual de longo período para a área de estudos e para as bacias do Cachoeira e Atibainha.....	49
Quadro 5.3: Valores máximos, mínimos e média de chuva em mm extraído da média mensal de longo período para a área de estudos e para as bacias do Cachoeira e Atibainha.....	52
Quadro 5.4: Subgrupos de aptidão agrícola para a área de estudo e sua ocorrência em porcentagem na área de estudo (AT), na bacia do Atibainha e na bacia do Cachoeira.....	71
Quadro 5.5: Relação em km ² e porcentagem das áreas de alto, médio e baixo risco para os aspectos físicos da área de estudo, na bacia do Atibainha e na bacia do Cachoeira.....	78
Quadro 5.6: Relação da porcentagem das áreas de alto, médio e baixo risco para uso e ocupação da terra na área de estudo, na bacia do Atibainha e na bacia do Cachoeira.....	83
Quadro 5.7: Distribuição das classes de alto, médio e baixo risco para adequação do uso da terra e respectivas porcentagens na área de estudo e na bacias do Atibainha e Cachoeira.....	85
Quadro 5.8: Relação da porcentagem das áreas de alto, médio e baixo risco em relação à produção de sedimentos na área de estudo, na bacia do Atibainha e na bacia do Cachoeira.....	87



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

Identificação de Áreas com Potencial para a Produção de Sedimentos a montante dos reservatórios do Sistema de Abastecimento Cantareira: os reservatórios de Cachoeira e Atibainha

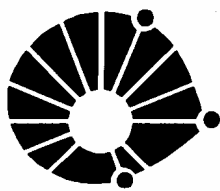
RESUMO

Dissertação de Mestrado

Vânia Rosa Pereira

Os processos de erosão, transporte e deposição em rochas e solos fazem parte do ciclo erosivo, cuja intensidade de produção de sedimentos dependerá das interações entre os elementos naturais da paisagem. Entretanto, as ações antrópicas, como as atividades agrícolas e os desmatamentos, alteram os processos erosivos, provocando um desequilíbrio nas inter-relações naturais dos componentes da paisagem, desencadeando, entre outros fatores, o aceleração da produção de sedimentos. O processo da produção de sedimentos está relacionado também às fontes de poluição difusa, pois os processos erosivos não incluem apenas o transporte de partículas de sedimentos, mas também transportam nutrientes e poluentes. Associada às questões relacionadas à qualidade e disponibilidade de água, a degradação dos sistemas hídricos pode diminuir o tempo de vida útil de reservatórios de abastecimento de água para consumo ou para produção de energia elétrica, acarretando prejuízos para a sociedade. Visando contribuir para o planejamento ambiental com ênfase na manutenção da qualidade e da disponibilidade de água, bem como da vida útil dos reservatórios, definiu-se, como objetivo deste trabalho, identificar as áreas com potencial para a produção de sedimentos nas bacias do rio Atibainha e do rio Cachoeira a montante das barragens do sistema Cantareira, por se tratar de uma área de importância regional que abastece a região metropolitana de São Paulo e Campinas. A metodologia envolve a análise e cruzamento de três planos de informação - meio físico, procedimento e uso da terra e adequação do uso das terras em relação à aptidão agrícola - espacializados em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Como resultado tem-se a espacialização das áreas com potencial de alto, médio e baixo risco para a produção de sedimentos. A identificação das áreas de risco para as bacias do Atibainha e Cachoeira demonstrou não haver grandes diferenças entre uma bacia e outra: a bacia do rio Atibainha apresentou 44 % de áreas de baixo risco, 26 % de médio e 30 % de alto risco enquanto a bacia do rio Cachoeira apresentou 32 % de baixo, 24 % de médio e 44 % de alto risco. Como as bacias se comportam de forma muito similar, não concorrem entre si em termos de prioridade de medidas conservacionistas. As áreas de risco com potencial para a produção de sedimentos identificadas neste modelo não foram determinadas por nenhuma variável utilizada; ou seja, nas áreas de alto risco, predominaram todas as classes de solo, em diversas declividades e intensidades de chuva. Embora as áreas de alto risco distribuam-se preferencialmente nas áreas de fundo de vale (com alto potencial de produção de sedimentos), as relações entre as variáveis é que determinaram o grau de risco de cada área. Tendo em vista os objetivos deste trabalho, pode-se afirmar que esse modelo de espacialização pode ser utilizado para subsidiar estudos de planejamento conservacionista, pois fornece indicações de áreas prioritárias de planejamento conservacionista em função da realidade sócio-econômica-ambiental.

PALAVRAS – CHAVE: PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS, BACIA HIDROGRÁFICA, MODELO DE SIMULAÇÃO.



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

Identificação de Áreas com Potencial para a Produção de Sedimentos a montante dos reservatórios do Sistema de Abastecimento Cantareira: os reservatórios de Cachoeira e Atibainha

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado

Vânia Rosa Pereira

The erosion, transport and soil and rocks deposition processes make part of erosion cycle, of which the sediment yield intensity depends on the interaction between landscape natural elements. However, anthropic actions such as agricultural activities and deforestations, modify the erosive processes, causing a disequilibrium in the natural Inter-relations of the landscape components, setting off the sediment yield acceleration among others factors. The sediment yield process is also related to non-point sources pollution, since the erosive processes do not include only the transport of sediment particle, but also the transport of nutrients and pollutants. The hydric systems degradation can diminish useful reservoirs life time of consumption water supply or electric energy production, causing damages for the society and, therefore, is associated to the questions related to quality and water availability. It was defined, as objective of this work, to identify the potential sediment yield areas in the Atibainha river and Cachoeira river watersheds upstream Cantareira system catchments, aiming to contribute for the environment planning in an area of regional importance that supplies São Paulo and Campinas metropolitan region with emphasis on the quality and water availability maintenance, as well as the useful reservoirs life time. The methodology involved the analysis and three plans information crossing – physical environment, land use and procedure and land use adequacy, by means of agricultural suitability - identified in Geographic Information System (GIS) environment. As a result it was obtained the potential of high, average and low risk for sediment yield areas identification. The identification of the Atibainha and Cachoeira watersheds risk areas demonstrated not to have great differences between them: the Atibainha river watershed presented 44 % of low risk areas, 26 % of medium and 30 % of high risk while the Cachoeira river watershed presented 32 % of low, 24 % of medium and 44 % of high risk. As the watershed had very similar hold, they do not concur between itself in environment planning priority terms. The potential sediment yield risk areas identified in this model had not been determined by only one used variable, this means that all soil classes had predominated in diverse declivities and intensities of rainfall in the high risk areas. Although high risk areas are distributed preferentially in the areas of valley deep, the degree of risk of each area was determined by the relations between the variables. Therefore, it can be suggested that this identification model could be used to support studies of environment planning, since it supplies indications of conservation planning priority areas as a function of the social-economic-environment reality.

KEY WORDS: SEDIMENT YIELD, WATERSHED, SIMULATION MODEL.

1. INTRODUÇÃO

A água potável disponível para abastecimento humano atinge, segundo o relatório da ONU para desenvolvimento dos recursos hídricos no mundo (UNESCO, 2006), apenas 1% do total de água do planeta. A má distribuição deste recurso, junto a uma contaminação cada vez maior por emissão de poluentes permite que cerca de um quinto da população do planeta fique sem acesso a água potável. Trabalhos que visem investigar condicionantes da qualidade e disponibilidade de água ultrapassam, portanto, a escala local e regional, pois a escassez deste recurso é uma problemática de ordem global.

Na formação das paisagens, os processos de erosão, transporte e deposição em rochas e solos fazem parte do ciclo erosivo e a intensidade da produção de sedimentos neste ciclo dependerá das interações entre os elementos naturais delas constituintes. Entretanto, as ações antrópicas tais como as atividades agrícolas e os desmatamentos, alteram os processos erosivos, provocando um desequilíbrio nas inter-relações naturais dos componentes da paisagem, desencadeando, entre outros fatores, o aceleração da produção de sedimentos.

Dentre as fontes de poluição difusa, estão relacionados os processos de produção de sedimentos nas vertentes, pois os processos erosivos não incluem apenas o transporte de partículas de sedimentos, mas também transportam nutrientes e poluentes. Associado às questões relacionadas à qualidade e disponibilidade de água, a degradação dos sistemas hídricos pode diminuir o tempo de vida útil de reservatórios de abastecimento de água para consumo ou para produção de energia elétrica, acarretando prejuízos para a sociedade. Tornam-se, portanto, necessárias ações e planos que visem minimizar esses impactos ambientais e identificar as áreas nas quais existe a possibilidade de serem fontes de produção de sedimentos e, conseqüentemente, de produção difusa de poluentes.

São vários os ramos da ciência que desenvolvem pesquisas a fim de conhecer os sistemas hidrológicos, propor melhorias e solucionar problemas em relação aos recursos hídricos. Entre eles, destacam-se a Hidrologia, a Biologia, a Geomorfologia, a Geografia, dentre outros, campos dos quais a presente proposta poderá se beneficiar.

Os trabalhos de cunho geográfico podem contribuir de forma positiva para a organização espacial resultante das interações dos elementos físicos da natureza (clima, topografia, geologia, águas, vegetação) considerando, também, a atuação do homem como

agente modelador das paisagens. Utilizando as ferramentas dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), associados aos produtos de sensoriamento remoto e tomando a bacia hidrográfica como unidade ideal de estudos ambientais, a Geografia apresenta potenciais para o desenvolvimento de modelos qualitativos para identificar e caracterizar os fluxos de matéria e energia de determinada paisagem.

Entre os estudos relacionados aos processos erosivos, se destacam os de caráter quantitativo, tais como medições em parcelas hidrológicas e os modelos de perdas de solo tais como a USLE (Equação Universal de Perdas de Solos) e a MUSLE, (Equação modificada de perdas de solo) que também agregou posteriores modificações. No entanto, além de a maioria destes modelos terem sido desenvolvidos e testados em regiões frias, de dinâmicas ambientais diferentes da realidade tropical-úmida brasileira, ainda necessitam de dados de monitoramento contínuo para sua calibração.

Este contexto justifica a perspectiva de se apresentar subsídios para os estudos que envolvam planejamento ambiental e conservacionista com base nas relações entre fatores conhecidamente controladores de processos erosivos, sem depender do monitoramento da perda de solos *in loco*, a fim de identificar áreas susceptíveis à erosão. Assim, optou-se por realizar este trabalho, cujo fim é oferecer uma proposta alternativa para a identificação de áreas com potencial para a produção de sedimentos.

A área de estudo do trabalho desenvolvido compreende as bacias a montante dos reservatórios de abastecimento dos rios Atibainha e Cachoeira, definidas, segundo LEI ESTADUAL Nº 7.438, DE 16 DE JULHO DE 1991 - SÃO PAULO, Áreas de Proteção Ambiental (APA) devido a sua importância em relação aos mananciais e a sua dupla função de abastecimento de água potável: os reservatórios integram o Sistema de Abastecimento Cantareira e foram construídos para abastecer Campinas e a região metropolitana de São Paulo (RMSP), uma das áreas mais populosas do País.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como Objetivo Geral identificar as áreas com potencial para a produção de sedimentos nas bacias de contribuição a montante dos reservatórios do rio Cachoeira e do rio Atibainha, visando contribuir para o planejamento ambiental com ênfase na manutenção da qualidade e da disponibilidade de água, bem como da vida útil dos reservatórios.

2.2 Objetivos Específicos

- Gerar mapa que indique as áreas de risco para a produção de sedimentos a partir de planos de informações relacionados ao meio físico, dentre eles: solos; classes de declividade; área variável de afluência (áreas saturadas); e intensidade e sazonalidade do regime de chuvas.
- Gerar mapa sobre os tipos de uso e ocupação da terra, a partir de dados espaciais e levantamentos de campo sobre os tipos de manejos agrícolas adotados pelos agricultores a fim de identificar áreas com potencialidade para erosão e produção de sedimentos.
- Gerar mapa sobre a adequação do uso da terra em relação à aptidão agrícola, a fim de identificar áreas adequadas, sub ou sobre-utilizadas, identificando, assim, as áreas com potencialidades para a erosão e produção de sedimentos.
- Criar um mapa final identificando as áreas com risco de erosão e produção de sedimentos, estabelecendo pesos (baixo, médio e alto risco para erosão e produção de sedimentos) para cada característica contida nos mapas do meio físico, procedimento do uso da terra e adequação.
- Criar material que permita fornecer subsídios para o planejamento de uso das terras e implantação de práticas adequadas de manejo, tendo em vista a manutenção da vida útil dos reservatórios a jusante da área de estudos.

3. SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL

3.1 Os Processos erosivos e a bacia hidrográfica

A produção de sedimentos está sempre relacionada a um sistema erosivo composto pelas fases de retirada, transporte e deposição de materiais enfraquecidos pelo intemperismo. Seja de maneira natural, seja catalizada pela ação humana, este sistema erosivo pode estar associado à ação de vários agentes físicos, como é o caso do vento, do gelo, do mar ou da ação da água escoando em uma bacia hidrográfica.

Neste sentido, o estudo da carga sedimentar torna-se indissociável do estudo da bacia hidrográfica, pois como um sistema hídrico, ela própria tem formas erosivas típicas. Segundo Horton (1945) a rede principal de canais fluviais estende-se até as cabeceiras de drenagem em forma de rampas, onde a ampliação desta rede é demarcada pela formação de canais erosivos (gully). Assim os processos de encosta e de fundo de vale interligam-se com a descarga sedimentar destes canais erosivos na rede principal de canais fluviais. Para este autor, os canais erosivos de cabeceira seriam formados pelo escoamento concentrado de água superficial.

Ainda pode-se citar uma série de outras formas erosivas ligadas à dinâmica da bacia hidrográfica e da rede de canais que a drena. Para o caso da dinâmica de encosta, além da formação de novos canais, o escoamento superficial também é responsável pela lavagem superficial de detritos em áreas descobertas e pela retirada de materiais intemperizados ou depositados em paredes rochosas e em canais e vales. Os movimentos de massa também são relevantes na carga total de sedimentos, podendo ser translacionais, para o caso de encostas com pouca cobertura regolítica ou rotacionais, para o caso de grandes pacotes sedimentares.

A dinâmica fluvial também preconiza uma alternância de movimentação dos pacotes sedimentares já retidos, principalmente em tipos de canais meandantes ou anastomosados. Quando um meandro alcança uma encosta, também pode provocar a remoção de partes do regolito e assim, sucessivamente o início de movimentos translacionais ou rotacionais na encosta, inserindo grandes aportes de cargas sedimentares no fundo do canal fluvial, sendo que o mesmo processo pode ser iniciado quando existe um corte de encosta por uma estrada.

A ação humana (antrópica), portanto, pode acarretar o aceleração de alguns destes processos erosivos, sejam relativos à encosta ou ao sistema fluvial. A retirada da cobertura vegetal, a remoção do solo para o plantio e a construção de estradas são algumas das intervenções efetivas em relação ao aumento da produção de sedimentos.

A cobertura vegetal, na perspectiva ecossistêmica, exerce um papel fundamental no sistema da paisagem e o processo de desmatamento, obviamente, significa um forte impacto ambiental no sistema, pois, dentre os vários processos relacionados, destacam-se a degradação dos solos, a alteração dos fluxos d'água, o aumento nos processos de sedimentação em rios, reservatórios e sistemas de irrigação, além da redução do *habitat*, que abriga uma biodiversidade muitas vezes desconhecida (GRAINGER, 1993). Isso significa que, em sua maior parte, os problemas relacionados ao desmatamento da vegetação original, além de sua função ecológica, estão diretamente relacionados aos processos erosivos.

Neste sentido a intensidade com que os processos relacionados ao ciclo erosivo-deposicional em bacias hidrográficas ocorrem, depende de algumas variáveis, como tipo de rocha ou solo, topografia ou relevo, cobertura vegetal, clima, uso do solo e manejo. As atividades antrópicas, que modificam os tipos de cobertura e uso do solo e influenciam até mesmo a descarga hídrica de bacias, e podem afetar diretamente todos os outros processos do ciclo natural de erosão (HADLEY et al, 1984).

No contexto de conhecimento das transformações da paisagem, segundo Walling (1980) apud Câmara et al (2006), a bacia hidrográfica é definida como a unidade natural da paisagem, que representa a definição espacial de um ecossistema aberto, em que ocorre contínua troca de energia com o meio, o que faz com que a qualidade da água nela produzida seja resultado de diversas características da bacia, entre as quais, ainda segundo o autor, destaca-se a cobertura vegetal. Essa condição singular permite o estudo da interação entre o uso da terra e a qualidade de águas numa determinada bacia hidrográfica.

De acordo com Petts et al (1996), apud Christofolletti (1999), ao tratar dos hidrossistemas fluviais, considerando a abordagem holística sistêmica como a mais apropriada, os rios devem ser analisados como sistemas tridimensionais, estando na dependência de transferência de energia, material e biota, nas direções longitudinal, lateral e vertical. Tornam-se importantes os fluxos de montante para jusante, as interações laterais

com as margens e setores da bacia e os intercâmbios verticais com as águas subterrâneas e aquíferas aluviais. A integridade do sistema fluvial depende das interações dinâmicas dos processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos atuantes nessas três dimensões em amplitudes diferenciadas na escala temporal.

3.2 Impactos da intensificação dos processos erosivos nos cursos d'água

Em razão da relação entre manejo e uso da terra e qualidade e quantidade de água produzida na bacia hidrográfica, resultantes dos processos de escoamento superficial e subsuperficial, pode-se relacionar a possibilidade de ocorrência de 3 processos altamente impactantes: a poluição difusa, a eutrofização e o assoreamento.

A poluição difusa ocorre quando o manancial absorve insumos agrícolas, oriundos das atividades vigentes na bacia que, muitas vezes, dependendo de sua concentração, tornam-se altamente tóxicos para o consumo humano. A poluição difusa também é responsável pelo processo de eutrofização, que causa um desequilíbrio no ecossistema aquático.

A eutrofização ocorre devido ao aumento da carga dos nutrientes nitrogênio e fósforo presente nos fertilizantes, que chega nos cursos hídricos e nos reservatórios através do escoamento superficial ou carregado juntamente com os sedimentos removidos da encosta. Os nutrientes estimulam a reprodução de algas cianofíceas e de outros microorganismos, causando diminuição de oxigênio na água e a morte dos peixes e dos organismos aeróbicos. Morrem também as plantas aquáticas, visto que microorganismos anaeróbicos, que se alimentam de material em decomposição, formam uma camada na superfície da água que impede o contato das plantas com a luz solar.

Já o processo de assoreamento ocorre pelo escoamento superficial e subsuperficial causados pela água das chuvas que, juntamente aos particulados de solo, são carregados também os insumos agrícolas da poluição difusa. Em condições de elevada presença de partículas de solo na água ocorre o aumento de sua turbidez. A turbidez é um tipo de medida que quantifica o grau de intensidade de luz espalhada que passa pelas partículas de sedimentos orgânicos (incluindo as algas) e inorgânicos na coluna d'água. O espalhamento de luz na lâmina d'água é diretamente proporcional à quantidade de sedimentos (OSMOND et al, 1995). Além disso, com o passar dos anos, areia e detritos se acumulam no leito do

rio, deixando-os cada vez mais rasos e, portanto, com menor vazão, e, no caso de reservatórios, diminuindo sua vida útil.

Esses impactos ambientais em função da alteração nos processos de escoamento superficial nas vertentes, intensificados pela ação humana, revelam a importância dos estudos que busquem compreender, identificar, localizar e prognosticar os tipos de processos erosivos ocorrentes em determinada bacia hidrográfica.

3.3 Estudos relacionados à produção de sedimentos e seus principais agentes controladores.

A quantidade de sedimento por unidade de área removida de uma bacia de drenagem por fluxo de água das chuvas durante um período específico de tempo é definida como a produção de sedimentos. A produção de sedimentos afeta as taxas de desenvolvimento dos solos e influencia a recuperação de superfícies perturbadas a jusante das áreas de origem. A produção de sedimentos é fortemente afetada pelos materiais de superfície, topografia, sazonalidade das chuvas e cobertura vegetal e pode ser potencializada pelos distúrbios ocorridos no solo, tais como uso do solo, seus respectivos manejos e presença e/ou construção de estradas. (GRIFFITHS et al, 2006).

Segundo Lepsch (2002), os fatores mais importantes do clima em relação à erosão são a distribuição, a quantidade e a intensidade das chuvas. Se o solo está sendo cultivado, fica mais desprotegido, principalmente por ocasião da semeadura, quando recém revolvido em época coincidente com chuvas mais intensas.

Em relação aos solos, Lepsch (2002) define que a susceptibilidade está relacionada às suas características físicas tais como textura, permeabilidade e profundidade. Os solos de textura arenosa são mais susceptíveis que os de textura argilosa, no entanto, a permeabilidade também é um fator importante. Os Argissolos, por exemplo, em igualdade de textura e relevo, são mais susceptíveis de ser erodidos que os Latossolos, já que são menos permeáveis devido à presença do horizonte B mais compacto, com acumulação de argila. Em relação à profundidade dos solos, os solos rasos são mais erodíveis que os solos profundos, pois a água da chuva acumula-se na camada de solo e facilmente a encharca, facilitando o escoamento superficial e, conseqüentemente, o arraste do horizonte superficial.

A declividade do terreno, ou o grau de inclinação do terreno, segundo Lepsch (2002) também vai influenciar na concentração, dispersão e velocidade da enxurrada. Em terrenos planos, ou levemente inclinados, a água escoar com baixa velocidade, permitindo que grande parte da água se infiltre no solo. Já em terrenos muito inclinados, a resistência ao escoamento é bem menor. Portanto, as regiões montanhosas são mais susceptíveis à erosão hídrica.

Na década de 1970 e 1980, inúmeros pesquisadores tentaram entender e quantificar as relações dos componentes da paisagem com os processos erosivos, pois a relação entre as variáveis formadoras do relevo estava estabelecida, no entanto, não se sabia o quanto cada variável contribuía na modelagem das vertentes. Dunne (1979) reafirmando as hipóteses de Wilson (1972) apud Dunne (1979) apresentou um dos primeiros trabalhos relacionando a produção de sedimentos e seus maiores agentes controladores em regiões de clima equatorial, examinando os efeitos nas relações regionais e globais. Análises da produção de sedimentos em 61 bacias hidrográficas no Quênia realizadas por Dunne (1979) durante o período de 1958 a 1968 (intervalo de 20 anos) indicaram que o uso da terra, na escala regional, é o fator dominante, no entanto, nos diferentes tipos de uso da terra, o autor reconhece os efeitos das variáveis climáticas e topográficas.

Entretanto, Dunne (1979) ainda atenta para o fato da presença de estradas consistirem em um fator acelerador dos processos de escoamento superficial e erosivo em áreas com agricultura. Dunne (1979) afirma que a contribuição das estradas em relação à produção de sedimentos é considerável. Segundo o autor, se a rede de estradas e trilhas for densa, em relação à área total da bacia, e estiver conectada aos cursos d'água, significa que os sedimentos erodidos serão carregados para os canais dos rios, ou seja, as estradas constituem fontes de contribuição consideráveis em relação à produção de sedimentos. A contribuição dependerá do tipo, quantidade (quantos km de estrada por km² em relação à área da bacia) e a intensidade de utilização dessas vias (quantidade de veículos, pedestres, etc.). Em seu estudo no Quênia, Dunne (1979) indica uma contribuição das estradas em relação à produção de sedimentos de 15 a 35% na área total da bacia do Chania/Quênia.

Forman et al (1998) ao discutir os principais efeitos das estradas na paisagem, afirma que além dos impactos ecológicos, as estradas são fontes de escoamento superficial, produção de sedimentos e transporte químico especialmente em fortes eventos de chuva. Os

estudos de Forman et al (1998) ressaltam a importância de analisar as características do regime de chuva no local em estudo, quando seu objetivo é identificar áreas com probabilidade de ocorrência dos processos erosivos. A produção de sedimentos nas estradas também é determinada pela geometria, declividade, largura, superfície e manutenção, além de propriedades do solo e cobertura vegetal no entorno. Segundo Forman et al (1998) os efeitos de propagação da presença de estradas em relação à produção de sedimentos se dão até 1000 metros de distância a montante das estradas, no entanto, essa relação de efeitos dependerá das características e condições em que se encontram as estradas.

Na tentativa de compreender a paisagem desértica em função das variáveis do meio físico, Griffiths et al (2006) em função dos longos intervalos de seca, na região do deserto Mojave na Califórnia e Nevada/USA, a partir de monitoramentos da produção de sedimentos em relação aos dados de chuva, percebe um comportamento diferenciado em relação a outras áreas desérticas tais como o deserto Negev de Israel.

Nos estudos de Griffiths et al (2006), a produção de sedimentos analisadas em 15 reservatórios identificou menores quantidades da produção de sedimentos em comparação com áreas de características similares em relação ao tamanho da bacia no sul do deserto Negev. Para Griffiths et al (2006) a explicação para o fato de o deserto Mojave apresentar valores inferiores não pode ser em função dos variados níveis de precipitação, mas sim pelos tipos de tempestades: enquanto o deserto de Negev apresenta tempestades intensas e localizadas, no Mojave a precipitação é resultado de tempestades de inverno, com menores intensidades. Ou seja, no caso de regiões desérticas, é a intensidade de chuva o fator controlador da quantidade de produção de sedimentos em determinada bacia de estudos, portanto, não basta analisar apenas a sazonalidade do regime das chuvas é necessário também identificar suas intensidades.

Ainda em relação às características do meio físico, as zonas ripárias, entendidas como as zonas saturadas ou área variável de afluência (A.V.A) que margeiam os cursos d'água e suas cabeceiras, exercem função primordial em relação à geração de escoamento direto em eventos de chuva em uma bacia hidrográfica.

Segundo Lima (1989) em seu trabalho de revisão sobre hidrologia de matas ciliares Apud Zakia et al (2006), em áreas com boas condições de cobertura vegetal, são ausentes ou raras a ocorrência de escoamento superficial hortoniano. No entanto, em algumas áreas,

Lima (1989) afirma que o escoamento superficial hortoniano ocorre, mesmo quando a intensidade da chuva é inferior à capacidade de infiltração média para toda a bacia.

Essas áreas, segundo Lima (1989) Apud Zakia et al (2006), consistem em:

- zonas saturadas que margeiam os cursos d'água e suas cabeceiras, as quais podem se expandir durante chuvas prolongadas (zonas ripárias);
- concavidades do terreno para as quais convergem as linhas de fluxo, como as frequentemente existentes nas cabeceiras (também parte da zona ripária);
- áreas de solo raso, com baixa capacidade de infiltração.

As afirmações do parágrafo anterior indicam que as zonas ripárias desempenham papel hidrológico fundamental na geração do escoamento direto. Nas áreas saturadas da bacia hidrográfica, tanto ao longo das margens da rede de drenagem quanto nas cabeceiras, e até mesmo em manchas de áreas saturadas que podem ser encontradas nos locais mais elevados da encosta, o que prevalece é o escoamento superficial de áreas saturadas. Para Zákia et al (2006), essa relação hidrológica na escala da bacia hidrográfica caracteriza a importância das áreas ripárias e reforça a necessidade de sua identificação e delimitação.

Segundo Wischmeier & Smith (1978) apud Saiz (1996) a declividade do terreno associada ao comprimento de rampa afetam substancialmente o efeito da erosão hídrica. No entanto, segundo as afirmações de Lima (1989) Apud Zakia et al (2006) as áreas saturadas de uma bacia hidrográfica também afetam o efeito da erosão hídrica, pois os fluxos de águas superficiais e subsuperficiais se acumulam nas proximidades da drenagem, e, dependendo da cobertura vegetal dessas áreas, o carreamento das partículas de solo nessas áreas torna-se inevitável, ou seja, existe a possibilidade de substituir o comprimento de rampa pelas áreas variáveis de afluência em estudos que visem identificar áreas susceptíveis à produção de sedimentos.

Os estudos de Dunne (1979) e Grifftiths et al (2006) comprovam as relações diretas das características do meio físico, tais como intensidade e sazonalidade no regime de chuvas, solos, geologia e formas do relevo e uso da terra com a produção de sedimentos. No entanto, o fator procedimento agrícola de uso e ocupação, como já considerado na Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) e suas respectivas adaptações, também é de suma relevância nos processos erosivos.

O manejo das plantações florestais, por exemplo, envolve duas fases críticas de impactos hidrológicos: o preparo do solo e a colheita florestal. O preparo do solo se inicia com a retirada da cobertura vegetal e posterior sistematização do terreno (aração e gradagem), procedimentos que além de expor totalmente o solo, associados, acentuam ainda mais sua fragilidade em relação às perdas de solo.

A colheita florestal, principalmente quando é feita pelo corte raso, é, em geral, responsável por significativos impactos hidrológicos tais como compactação do solo, da erosão e aumento do aporte de sedimentos e nutrientes para os cursos d'água. (DISSMEYER et al apud LIMA et al, 2002).

Para Lepsch (2002), a agricultura pode alterar intensamente os ecossistemas, contudo deve fazê-lo para pleno benefício do homem: produzindo alimentos, fibras e combustíveis, para atender as necessidades presentes, sem prejudicar a capacidade de gerações futuras e também satisfazer suas necessidades.

A utilização ideal das terras para finalidades agrícolas envolve automaticamente atividades relacionadas ao desenvolvimento sustentável que, segundo Lepsch (2002), é definido como atividades harmoniosas que visem proteger o meio ambiente.

Seguindo essas premissas do desenvolvimento sustentável e, conseqüentemente, das atividades de preservação ambiental, a exploração agrícola dos solos deve ser feita segundo preceitos conservacionistas associados aos aspectos econômicos da unidade a ser estudada.

O planejamento conservacionista do uso das terras deve basear-se na utilização de parâmetros que identifique sua capacidade, ou seja, cada solo tem um limite máximo de possibilidade de uso, além do qual não poderá ser explorado sem riscos de erosão.

Esses são os princípios que fundamentam o modelo de aptidão das terras apresentado por Ramalho Filho e Beek (1994): “podem ser realizadas interpretações para atividades agrícolas, classificando-se as terras de acordo com sua aptidão para diversas culturas, sob diferentes condições de manejo e viabilidade de melhoramento, considerando novas tecnologias (RAMALHO FILHO & BEEK, 1995).

O método apresentado por Ramalho Filho e Beek (1994) segue as orientações contidas no *Soil survey manual* (Estados Unidos, 1951) e na metodologia da FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - *Food and Agriculture Organization*) (1976), as quais recomendam que a avaliação da aptidão agrícola das terras

seja baseada em resultados de levantamentos sistemáticos, realizados com o suporte dos vários atributos das terras: solo, clima, vegetação, geomorfologia, etc.

O método é baseado nas práticas agrícolas, e considera três níveis de manejo, visando diagnosticar o comportamento das terras em diferentes níveis tecnológicos. Para a análise das condições agrícolas das terras, toma-se hipoteticamente como referência um solo que não apresente problemas de fertilidade, deficiência de água e oxigênio, não seja susceptível à erosão e nem ofereça impedimentos à mecanização.

3.4 Modelos para avaliação dos processos erosivos

Na tentativa de compreender os processos erosivos, vários métodos têm sido desenvolvidos para medir a quantidade de solo que é erodida em um período específico de tempo. Esses métodos, juntamente às características de chuva, solo e vegetação, topografia e tipos de uso da terra podem ser usados para desenvolver relações empíricas para a predição de erosão dos solos e estimativa da produção de sedimentos, assim como as relações utilizadas na Equação Universal de Perdas de Solo (USLE).

Em relação às técnicas utilizadas nos estudos dos processos erosivos, existem duas subdivisões: os estudos de monitoramento e os de experimentação. O monitoramento consiste em mensurações sistemáticas de um processo erosivo, sendo necessário coletas de dados, em intervalos que podem ser fixos (ou não) dependendo do que está sendo estudado. Enquanto os experimentos referem-se a ensaios, que podem ser de laboratório ou não, não havendo a obrigatoriedade de coletas em determinados intervalos de tempo.

Os métodos mais simples para monitorar os processos erosivos são, geralmente, conduzidos em bacias menores que 5 km² para diminuir o custo das instrumentalizações e manter o controle na confiabilidade das medidas assim como observar o comportamento hidrológico em eventos individuais de escoamento superficial.

O controle topográfico de precisão da evolução de processos erosivos, tratado por Schumm (1967) apud Hadley (1984), pode ser dado pela medição periódica de feições erosivas por meio de equipamentos topográficos ou pela medição dos processos erosivos por meio de pinos e estacas que são colocados no solo ou nas voçorocas, para monitorar a perda de solo por erosão em lençol, mesmo que os autores citados indiquem a limitação da técnica para uma escala de controle pontual de evolução.

Para fins de uma mensuração precisa, muitos pesquisadores utilizam parcelas erosivas ou parcelas de GUERLACH, que visam mensurar a perda de sedimentos pelo escoamento superficial, através de um coletor, em uma dada área conhecida e limitada por placas metálicas. Este tipo de parcelas geralmente é alocado em áreas com diversos tipos de manejo, a fim de elucidar os diferentes padrões erosivos de cada um. Estas parcelas também podem ser incrementadas com simuladores de chuva, não dependendo da irregularidade sazonal dos eventos chuvosos para uma mensuração efetiva (MEYER, 1965 apud HADLEY, 1984). O mesmo princípio é utilizado na alocação de reservatórios a jusante de pequenas bacias de drenagem, a fim de coletar periodicamente a carga sedimentar neles retida.

Mesmo com inúmeros estudos voltados à produção de sedimentos, utilizando vários métodos empíricos, tais como os monitoramentos a partir das parcelas hidrológicas, coleta em rios e /ou reservatórios, a relação entre a quantidade de erosão nas porções mais altas da bacia de drenagem com a produção de sedimentos de um determinado ponto nas porções mais baixas, não foi bem definida.

Técnicas de previsão de perdas de solos vêm sendo aprimoradas desde meados do século XX e a equação que mais se destaca nesta categoria é a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE).

A USLE inclui a maioria dos fatores causadores da erosão. Trata-se de uma equação empírica desenvolvida para estimar perdas de solo por processos erosivos por um determinado cultivo ou plantação. (HADLEY, 1984).

A equação da USLE foi basicamente desenvolvida com base em dados de perdas por escoamento superficial coletados a partir de parcelas hidrológicas na região leste das Montanhas Rochosas nos Estados Unidos.

No entanto, diversos refinamentos da equação foram desenvolvidos para diferentes áreas tais como os trabalhos de Singer, Huntington and Sketchley (1977); El Swaif and Dangler (1977) para solos tropicais; Aina, Lal and Taylor (1977) para a região oeste da Floresta Tropical na Nigéria; entre outros (HADLEY, 1984).

No Brasil, os trabalhos pioneiros utilizando a equação de perdas de solo foram realizados por Bertoni et al (1975) apud Bertoni et al (1999) utilizando os dados existentes para as condições do estado de São Paulo.

O modelo aperfeiçoado da USLE elaborado por Wischmeier & Smith (1965) apud Bertoni et al (1999) exprime a ação dos principais fatores que sabidamente influenciam a erosão pela chuva e é expressa por:

$$A = R K L S C P$$

onde:

A = perda de solo calculada por unidade área, t/ha;

R = fator chuva: índice de erosão pela chuva;

K = fator erodibilidade do solo: intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25m, t/ha/ (MJ/ha.mm/ha);

L = fator comprimento do declive: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25 metros para o mesmo solo e grau de declive;

S = fator grau de declive: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa;

C = fator uso e manejo: relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado;

P = fator prática conservacionista: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo.

No entanto, a USLE, segundo Wischmeier (1975) apud Hadley (1985) apresenta inúmeras limitações tais como:

1 - A produção de sedimento no campo é usualmente menor do que a soma das perdas de solo de inúmeros segmentos de rampa devido aos depósitos nas depressões, nas pontas das encostas, na borda do campo e no terraço dos canais.

2 - A equação computa a média de perda de solos em longos intervalos de tempo; e quantidades atuais para períodos individuais de tempo podem ser supostamente desviadas desta média com uma margem grande.

3 – O potencial para considerar as interações existentes entre os diferentes fatores, como por exemplo, a relação da cultura e a distribuição de chuvas. Indicações das interações entre solos, topografia e condições de superfície necessitam de pesquisas futuras.

4 – A equação não pode ser corretamente aplicada em bacias complexas utilizando médias gerais dos fatores para K, C e LS – extensas subdivisões da bacia em partes menores seriam necessárias. Além do mais, como já citado no ítem 1, a produção de sedimento na bacia seria inferior em relação à soma das subdivisões na área da bacia – uma razão da entrega de sedimentos seria necessária.

5 – Se a equação é usada para estimar a perda de solos para um específico plano de chuva, os resultados seriam uma média para as condições esperadas. No entanto, perdas de solos para chuvas específicas podem ser fortemente afetadas por uma grande oscilação nos parâmetros secundários que temporalmente afetam os valores dos fatores da equação. Por exemplo, algumas chuvas são acompanhadas de ventos fortes enquanto outras ocorrem em uma atmosfera calma que acaba afetando o impacto da energia sobre as gotas de chuva; e, ainda, algumas chuvas começam com grande intensidade e rapidamente chegam a superfície, marcado-a, fazendo com que as últimas partes da chuva encontrem uma razão de infiltração abaixo do normal.

6 – Resultados de furacões associados às tempestades em vertentes planas são usualmente altos. Isto pode ser atribuído à proteção da superfície do solo pelas poças de água da chuva.

Devido às incertezas em relação à produção de sedimentos, o desenvolvimento de modelos com embasamento empírico, tais como a USLE, ainda não foram produzidos. No entanto, existem modelos qualitativos de estimativa da produção de sedimentos baseados nas características da bacia em estudo associados às informações de sedimentação.

Os modelos qualitativos foram desenvolvidos com o intuito de estudar bacias maiores que 25 km² e partiram de estudos em regiões áridas e semi-áridas desenvolvidos pelo Comitê de Interagência do Sudoeste Pacífico (PSIAC) em 1968, por isso denominado de método PSIAC.

O método PSIAC desenvolvido em 1968 consiste em uma classificação qualitativa da bacia de drenagem, baseado em nove fatores: superfície geológica, solos, clima,

escoamento, vegetação, uso da terra e características erosivas. Cada fator é associado a uma classificação numérica de acordo com características da bacia examinadas em campo.

O estudo do PSIAC foi testado em 28 bacias na região do Colorado e Novo México/EUA, em bacias variando de 0.05 a 96km² de área, nas quais havia uma série histórica de monitoramento da produção de sedimentos. Esse método qualitativo é extremamente útil para o planejamento regional assim como possível extrapolação para áreas não monitoradas.

No entanto, em áreas que inexistem dados de monitoramentos ou experimentação a aplicação de modelos fechados como a USLE sem os dados para sua verificação pode, como já citado neste trabalho, obscurecer os resultados, sub ou superestimando os valores de perdas de solo.

Os estudos de caráter quantitativo, mesmo em outras áreas, permitem que estudos qualitativos possam ser realizados, pois fornecem as bases para as relações hierárquicas na definição dos riscos na configuração dos agentes considerados relevantes para análise das inter-relações dos elementos constituintes da paisagem. A quantidade de sedimentos produzida ao longo da bacia hidrográfica, assim como os valores calculados pela equação da USLE, ou a quantidade de sedimentos que determinado uso da terra está perdendo, tais como as informações das parcelas hidrológicas, são ações que enriqueceriam a análise de áreas com potenciais para a produção de sedimentos, no entanto, no caso de sua ausência, é possível estabelecer modelos que levem em consideração as características e informações disponíveis para a área de estudos.

3.5 Utilização dos Sistemas de Informação Geográfica no estudo da erosão dos solos e potencialidades para a produção de sedimentos

Os modelos citados no item 4.4 deste trabalho, como a USLE ou o PSIAC, e suas respectivas adaptações, também podem ser implementados em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O propósito dos SIG's, segundo Bonham-Carter (1994) é fornecer suporte em decisões a serem tomadas com base em dados espaciais, proporcionando uma seleção de prioridades, constituindo este processo, um modelo. Existem diversos modelos implementados dentro de SIG, no entanto, em todos os modelos o SIG funciona como uma ferramenta de suporte à decisão.

O suporte à decisão oferecido pelo SIG consiste na escolha entre alternativas mais ou menos importantes na ocorrência de qualquer processo e é baseada na interseção de mapas temáticos de mesma escala, que constituem os critérios. Os critérios recebem um peso de acordo com sua importância no processo estudado e podem ter seu peso aumentado ou diminuído quando necessário. A partir do estabelecimento de critérios de comparação para cada combinação de fatores, é possível determinar um conjunto de pesos que podem ser utilizados para a geração de diferentes mapas. (CÂMARA et al., 1996).

Sivertun et al (2003) utilizam um modelo modificado da USLE para identificar áreas de risco de poluição difusa utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG). A proposta dos autores é a simples multiplicação dos valores das matrizes dos fatores solo, declividade, drenagem e uso da terra.

A proposta de modificação da USLE apresentada por Sivertun et al (2003) não é disponibilizar a quantidade de produção de sedimentos ou poluição, mas sim localizar áreas com alto risco de erosão ou influenciáveis em relação à qualidade das águas superficiais. O trabalho de Sivertun et al (2003) parte do princípio de que a erosão não transporta apenas partículas de sedimentos, mas também nutrientes e poluição.

O modelo proposto por Sivertun et al (2003) utiliza para cada matriz considerada no trabalho os valores apresentados pela USLE e, no caso de novas classes nos fatores, os valores foram estimados com base na USLE. No entanto, em relação ao fator comprimento de rampa, o autor considera não apenas a declividade, mas também o comprimento de rampa e as áreas de contribuição a montante. Essa adaptação do cálculo de comprimento de rampa visa identificar as áreas que apresentam concentração de fluxo de água, ou seja, áreas mais susceptíveis aos processos erosivos.

O resultado do trabalho de Sivertun et al (2003) foi uma matriz com valores reclassificados em função dos valores do desvio padrão. Para identificar as áreas de alto risco, foram calculados o desvio padrão acima da média e para as áreas de baixo risco abaixo da média.

O trabalho de Sivertun et al (2003) é apenas um exemplo entre muitos trabalhos que utilizam o SIG e modelagem matemática para relacionar as variáveis conhecidas dos processos erosivos e produção de sedimentos numa bacia hidrográfica para identificar as áreas de maior prioridade ou de maior risco de degradação ambiental. Dentre eles

destacam-se os trabalhos de Bocco et al (1990) no México, Lantieri et al (1990), Lima (1990), Pinto (1991) e Garcia et al (2000) no Brasil.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

As bacias do Atibainha e do Cachoeira a montante dos reservatórios, localizam-se entre os paralelos $22^{\circ} 50' 37.24''$ S e $23^{\circ} 11' 43.65''$ S e entre os meridianos $46^{\circ} 01' 56.20''$ W e $46^{\circ} 17' 31.12$ W, abrangendo uma área total de 447 km² (Figura 4.1).

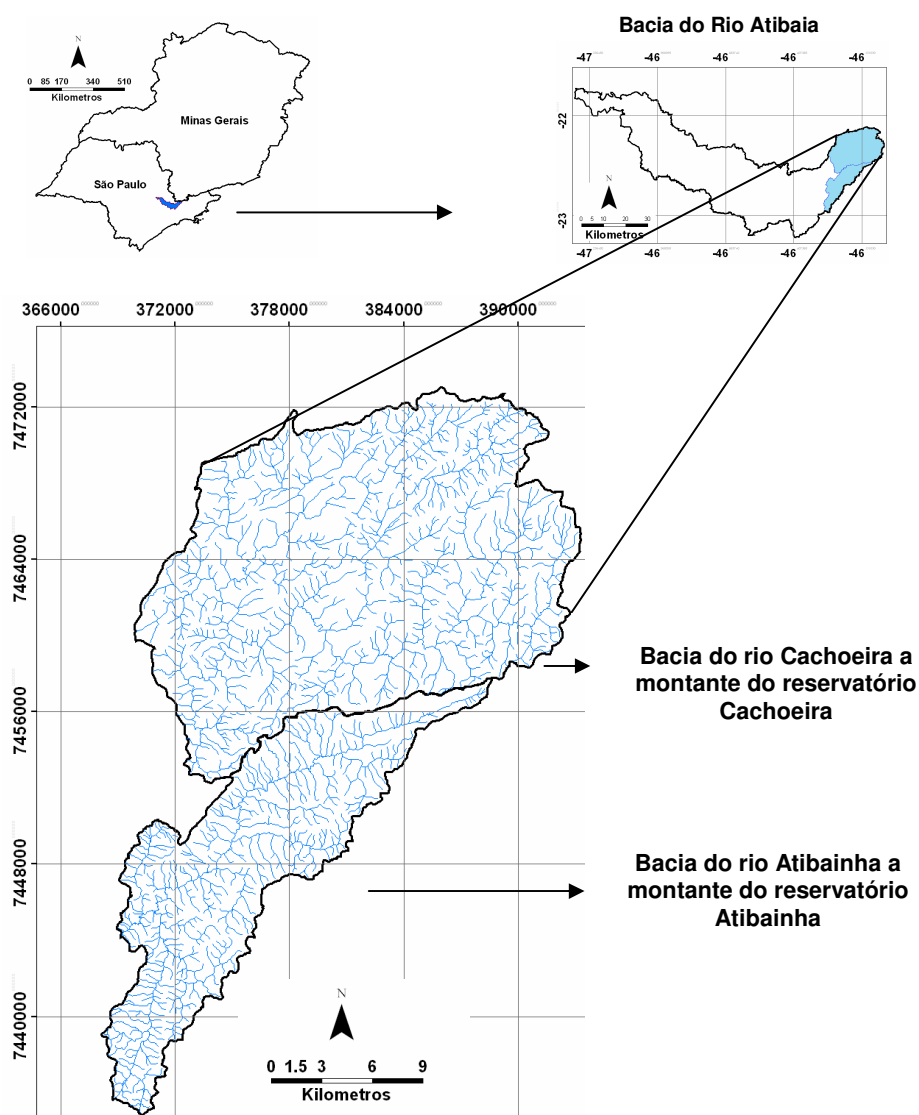


Figura 4.1: Localização da área de estudo: as bacias do rio Atibainha e Cachoeira a montante das barragens do Sistema Cantareira.

A área de estudo pertence aos municípios de Camanducaia/MG, Joanópolis/SP, Piracaia/SP e Nazaré Paulista/SP e consiste na área de nascentes da bacia do rio Atibaia, sub-bacia do rio Piracicaba. (localização da bacia no estado de São Paulo).

Nessa região, o desmatamento intenso ocorreu no século XIX para abrigar as plantações de café; posteriormente, devido à crise cafeeira de meados do século XX, a atividade desenvolvida foi a pastagem, uma vez que as altas declividades não permitiam a agricultura mecanizada. A vegetação original pertencia ao bioma de mata atlântica, variando em Floresta Ombrófila densa e mista, e, atualmente, consiste em mata secundária. (Prefeitura de Piracaia, 2005).

O clima da região é subtropical de altitude, com temperatura média de 20° C, média máxima de 23° e média mínima 14° C, com verão de Setembro a Março e Inverno de Abril a Agosto. Segundo a divisão internacional de Köppen, está na faixa de ocorrência do sub-tipo Cwa - com inverno seco e verões quentes (PCJ – Relatório Final, 2004).

As bacias de estudos estão inseridas na unidade geomorfológica do Planalto Atlântico, região de terras altas constituídas predominantemente por rochas cristalinas pré-cambrianas da Serra da Mantiqueira (Mantiqueira Meridional). Esta zona constitui em áreas acidentadas compostas por relevo forte ondulado, cujas feições geomorfológicas são, segundo a classificação do mapa Geomorfológico do estado de São Paulo (escala 1:500 000) Sistemas de Morros (Morros Arredondados - 241, Morros de Topos Achatados - 242, Mar de Morros - 243, Morros Paralelos - 244, Morros com Serras Restritas - 245) e Relevo Montanhoso representado por Serras Alongadas (251). As altitudes chegam a superar 1900 m e os assoalhos dos vales oscilam predominantemente, entre 750 m e 850 m, predominando as classes de declividade entre 25 a 45%, segundo classificação do Mapa de Solos do Estado de São Paulo/Embrapa/IAC (Oliveira et al, 1999).

As unidades litoestratigráficas (Figura 4.2), segundo PCJ- Relatório Final (2004), derivam das rochas do embasamento cristalino e consistem nas formações Pré-Cambrianas com Suítes Graníticas (Sintectônicas), Facies Cantareira (Corpos para-autóctones e alóctones, foliados, granulação fina a média, textura porfirítica freqüente; contatos parcialmente concordantes e composição granodiorítica a granítica); Complexo Grupo São Roque Filitos - Filitos, quartzo filitos e filitos grafitosos em sucessões rítmicas incluindo subordinadamente metassiltitos e quartzo xistos, micaxistos e quartzitos; Grupo São Roque

Metadioritos - Metadioritos e quartzo dioritos gnáissicos; Grupo São Roque Migmatitos - Migmatitos de estruturas variadas; Complexo Amparo Migmatito - Migmatitos bandados com paleossoma granulítico e anfibolítico, granulitos diversos migmatizados, migmatitos homogêneos, anatexitos e subordinadamente biotita gnaisses e quartzitos.

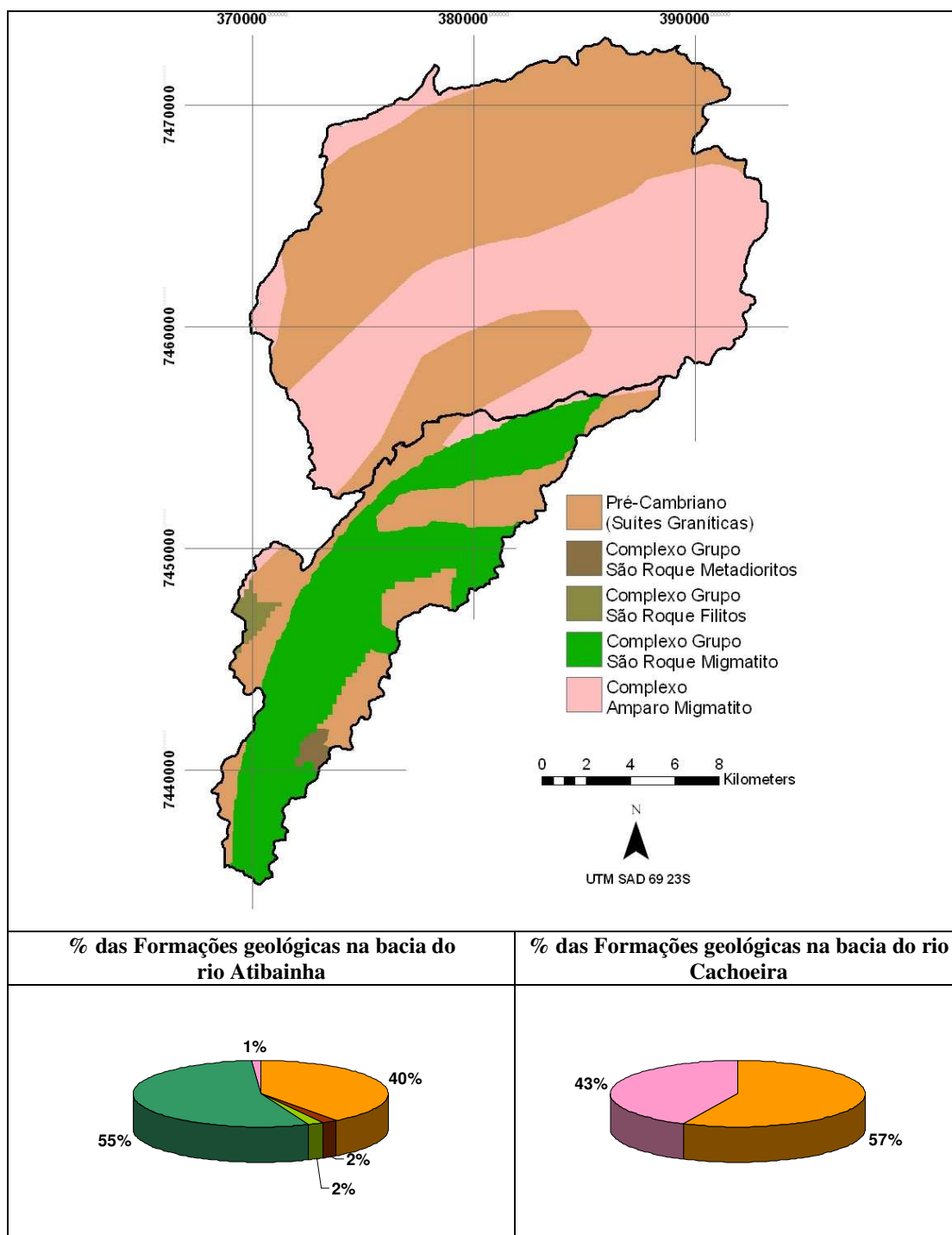


Figura 4.2: Formações geológicas na área de estudo, enfatizando as porcentagens de cada classe para as bacias estudadas.

Fonte: Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo escala 1: 500 000 – IPT 1981.

A formação geológica de maior ocorrência na área de estudo é o Pré cambriano, apresentando 51% (230 km²) em relação a área de estudos de (447) km². Na bacia do rio Cachoeira as formações do Pré-cambriano predominam em 57% de ocorrência. Já na bacia do Atibainha, o Pré-cambriano ocorre em 40%, não sendo classe de maior ocorrência. Na bacia do Atibainha, 55% da área correspondem ao Grupo São Roque Migmatito.

As áreas de pré-cambriano possuem rochas graníticas, com maior resistência ao intemperismo que as rochas meta-sedimentares adjacentes, o que explica o fato da bacia do rio cachoeira ser soerguida em relação à bacia do rio Atibainha, estando a primeira aproximadamente 200 metros suspensa em relação à segunda em seus limites inferiores (áreas de foz correspondentes as barragens dos dois sistemas hidrográficos). A litologia também controla os desnivelamentos topográficos nas duas bacias, que é de 1164m para o caso da bacia do rio Cachoeira e de 700 metros para o rio Atibainha, mesmo que as classes de declividade sejam muito parecidas para os dois casos.

Segundo relatório do PCJ (2004), a área de estudos, por apresentar abundância de água, em 1960 foi considerada uma alternativa para abastecer a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e na década de 60 chegou-se ao consenso de que a melhor solução, dentre as várias alternativas levantadas, era abastecer a região da capital a partir das nascentes das bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, extremamente farta em água de boa qualidade.

Para isso, foi construído o Sistema Cantareira, que fornece 31 m³ (31 mil litros) de água por segundo para a Região Metropolitana de São Paulo, isto é, 54% da água consumida na região. Essa água é desviada por meio de um sistema que utiliza a força da gravidade e o bombeamento elétrico.

O Sistema Cantareira é formado por cinco reservatórios, todos situados na cabeceira de drenagem das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari (Figura 4.3). O Reservatório Jaguari, abastecido pelo Rio Jaguari, localiza-se na parte mais alta do sistema, chegando a alcançar 844 metros acima do nível do mar quando se encontra cheio. Desse Reservatório, a água é transferida por meio de tubulação para o Reservatório de Cachoeira, que fica a uma altura de 821 metros. De Cachoeira, a tubulação leva a água para o Reservatório de

Atibainha, que tem 766 m de altura máxima, e de lá para o Reservatório Paiva Castro, cuja altura é de 743 m. Até este ponto, toda a movimentação é feita com a ajuda da gravidade. Daí em diante, utiliza-se a energia elétrica para bombear a água até a Estação de Tratamento de Água Guaraú, localizada a 861 metros de altitude. A partir dessa Estação, a água segue, novamente por gravidade, até a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). (SABESP).

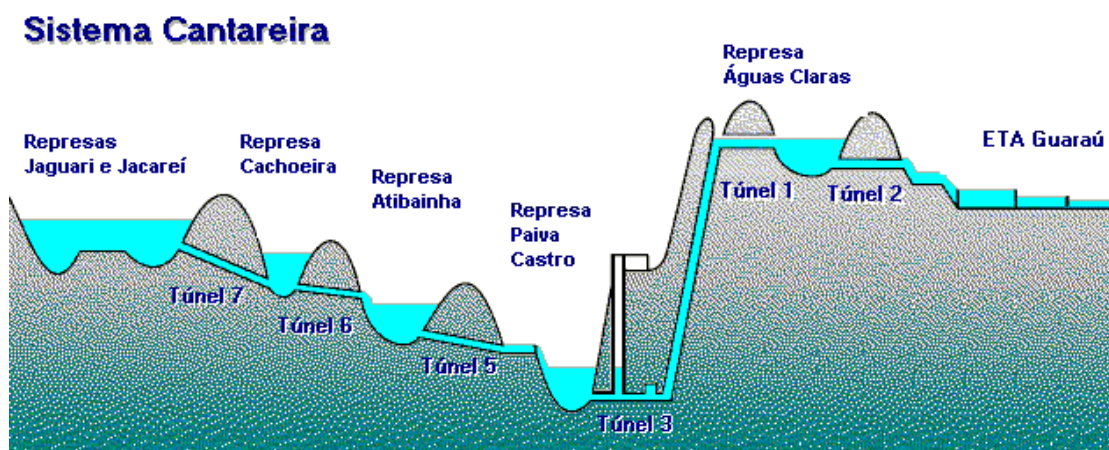


Figura 4.3: Ilustração do Sistema Cantareira de abastecimento de água para RMSP.

Fonte: Comitê dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ) disponível em <http://www.comitepcj.sp.gov.br/SC.htm>

O Sistema Cantareira também fornece água para toda a região das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari. Por isso, existe o consenso de que esse Sistema está funcionando próximo ao limite de sua capacidade, não restando muitas possibilidades de expandir a captação e, conseqüentemente, a oferta de água. Por suas dimensões e pela proximidade com a região mais habitada do país, o Sistema Cantareira tem um valor estratégico inestimável.

Por isso, são de grande importância quaisquer ações que visem à preservação de mananciais nessas bacias, como as executadas pelo Programa de Proteção aos Mananciais, posto em prática pelo Consórcio das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, bem como os estudos que visem a manutenção da vida útil dos reservatórios.

4.2 Materiais

- Cartas topográficas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) na escala 1:50 000 em formato digital disponibilizada pela Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo – Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA) para delimitação das bacias hidrográficas (Folhas: Itaquaquecetuba SF-23-Y-D-I-3; Piracaia SF-23-Y-D-I-1; Igaratá SF-23-Y-D-I-2; Extrema SF-23-Y-B-IV-3 e Camanducaia SF-23-Y-B-IV-4).
- Mosaico do Modelo Digital de Elevação do sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) para o estado de São Paulo e quadrículas do estado de Minas Gerais, gentilmente cedido pelo CEPAGRI (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura) com resolução espacial de 30 metros para confeccionar a carta com as classes de declividade, hipsometria e área variável de afluência (A.V. A.).
- Mapa Geológico do Estado de São Paulo publicado pelo IPT em 1981 (escala 1:500.000) dos estados de São Paulo e Minas Gerais em formato digital (*shape file*) do Relatório Final do Comitê de Bacia Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ).
- Mapa de solos do Estado de São Paulo elaborado por Oliveira *et al* (1999) Embrapa/IAC em formato digital (*shape file*) do Relatório Final do Comitê de Bacia Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ).
- Série histórica de postos de chuva localizados nas bacias de estudos e seu entorno, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) para identificação da sazonalidade no regime das chuvas ocorrentes na bacia de estudos, assim como sua intensidade.
- Imagens dos sensores *Landsat TM* e *ETM* nas datas 06/08/1986, 12/09/1988, 02/09/1996, 02/08/1999, 17/06/2000, 03/05/2001, 24/10/2003 e 11/09/2005, com as bandas 3, 4 e 5, cedidas gentilmente pelo Laboratório de Geoprocessamento da Faculdade de Engenharia Agrícola (LABGEO), Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e site da NASA (National Aeronautics and Space Administration) disponível em <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat/> para reconhecimento da evolução dos tipos de uso da terra e identificação das áreas de silvicultura.

- Utilização de Sistema de Posicionamento Global (*GPS*) para reconhecimento das verdades de campo em relação aos tipos de uso da terra, assim como comprovação do modelo de classificação das imagens orbitais e do modelo de identificação das áreas com susceptibilidade à produção de sedimentos.
- Aplicação de questionário sócio-econômico-ambiental com os proprietários e/ou agricultores da área de estudos, e em órgãos governamentais como a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) da Secretaria da Agricultura e Abastecimento das cidades a que pertencem as bacias de estudos.
- Ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tais como *IDRISI KILIMANJARO*, *ARCVIEW 3.2*, *AUTO CAD MAP 200* e. Programa de Processamento de Imagens: *ENVI 4.0*.
- Rotina A.V.A do programa de simulação hidrológica (vazão) *TOP MODEL* disponível no endereço www.es.lancs.ac.uk/es/freeware/freeware.html para identificação das áreas de acumulação de água (área variável de afluência).

4.3. Métodos

Burrough (1986) define o Sistema de Informação Geográfica (SIG) como um conjunto poderoso de ferramentas que permite coletar, armazenar, recuperar, analisar e fornecer informação espacial do mundo real para um particular conjunto de propósitos.

O Geoprocessamento, segundo Câmara et all (1998), é uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento das informações geográficas e seu principal objetivo é fornecer ferramentas computacionais (SIG's) para determinar as evoluções espaciais e temporais de um ou mais fenômenos geográficos e suas inter-relações. Assim, torna-se imprescindível a utilização dessas ferramentas neste estudo de identificação das áreas com susceptibilidade em relação à produção de sedimentos.

Os métodos a serem utilizados neste trabalho se subdividiram em duas fases: a primeira consistiu no levantamento das informações dos três planos de informação (meio físico, uso da terra e respectivos procedimentos e adequação do uso da terra a partir da aptidão agrícola da região) considerados relevantes em relação à produção de sedimentos (já

citados na revisão da bibliografia fundamental) e a segunda no cruzamento dos planos de informação para identificar as áreas com potencial para a produção de sedimentos.

4.3.1 Primeira Fase

4.3.1.1 Caracterização do Meio Físico

- Plano de informação do limite topográfico das bacias

A primeira fase deste trabalho consistiu na compilação dos dados disponíveis para a área de estudos. Primeiramente, elaborou-se o mosaico das cartas topográficas no AUTO CAD MAP 2000 para digitalização do limite topográfico das bacias em estudo. A seção de convergência das bacias foram, para a bacia do rio Cachoeira, a latitude 23° 0' 44.56" S e longitude 46° 14' 35.14" W, e para a bacia do rio Atibainha, a latitude 23° 6' 21.83" S e longitude 46° 16' 39.70" W.

- Plano de informação do relevo

As classes de declividades foram elaboradas a partir do MDE do sensor ASTER no *software IDRISI KILIMANJARO*, na função denominada “*slope*”, e utilizou-se como base a legenda do mapa de solos do Estado de São Paulo elaborado por Oliveira *et ali* (1999) Embrapa/IAC seguindo as classes apresentadas na Quadro 4.1.

Quadro 4.1: Classes de declividade elaborada por Oliveira et all (1999).

Classes com porcentagem de declividades	Tipos de relevo associados
0 a 3%	Plano
3 a 8%	Suave Ondulado
8 a 20%	Ondulado
20 a 45%	Forte Ondulado
45 a 75%	Montanhoso
>75%	Escarpado

A partir do histograma da imagem com as % de declividade cuja classificação foi baseada na proposta de Oliveira *et al* (1999), foram verificadas as classes de porcentagem de declividade de maior ocorrência na área de estudo e, posteriormente, os intervalos foram

reclassificados, de forma a obter um melhor detalhamento nas classes predominantes na área de estudos.

Quadro 4.2: Intervalos de declividade reclassificados a partir de histograma da imagem com as % de declividade elaborada por Oliveira et al (1999).

Classes com porcentagem de declividades	Tipos de relevo associados
0 a 8%	Plano
8 a 20 %	Ondulado
20 a 32.5 %	Ondulado Médio
32.4 a 45 %	Ondulado Forte
> 45 %	Montanhoso

Devido às distorções apresentadas nos valores dos resultados do cálculo do comprimento de rampa, neste trabalho utilizou-se uma rotina do modelo TOP MODEL para identificar as áreas de acumulação de água. As áreas de acumulação de água, ou seja, áreas que concentram água durante o evento de chuva, denominadas área variável de afluência (A.V.A) podem ser utilizadas para identificar as áreas que apresentam maior risco de escoamento superficial e carreamento de sedimentos e nutrientes, podendo ser uma alternativa de substituição do cálculo do comprimento de rampa.

O cálculo do A.V.A. foi feito com base no MDE do sensor ASTER (índice topográfico) em uma rotina do TOP MODEL e reclassificado para identificar as áreas de acumulação de água na área de estudos.

- Planos de informação das classes de solos

As informações já existentes em meio digital, disponibilizadas pelo Relatório Final do Comitê de Bacia Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), tais como as cartas de solo e geologia, foram georreferenciadas e recortadas no formato das bacias de estudos no *software* ARCVIEW 3.2 utilizando a ferramenta de recorte de vetores “clip” e armazenadas no banco de dados em formato matricial para identificação das classes de solo na área de estudo.

- Plano de informação do regime de chuvas

O regime de chuvas das bacias de estudos foi identificado a partir de informações da série histórica de postos pluviométricos localizados em suas proximidades durante o período de 1974 a 2003, para a representação da normal climatológica¹.

Os critérios de seleção dos postos pluviométricos utilizados neste trabalho foram a localização geográfica dos postos em relação à área de estudos, a qualidade das informações e o período de tempo disponibilizado.

Em relação à localização geográfica, o critério foi identificar os postos que se localizavam no interior ou próximo à área de estudos. Para os postos que se localizavam fora da área de estudos, foram selecionados os que apresentavam menores potenciais de influências topográficas, evitando distorção dos dados devido à influência do relevo nos eventos de chuva.

Em relação à qualidade das informações e o intervalo de tempo disponível para cada posto analisado, selecionou-se os postos que apresentavam dados de no mínimo 22 anos de registro com pluviômetro ou pluviógrafo, priorizando as séries de dados mais recentes e com as menores quantidades de falhas diárias, mensais e anuais, para que não houvesse grandes distorções dos dados no processo de correção.

O processo de complementação dos valores dos postos pluviométricos que apresentavam falhas foi baseado no método de ponderação regional para as falhas diárias e mensais e no método de regressão linear para as falhas anuais e mensais (dos anos corrigidos).

Segundo Tucci (1993), o método de ponderação regional é simplificado e normalmente é utilizado para o preenchimento de séries mensais de precipitação, visando a homogeneização do período de informações e à análise estatística das precipitações.

Já o método de regressão linear, segundo Tucci (1993), é mais aprimorado, e consiste em utilizar a regressão linear simples ou múltipla, correlacionando as precipitações do posto com falhas com os postos vizinhos.

¹

A normal climatológica é caracterizada como sendo uma série de observações atmosféricas contínuas inseridas durante um período longo de tempo (30 anos), para uma dada localidade. (PCJ, 2004).

Assim, a correção das falhas consistiu em duas etapas. A primeira refere-se à correção das falhas diárias e mensais e a segunda em completar as anuais, para, posteriormente, completar os valores mensais das falhas anuais.

O princípio para a correção dos postos pluviométricos que apresentavam falhas diárias ou mensais foi aproveitar as informações de no mínimo 2 outros postos que não apresentavam falhas naquele período e que se localizavam em suas proximidades, formando, preferencialmente, o desenho de um triângulo ao redor do posto a ser corrigido.

No caso de ocorrência de falhas diárias, com no máximo 10 dias de ausência de informações no mesmo mês, o critério foi corrigir primeiramente as falhas diárias para posteriormente calcular a média mensal. No caso de meses com falhas maiores que 10 dias, a correção foi realizada a partir dos valores médios mensais e não diários.

A correção para as falhas mensais e/ou diárias foi realizada a partir da equação 1 no caso de 4 postos referenciais, a equação 2 no caso de 3 postos referenciais ou a equação 3, no caso de 2 postos referenciais.

$$FC = \frac{VRP1/MLP1 + VRP2/MLP2 + VRP3/MLP3 + VRP4/MLP4}{4} * MAPC$$

Equação 1

$$FC = \frac{VRP1/MLP1 + VRP2/MLP2 + VRP3/MLP3}{3} * MAPC$$

Equação 2

$$FC = \frac{VRP1/MLP1 + VRP2/MLP2}{2} * MAPC$$

Equação 3

Onde,

FC = Falha do Posto a ser corrigido (mensal ou diária)

VRP = Valor real dos postos utilizados como base para a correção no dia ou mês da falha

MLP = Média de longo período do posto base no intervalo coincidente dos dados disponíveis com todos os postos utilizados na equação, tanto o posto a ser corrigido quanto os postos base.

MLPC = Média de longo período do posto a ser corrigido no intervalo coincidente dos dados disponíveis com todos os postos utilizados na equação.

A partir dos valores diários e mensais corrigidos, as médias mensais e anuais foram calculadas novamente, restando apenas as falhas anuais.

Para a correção dos postos pluviométricos que apresentavam falhas anuais utilizou-se as informações de 4 postos com disponibilidade completa dos dados nos trinta anos analisados e que se localizavam de forma estratégica e bem distribuída em relação à área de estudos, denominados neste trabalho como postos bases (PB). Esses parâmetros de seleção foram utilizados com a finalidade de encontrar um padrão regional para os postos analisados.

O critério utilizado para a seleção dos postos base foi o grau de correlação acima de 0.98 entre a somatória acumulada de cada posto base e a média anual acumulada dos 4 postos base.

Com a base de dados pronta, calculou-se as falhas anuais para cada posto a partir da função do gráfico de correlação apresentado pelos valores da base acumulada no eixo X e a somatória acumulada do posto a ser corrigido no eixo Y, utilizando os intervalos dos anos correspondentes. O critério de utilização da equação foram os valores de correlação entre as amostras acima de 0.98. Os valores corrigidos foram calculados com base na equação da linha de tendência linear das amostras correlacionadas de cada posto corrigido (Anexo 1).

Os dados corrigidos foram novamente calculados para alcançar os valores da média anual de cada posto a ser utilizado no trabalho, alcançando, assim, a normal climatológica de cada posto.

A complementação mensal dos postos que apresentavam falhas anuais foi realizada seguindo a mesma metodologia de complementação utilizada para as falhas anuais.

Para cada mês de cada posto com as falhas, foram calculadas as equações da linha de tendência linear do gráfico contendo os valores da base acumulada referente ao mês analisado no eixo X e os valores acumulados do mês a ser completado utilizando os

intervalos dos anos correspondentes (Anexo 1). O critério de utilização da equação foram os valores de correlação entre as amostras acima de 0.98.

As informações dos postos pluviométricos completadas foram utilizadas para identificar a média de longo período anual e mensal para cada posto pluviométrico. Essas informações foram transformadas em tabelas no *software* MICROSOFT OFFICE EXCELL, e interpoladas no *software* SURFER 8.0, utilizando a krigagem como método de interpolação.

A geoestatística e as técnicas de interpolação consideram que cada amostra tenha uma relação funcional com o vizinho mais próximo. A técnica da *krigagem*, interpolador que foi utilizado neste trabalho, assegura o pressuposto que seja medido o grau de correlação interna entre cada medida da variável em estudo e as medidas dos pontos vizinhos (SPADONI, 2005).

Os vetores das isolinhas das informações anuais e mensais geradas pela krigagem foram exportados para o *software* IDRISI KILIMANJARO 14.0 e foram novamente interpolados utilizando o método triangular (TIN) para gerar as imagens de Modelo Numérico de Elevação (MDE), com a resolução espacial compatível com as demais informações utilizadas no trabalho: 28,5 metros.

Aplicou-se as máscaras da área de estudos, da bacia do Atibainha e do Cachoeira em cada imagem de MDE para identificar os padrões existentes tanto na área de estudos como nas duas bacias separadamente.

Para verificar e identificar as áreas de maiores concentrações de chuva nas bacias, as imagens com os valores de chuva em milímetros (mm) mensal e anual para a área de estudos foram classificadas.

Para identificar o padrão espacial anual de distribuição de chuvas na bacia, a imagem anual foi classificada em 8 classes com intervalos de 50 mm. Calculou-se o histograma da imagem classificada para identificar as % das classes de maior ocorrência na área de estudo e nas bacias separadamente.

Para identificar a sazonalidade do regime de chuvas, as imagens mensais foram classificadas com o mesmo intervalo: 10 classes com intervalos de 35 mm. Posteriormente, calculou-se a partir do histograma a ocorrência em % das classes em cada mês para a área de estudos e para as bacias separadamente.

Para identificar se o padrão espacial mensal correspondia ao anual, os valores brutos de chuva das imagens foram classificadas em intervalos de alta média e baixa intensidade de chuva, subtraindo ou adicionando os valores do desvio padrão a partir do valor médio para identificar os valores extremos.

A comparação espacial das imagens classificadas em Alta, Média e Baixa ocorrência de chuvas foi realizada a partir do cruzamento de matrizes disponível no *software* IDRISI KILIMANJARO 14.0 cuja função se denomina *CROSSTAB*.

4.3.1.2 Caracterização do uso e ocupação da terra e procedimentos agrícolas

- Plano de informação dos tipos de uso e ocupação da terra

Para a definição dos tipos de uso e ocupação nas bacias estudadas, utilizou-se uma série histórica de imagens *Landsat TM* e *ETM* (1986, 1988, 1996, 1999, 2000, 2003 e 2005) como fonte de informação adicional para classificar a imagem *Landsat TM* de 11/09/2005. O processamento das imagens consistiu basicamente em duas etapas: pré-processamento e processamento.

Pré processamento

O pré-processamento consistiu no georreferenciamento e ajuste de todas as imagens no sistema de projeção UTM *datum* SAD 69 tendo como base uma imagem ortorretificada da área de estudos disponibilizada pelo site da *NASA (National Aeronautics and Space Administration)*. No georreferenciamento das imagens considerou-se como critério um erro médio mínimo de deslocamento de 0,1 *pixels* e no mínimo 30 pontos para cada imagem.

Processamento

A classificação de uso e ocupação foi realizada a partir da composição colorida nas bandas 453 RGB do ano de 2005, segundo critério multitemporal. As classes definidas a serem mapeadas foram: pastagem, mata nativa, silvicultura e solo exposto. Em função de possíveis indefinições na classificação e pela limitação espectral do sensor *Landsat TM* e *ETM*, em relação à similaridade visual e espectral das áreas de corte de eucalipto e pastagens, elaborou-se uma metodologia alternativa no processo de classificação, inspirada no trabalho de Boresjö (1999).

Para reduzir o número de potenciais áreas erroneamente classificadas numa região de vegetação Boreal, Boresjö (1999) cria um método baseado na estratificação das imagens a partir de máscaras criadas com informações topográficas.

Tendo em vista a disponibilidade da série histórica das imagens Landsat e considerando que o corte das florestas de eucalipto ocorre, geralmente, após quatro anos (segundo informações adquiridas na CATI dos municípios da área de estudos), a metodologia aqui apresentada visa aproveitar as informações das imagens dos anos anteriores para identificar as áreas de corte de eucalipto dos anos posteriores.

A proposta auxilia tanto no reconhecimento das áreas de rebrota de eucalipto como na própria diferenciação das áreas de plantações de eucalipto e mata secundária, que muitas vezes apresentam similaridades na interpretação visual. Segundo Novo (1988), mais importante do que adotar um sistema rígido de classificação, é definir com precisão as classes em um dado mapeamento.

Para a classificação de uso e ocupação do ano de 2005, tendo em vista o conhecimento da realidade da região, optou-se por identificar a evolução temporal das áreas de fitomassa.

Para a verificação da concentração de fitomassa, utilizou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Esse índice apresenta resultados que servem como indicadores do crescimento e do vigor da vegetação verde e podem ser utilizados no diagnóstico de vários parâmetros biofísicos tais como Índice de Área Foliar (IAF), fitomassa, porcentagem de cobertura no solo, atividade fotossintética e produtividade.

Assim, calculou-se o NDVI proposto por Rouse et al (1973) apud Ponzoni (2002) para todas as imagens (dos anos de 1986, 1988, 1996, 1999, 2000, 2001, 2003 e 2005). O cálculo do NDVI é feito com base na relação expressa na equação 1:

$$NDVI = (IVP - V)/(IVP + V)$$

onde,

IVP = Infravermelho Próximo (nos sensores Landsat TM e ETM, o canal referente ao IVP é a banda 4)

V = Vermelho (nos sensores Landsat TM e ETM, o canal referente ao V é a banda 3)

Equação 1

Para primeira diferenciação entre áreas vegetadas e não vegetadas foi realizado o cálculo do NDVI e sua posterior classificação, utilizando o classificador automático ISODATA.

A informação de fitomassa foi utilizada para recortar a composição das imagens originais (na composição das bandas 453 nos canais RGB). O princípio desta proposta alternativa de classificação é justamente aproveitar as informações dos anos anteriores para reconhecer alvos nos anos posteriores. O raciocínio é feito a partir da seguinte definição: o que era classificado por vegetação (em determinada área) em um ano e passou a ser classificado como pastagem nos anos seguintes representará as áreas de corte/rebrota das plantações de eucalipto e não pastagem.

A partir da aplicação das máscaras com informação de fitomassa nas imagens divididas, aplicou-se novamente a máscara de um ano sobre outro, para todas as imagens disponíveis. A identificação das áreas de corte de floresta de eucalipto para todos os anos foi realizada a partir da subtração das informações de um ano para outro. Essas áreas identificadas a partir do recorte de todas as imagens Landsat foram reunidas em uma só imagem a partir da criação de uma máscara que foi utilizada como informação para subtrair da imagem original de 2005, isolando, assim, as áreas de corte de todo o ciclo do eucalipto nos 19 anos analisados.

As imagens divididas do ano de 2005 foram classificadas com o classificador *MAXVER* (máxima verossimilhança) e foram reunidas todas as classes (das imagens divididas) numa só imagem, gerando o mapa final de classificação de uso do solo.

A confirmação e a correção do modelo de classificação foram realizadas a partir de saídas de campo, utilizando o traçado da malha viária presente nas bacias, e reconhecimento de 51 pontos com os variados tipos de uso e ocupação do solo coletados com auxílio de GPS e auxílio de fotos de identificação com máquina fotográfica digital.

A correção do modelo de classificação foi realizada com a identificação das classes que mais apresentaram erros a partir do cálculo da matriz de confusão. O Índice de Kappa ou matriz de confusão é uma técnica de análise multivariada para determinar a concordância do mapeamento com a verdade de campo. Segundo Congalton e Mead (1983) apud Moreira (2004), essas técnicas são apropriadas, pois os dados são de natureza discreta (não contínuos), e encontram-se distribuídos multinomialmente.

O critério para avaliar os valores da estatística do índice de Kappa, para identificação da qualidade da classificação, seguiu os intervalos de qualidade da classificação apresentados por Landis e Koch (1977) apud Moreira (2004), apresentados no quadro 4.3.

Quadro 4.3: Qualidade da classificação associada aos valores da estatística de Kappa adaptada de Lindis e Koch (1977) por Moreira (2004).

Valor de Kappa	Qualidade do mapa temático
<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito boa
0,80 – 1,00	Excelente

O processo de classificação final consistiu em identificar as áreas erroneamente classificadas para reverter o processo de classificação temporal, identificando, novamente, nessas mesmas áreas, os erros apresentados pelo classificador automático ISODATA. Para a identificação dos erros na série temporal, as áreas de erros nas imagens NDVI foram novamente classificadas a partir do classificador supervisionado Paralelepípedo.

Neste trabalho, o critério considerado para o índice de confiabilidade da classificação final, ou seja, a qualidade do mapa temático final de uso e ocupação do solo foi o intervalo de 0,80 a 1,00 – qualidade Excelente (nos valores do índice de Kappa.).

- Plano de informação dos tipos de uso e ocupação da terra: procedimentos agrícolas

Os procedimentos agrícolas foram identificados a partir da aplicação de questionário sócio-ambiental (Anexo 2) com os proprietários da área de estudo e em órgãos governamentais como a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) da Secretaria da Agricultura e Abastecimento dos municípios que integram a área de estudo. O foco do questionário foi identificar o ciclo da cultura, a existência/ausência de assistência técnica adequada, a utilização de agroquímicos e fertilizantes, a existência/ausência de períodos de preparo de solo, a finalidade da cultura, ou seja, os principais problemas encontrados nas atividades.

Os resultados dos questionários foram associados ao mapa de uso das terras e, cada classe foi associada a um risco em relação à produção de sedimentos tendo em vista os procedimentos agrícolas adotados, gerando, assim, o mapa de risco em relação aos procedimentos agrícolas.

4.3.1.3 Caracterização da Aptidão agrícola das terras e suas respectivas adequações de uso.

O mapa de aptidão agrícola das terras foi elaborado de acordo com a metodologia proposta por Ramalho Filho et al (1995), na qual as condições agrícolas das terras baseiam-se em 5 fatores de avaliação: deficiência de fertilidade, deficiência de água, excesso de água ou deficiência de oxigênio, susceptibilidade à erosão e impedimentos à mecanização.

A avaliação da aptidão agrícola foi feita a partir do estudo comparativo entre os graus de limitação atribuídos às terras e os estipulados nos quadros – guia apresentado por Ramalho Filho et al (1995) elaborado para atender as regiões de clima subtropical, tropical úmido e semi-árido. Nos quadros – guia constam os graus de limitação máximos que as terras podem apresentar considerando os cinco fatores de avaliação e suas limitações em relação ao nível de manejo definido para a área de estudo.

O mapa com as classes de aptidão agrícola foi cruzado com o mapa de uso e ocupação da terra para identificar a relação uso atual e potencial ambiental, sendo consideradas 3 classes:

Áreas subutilizada: terras com o uso atual abaixo do potencial ambiental;

Adequado: equilíbrio entre o uso atual e o potencial natural das terras;

Sobreutilizado: terras com o uso acima do potencial ambiental.

4.3.2 Segunda Fase

A segunda fase deste trabalho consistiu em 3 etapas conforme ilustração da figura 4.4. A primeira foi iniciar a associação dos mapas temáticos do meio físico e verificar suas relações espaciais. Essa primeira análise permitiu o conhecimento das dinâmicas na área de estudos e a identificação das limitações das informações utilizadas.

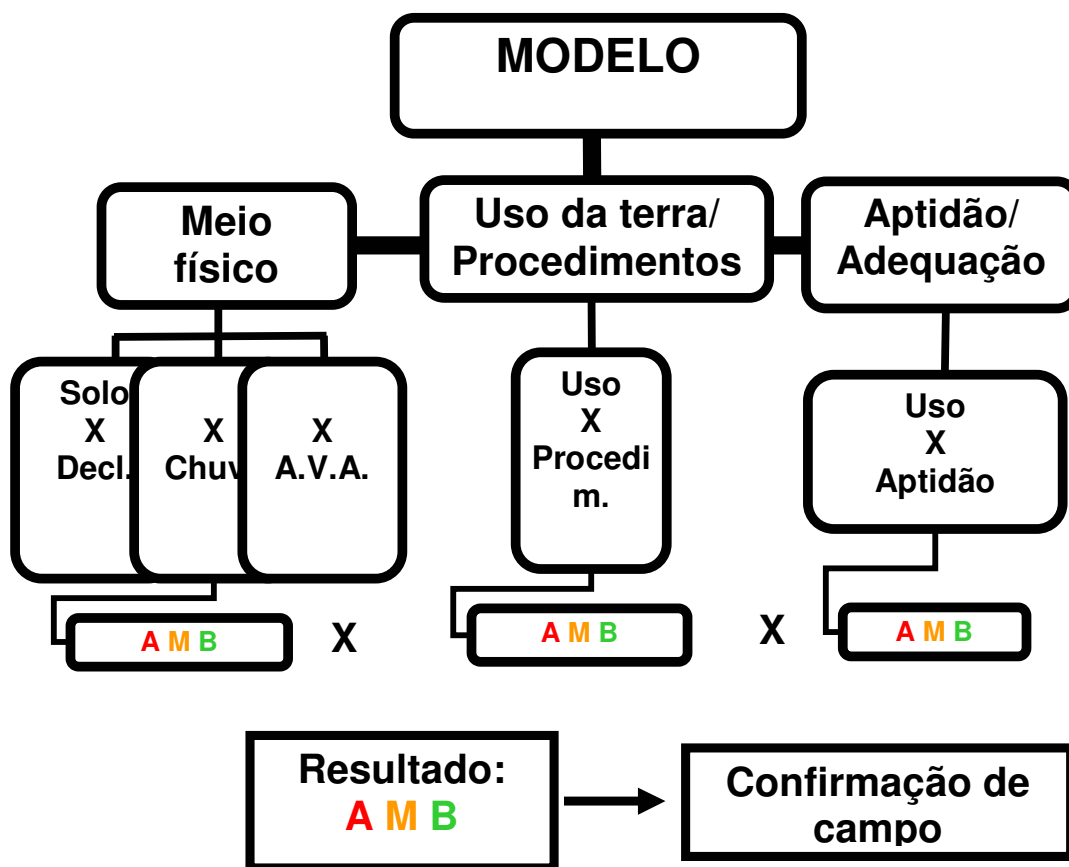


Figura 4.4: Estrutura do modelo de áreas com potencialidade para a produção de sedimentos.

A segunda etapa consistiu na reclassificação de cada mapa temático dos planos de informação considerados (meio físico, procedimentos de uso e ocupação e adequação agrícola), associando interpretações hierárquicas de alto médio e baixo risco para cada classe em função das áreas com potencial para a produção de sedimentos.

Para o mapa de declividade, a reclassificação em alto, médio e baixo risco em relação aos processos erosivos foi baseada na realidade da região, identificando os valores mais críticos e menos críticos em função do conhecimento do uso da terra e respectivos procedimentos. Foram considerados altos os valores acima de 32.5% de declividade. As declividades médias foram as classes intermediárias entre 8 a 32.5 % e as baixas foram as declividades abaixo de 8 %.

A A.V.A., de acordo com a bibliografia citada no trabalho, foi considerada área de alto risco, enquanto o restante foi considerado baixo risco, não considerando a classe intermediária neste plano.

A chuva foi reclassificada em função do cálculo do desvio padrão para identificar os valores extremos (Anexo 3). O valor do desvio padrão do mapa de chuvas anual em mm foi subtraído da média para identificar a classe de baixo risco e, para identificar o alto risco, o desvio padrão foi somado. Assim, foram definidas as classes de alto, médio e baixo risco para a área de estudo.

Em relação aos solos, a reclassificação foi feita com base nos parâmetros das características de cada solo: textura, permeabilidade e porosidade.

Os cruzamentos do meio físico foram feitos com base na ordem de importância em relação à potencialidade de cada fator em relação à produção de sedimentos. Primeiramente foram cruzados os planos de declividade e solo e o resultado foi reclassificado em as áreas de alto médio e baixo risco. O resultado foi cruzado com o mapa intensidade de chuvas e novamente reclassificado. O resultado (do cruzamento das declividades, solo e chuva reclassificado) foi cruzado com o mapa da área variável de afluência. Este último cruzamento foi considerado o modelo de representação do meio físico reclassificado em alto, médio e baixo risco em relação às áreas com potencial para a produção de sedimentos a ser utilizado no modelo final.

O mapa de uso e ocupação das terras foi reclassificado de acordo com os riscos que cada classe de uso da terra apresentou em relação à produção de sedimentos. A classificação em alto, médio e baixo risco foi realizada em função da identificação da classe mais extrema (silvicultura) e da classe menos problemática (mata nativa e/ou secundária). A análise foi toda baseada na interpretação dos questionários e no reconhecimento das práticas agrícolas realizados na área de estudo verificadas nas saídas de campo.

O mapa de adequação do uso da terra em relação à aptidão agrícola foi reclassificado em áreas de alto risco e baixo risco. As áreas sobreutilizadas foram consideradas de alto risco e as áreas adequadas e subutilizadas foram classificadas como baixo risco.

A terceira e última etapa do trabalho foi cruzar os planos de informação do meio físico, procedimentos do uso da terra e adequação do uso da terra em relação à aptidão

agrícola, identificando as áreas com maior potencial em relação à produção de sedimentos na área de estudo. Detalhes das etapas para a construção do modelo de áreas com potencial para a produção de sedimentos na bacia do Cachoeira e Atibainha estão disponíveis no Anexo 4.

5. RESULTADOS

5.1 Primeira Fase

5.1.1 Caracterização do meio físico

- Plano de informação do limite topográfico das bacias

O resultado da delimitação topográfica das bacias do Atibainha e do Cachoeira, (Figura 5.1), foi a identificação dos valores das áreas em km² para cada bacia.

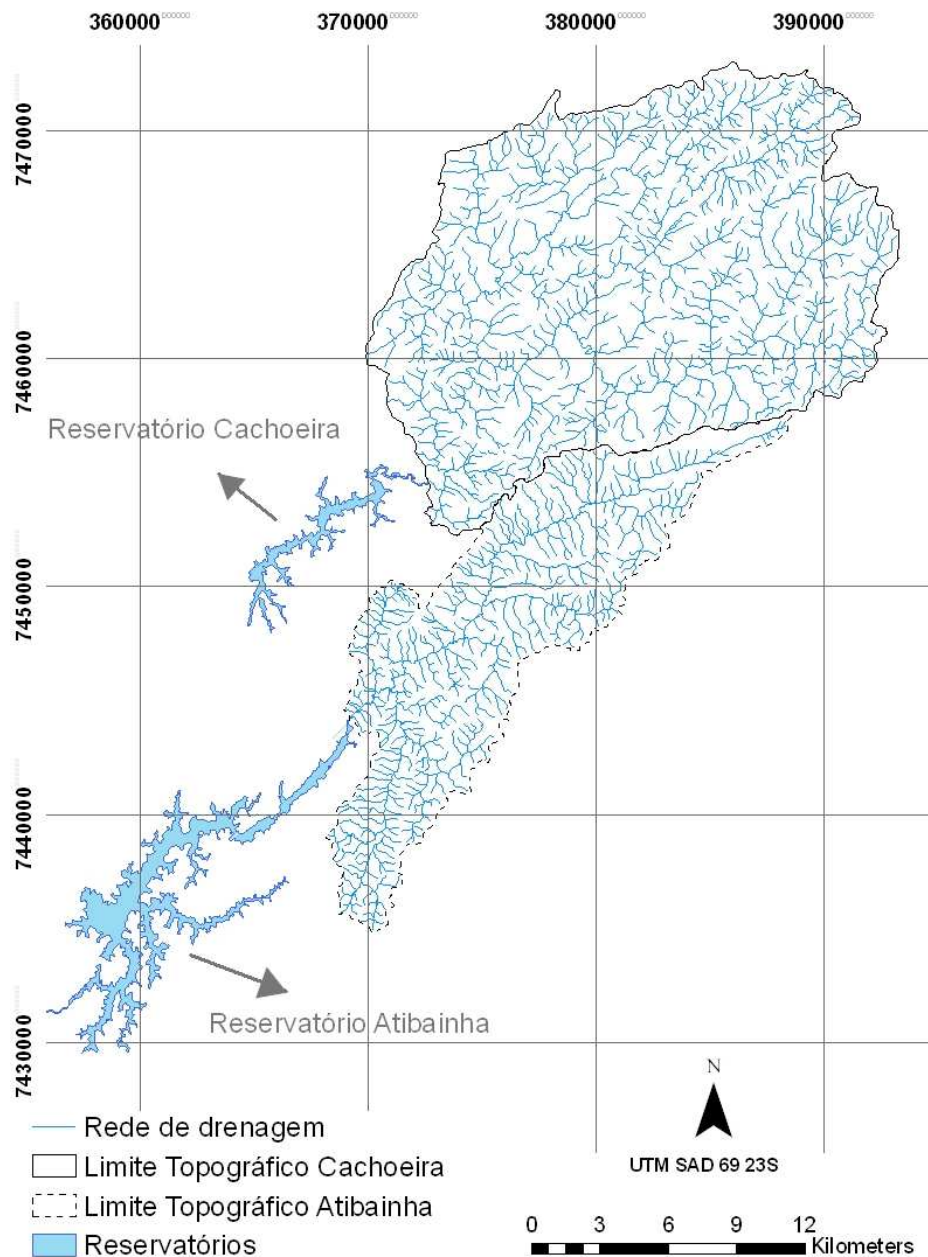


Figura 5.1: Limites topográficos das bacias de estudos com a rede de drenagem e seus respectivos reservatórios.

A área de estudos, as bacias a montante dos reservatórios de Atibainha e Cachoeira, compreende o total de 447km². A bacia do rio Cachoeira a montante do reservatório de Cachoeira tem 307km² e a bacia do rio Atibainha apresentou um total de 140km².

- Plano de informação do relevo

O mapa com as classes de declividades (Figura 5.2) permitiu identificar as características do relevo na área de estudos.

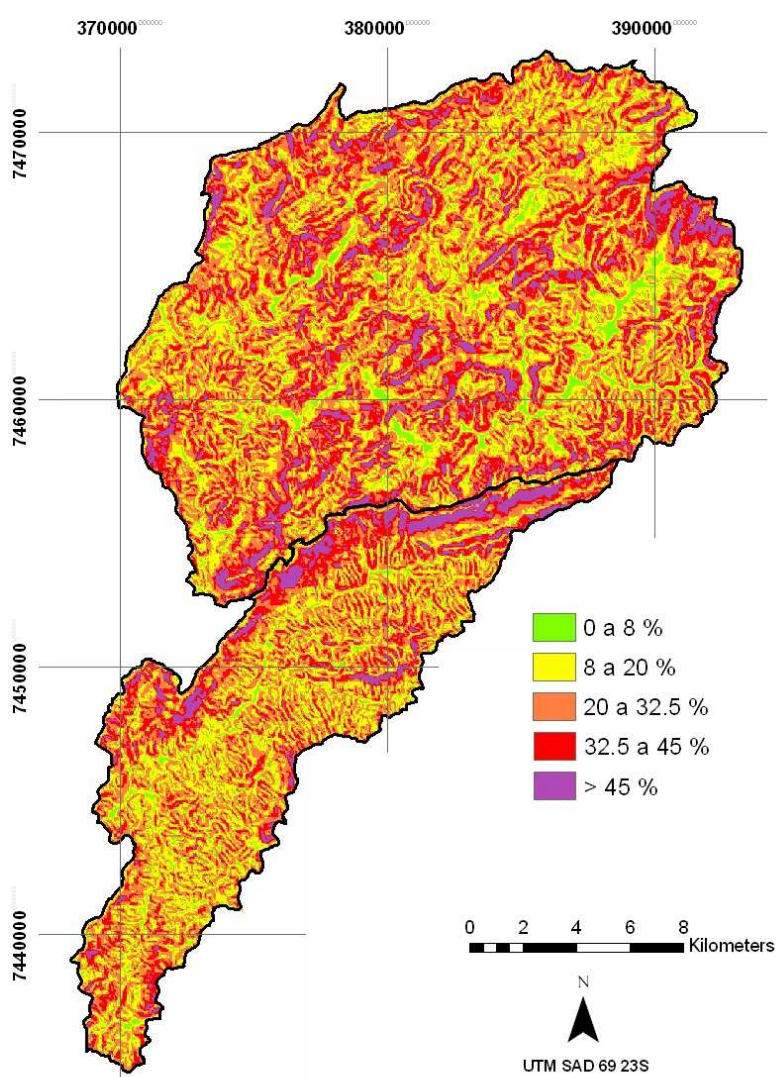


Figura 5.2: Porcentagem das classes de declividade na área de estudo.

O cálculo das classes de declividades para as bacias de estudo (Quadro 5.1) demonstrou uma predominância das classes de declividade de 20 a 32.5%, classificada como relevo ondulado médio.

Quadro 5.1: Relação de ocorrência das porcentagens das classes de declividade nas bacias de estudo.

Classes de % declividade	Bacia do Atibainha (%)	Bacia do Cachoeira (%)
0 a 8 %	6	6
8 a 20 %	28	26
20 a 32.5 %	39	37
32.5 a 45 %	20	23
> 45 %	7	8
Total	100	100

O resultado do cálculo do A.V.A. foi mapa com a localização das áreas de acumulação de água (Figura 5.3).

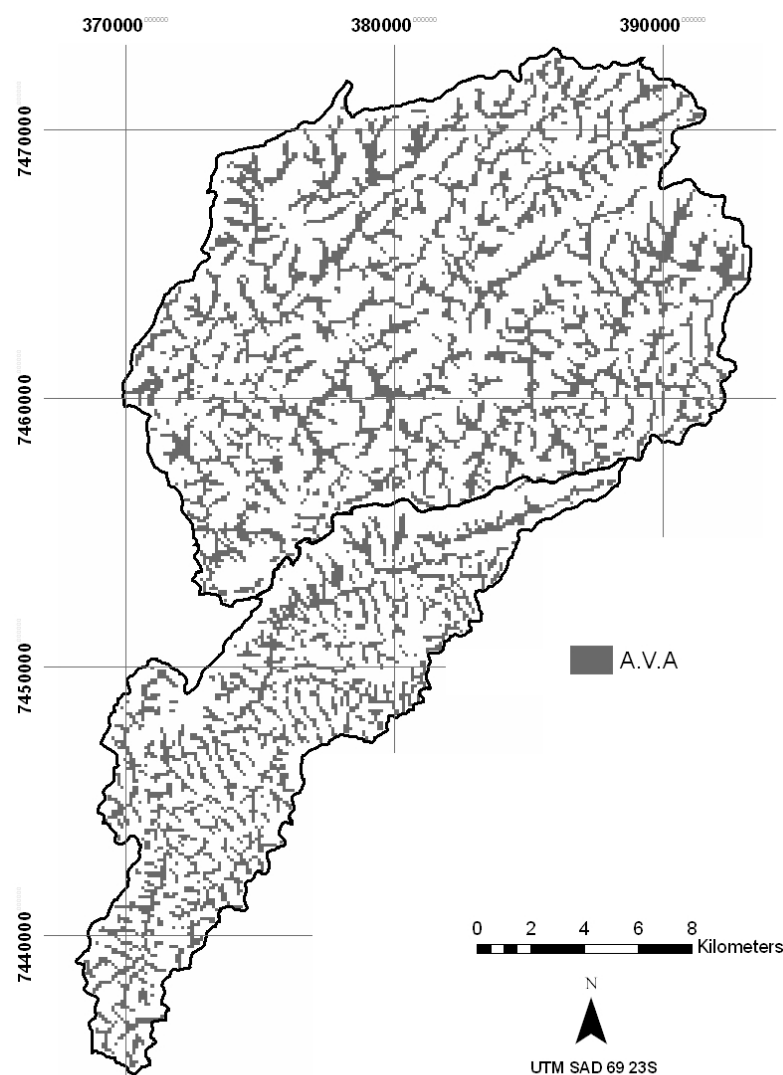


Figura 5.3: Mapa da área variável de afluência na área de estudo.

As áreas de acumulação de água, extraídas com base no mosaico do MDE do sensor ASTER (índice topográfico) em uma rotina do TOP MODEL, correspondem a 25 % da área de estudo.

Na bacia do Cachoeira o valor registrado foi de 77 km² e na bacia do Atibainha as áreas de acumulação de água são 35 km² da área da bacia, ou seja na Bacia do Cachoeira e na bacia do Atibainha as áreas de acumulação representam 25 % da bacia. Ou seja, em 25 % das bacias tanto do Atibainha quanto do Cachoeira localizam-se áreas de alto risco de erosão.

No entanto, no trabalho de Zákia (2006) num estudo de caso na bacia da Onça, município de Arapoti, estado do Paraná, com área de 62 km², a área variável de afluência identificada a partir do Top Model representou em 10.4 % da área da bacia. Essas diferenças no valor percentual de uma bacia para outra pode estar relacionada à resolução do modelo digital de elevação ou até mesmo às características de relevo da bacia.

- Planos de informação de solos

Os solos presentes na área em estudo (Figura 5.4) consistem em, Argissolo vermelho amarelo (PVA), Cambissolo Háplico (CX) e Latossolo Vermelho Amarelo (PV), e são apresentados seguindo os critérios de nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SBCS (EMBRAPA, 1999), baseado no mapa pedológico de Oliveira et al 1999 e Projeto RADAMBRASIL.

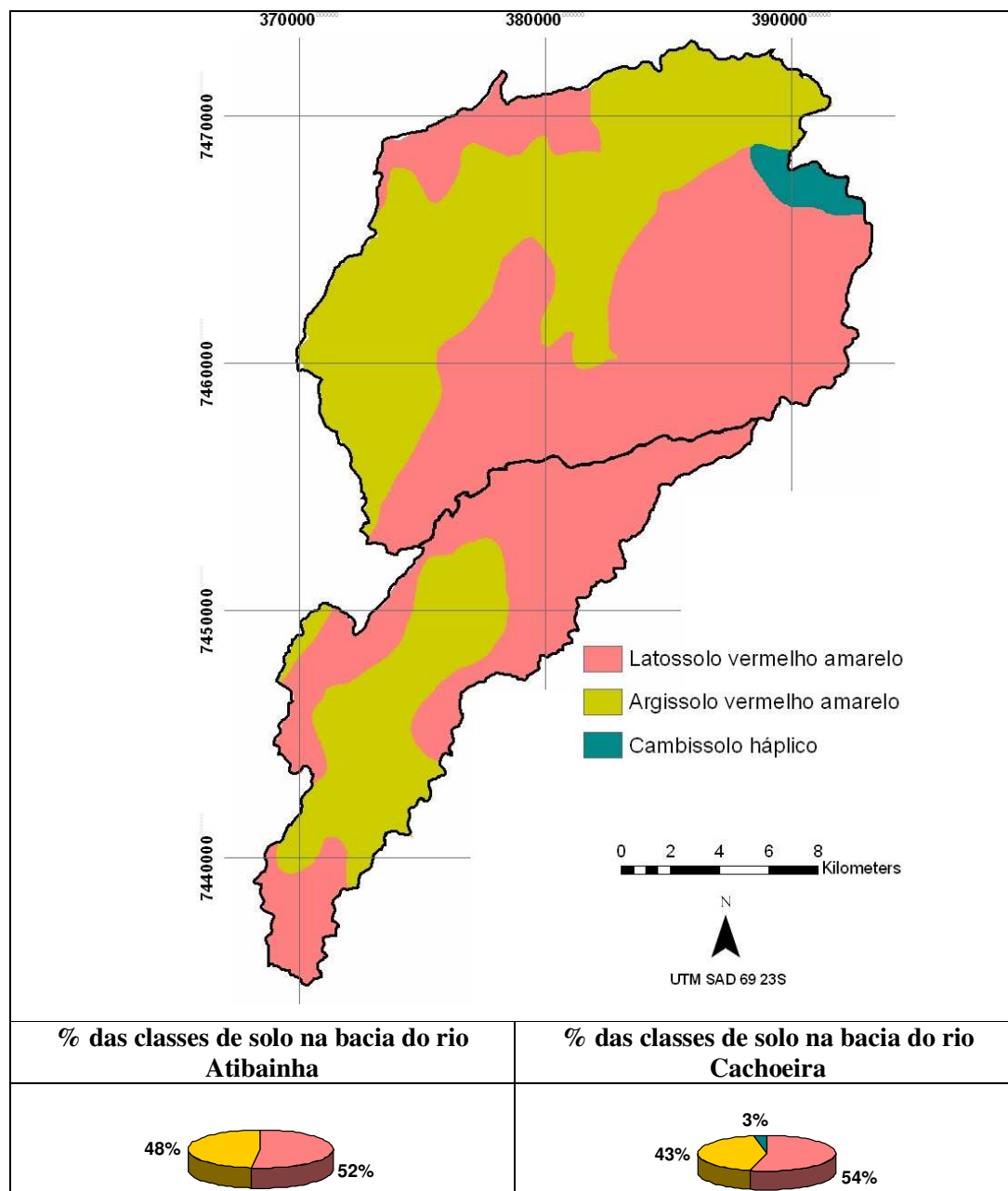


Figura 5.4: Classes de solo na área de estudos com as porcentagens de cada classe separadas pelas áreas das bacias de estudos.

Segundo EMBRAPA (1999), os **Latossolos vermelho amarelo** são solos minerais, não hidromórficos com horizonte B latossólico e coloração variando do vermelho ao amarelo e gamas intermediárias. São normalmente muito profundos ou profundos, com seqüência de horizontes A, B e C e com transições entre os sub-horizontes difusas e

graduais, acentuadamente a bem drenados. Apresentam avançado estágio de intemperismo, com predominância de argilominerais do tipo 1:1, baixa quantidade de minerais primários e baixa reserva de elementos nutritivos para as plantas. A relação silte/argila é menor que 0,70, o grau de flocculação é normalmente igual ou próximo a 100%, refletindo o alto grau de agregação dos colóides, o que torna o solo muito poroso, propiciando maior resistência à erosão.

Segundo EMBRAPA (1999), os **Argissolos vermelho-amarelo** são solos minerais com horizonte B textural, não hidromórficos, normalmente com argila de atividade baixa e são bem a moderadamente bem drenados. São solos em sua maioria de fertilidade natural baixa/média, usualmente profundos que apresentam seqüência de horizontes do tipo A, B e C, cuja espessura não excede a 200 cm. Estão situados em áreas de relevo ondulado a forte ondulado, ocorrendo também em menor proporção em relevo suave, ondulado e montanhoso. Os solos presentes na região de estudo são os Argilossolos Vermelho-Amarelo Eutróficos (solos com saturação por bases igual ou superior a 50%) e Distróficos (solos com saturação por bases inferior a 50%).

Segundo EMBRAPA (1999), os **Cambissolos háplicos** compreendem solos minerais com horizonte B câmbico ou incipiente, não hidromórficos e com pouca diferenciação de textura do horizonte A para o B. Muitas vezes apresentam características similares aos solos com horizonte B latossólico, mas se diferenciam por serem menos evoluídos, menos profundos, ainda com minerais primários de fácil intemperização, ou pela atividade de argila, que apesar de variar de alta a baixa, é normalmente superior à dos Latossolos, ou pelos teores de silte mais elevados. Os Cambissolos ocorrem em duas situações distintas na paisagem. A área mais extensa é representada por terrenos de relevo acidentado, variando de forte ondulado a escarpado, apresentando severas restrições quanto ao uso agrícola; os localizados em terrenos escarpados apresentam limitações mesmo ao uso pastoril e florestal devido à sua elevada capacidade de degradação. São bastante pobres em nutrientes e ácidos, apresentando altos teores de Al^{3+} trocável. Na área estudada, os Cambissolos ocorrem somente como Distróficos (solos com saturação por bases inferior a 50%).

Os resultados do mapa com as classes de solo e suas respectivas porcentagens para cada bacia da área de estudos, demonstraram que os Latossolos vermelho amarelo são os

solos predominantes nas duas bacias de estudos, apresentando valores de 52% na bacia do rio Atibainha e 54% na bacia do Cachoeira. No entanto, as bacias apresentam também altos índices de Argissolo vermelho amarelo: 48% na bacia do rio Atibainha e 43% na bacia do rio Cachoeira. Em relação aos Cambissolos háplicos, só ocorrem na bacia do rio Cachoeira num total de 3%. A bacia do Atibainha não apresentou ocorrências de Cambissolos.

Em síntese, os resultados da ocorrência das classes de solos na área de estudo indicam que predominam os solos resistentes aos processos erosivos como o Latossolo vermelho amarelo. No entanto, devido às altas declividades na área de estudo, os Latossolos vermelho amarelo tornam-se susceptíveis aos processos erosivos.

Em relação aos Argissolos vermelho amarelo, devido à baixa atividade e proporção de argilas, associados aos relevos com altas declividades, como é o caso da área de estudo, são solos que também apresentam potencial para os processos erosivos. Em relação aos Latossolos, os Argissolos apresentam maior susceptibilidade aos processos erosivos. E, os Cambissolos são mais susceptíveis aos processos erosivos que os Argissolos. Portanto, na classificação dos planos de informação de solo, os Cambissolos foram considerados de alto risco, os Argissolos de médio e os Latossolos de baixo risco. No entanto, como já explicitado, essa hierarquia será novamente questionada em função do relevo.

- Plano de informação do regime de chuvas

Em função da localização geográfica, qualidade e disponibilidade de dados de chuva, 11 postos pluviométricos foram selecionados para identificar a sazonalidade e intensidade do regime de chuvas (Figura 5.5).

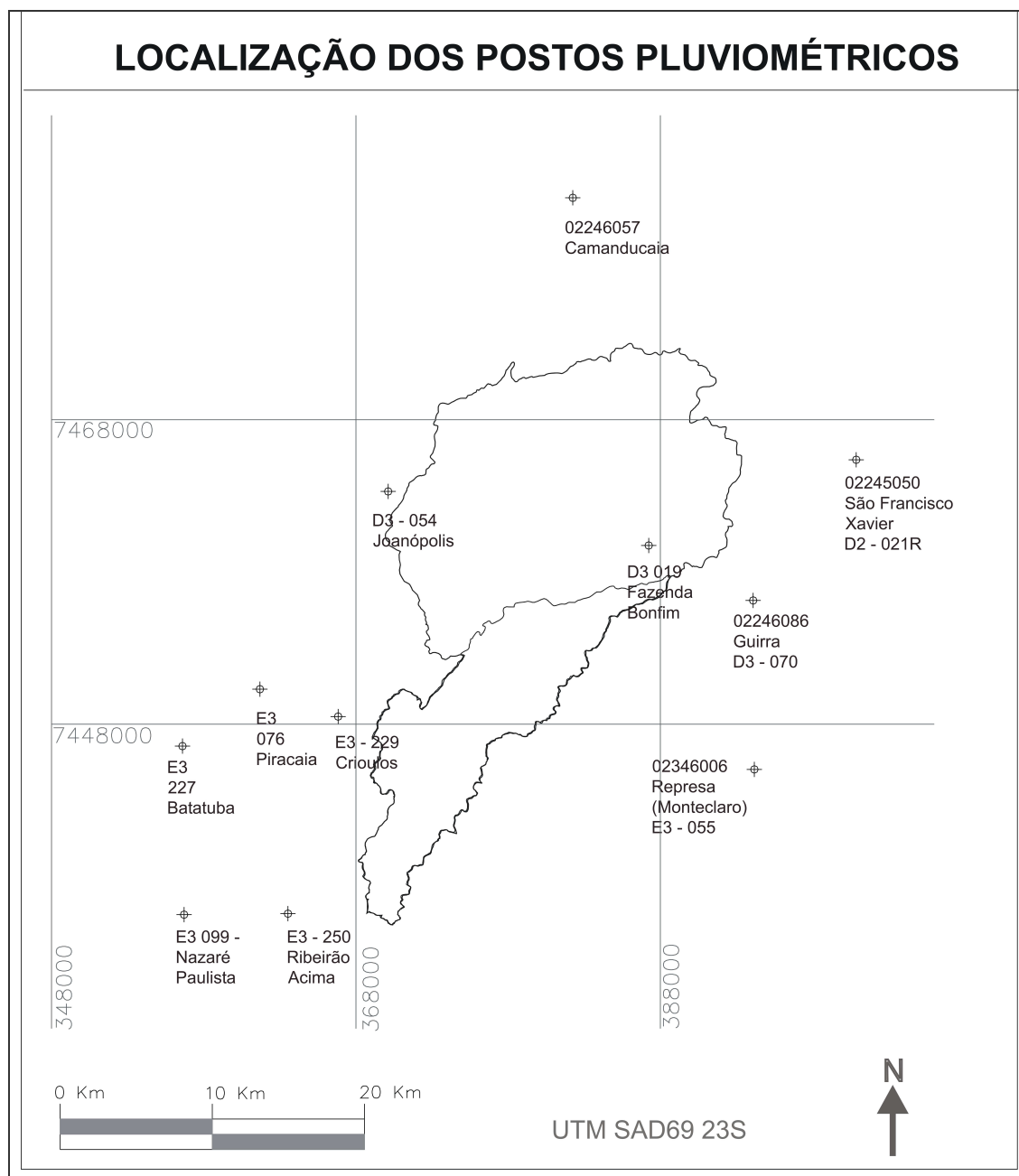


Figura 5.5: Localização dos postos pluviométricos cujas informações foram utilizadas para identificar a normal climatológica na área de estudos.

Devido às falhas apresentadas por alguns postos, o intervalo disponível para identificar a normal climatológica de cada posto pluviométrico foi do ano de 1974 até o ano de 2003 (Anexo 5). Restando, ainda, vários postos cujas informações necessitavam ser completadas.

O resultado das interpolações dos valores da média anual de longo período dos postos com as informações devidamente completadas segundo a metodologia proposta por Tucci (1993) foram os mapas de quantidade de chuvas anual e mensal para a área de estudo (Figuras 5.6, 5.7, 5.8 5.9 e 5.10).

O resultado das interpolações para a média de longo período anual foi o modelo digital tridimensional com valores de chuva. O modelo tridimensional demonstrou que na área de estudo o valor máximo de chuvas foi de 1980 mm e o mínimo foi de 1557, ou seja, a amplitude dos valores é de 423 mm, sendo que o valor médio de chuva encontrado na área de estudo foi de 1758 mm ao ano (Quadro 5.2).

Quadro 5.2: Valores máximos, mínimos e média de chuva em mm extraído da média anual de longo período para a área de estudos e para as bacias do Cachoeira e Atibainha.

ANUAL			
	Máx. /mm	Mín /mm	Média /mm
Área de estudo (Cachoeira + Atibainha)	1980	1557	1758
Bacia do Cachoeira	1980	1584	1790
Bacia do Atibainha	1935	1557	1685

No entanto, esses valores distribuem-se diferentemente nas bacias de estudos. A bacia do Cachoeira apresenta índices de chuva mais elevados que a bacia do Atibainha. Isso significa que na bacia do Cachoeira apresenta índice de chuva mais elevado, em valores absolutos, que na bacia do Atibainha.

O mapa de ocorrência de chuvas anual classificado em intervalos de 50 mm (Figura 5.6) demonstra que em 50% da área de estudos ocorre uma média anual de chuvas em torno de 1600 a 1750.

Em relação às bacias, percebe-se novamente uma discrepância: enquanto na bacia do Cachoeira os valores encontram-se uniformemente distribuídos com 70% em intervalos de 1600 a 1900 mm, a bacia do Atibainha concentra suas chuvas entre 1600 a 1750 mm.

Ou seja, analisando os valores máximos e mínimos, as médias e a ocorrência das classes nas bacias de estudos (Figura 5.6), percebe-se que existe um padrão diferenciado de chuvas: na bacia do Cachoeira chove mais que na bacia do Atibainha e seu padrão de distribuição espacial ao longo da bacia é mais homogêneo, predominando os maiores valores de chuva nas maiores altitudes.

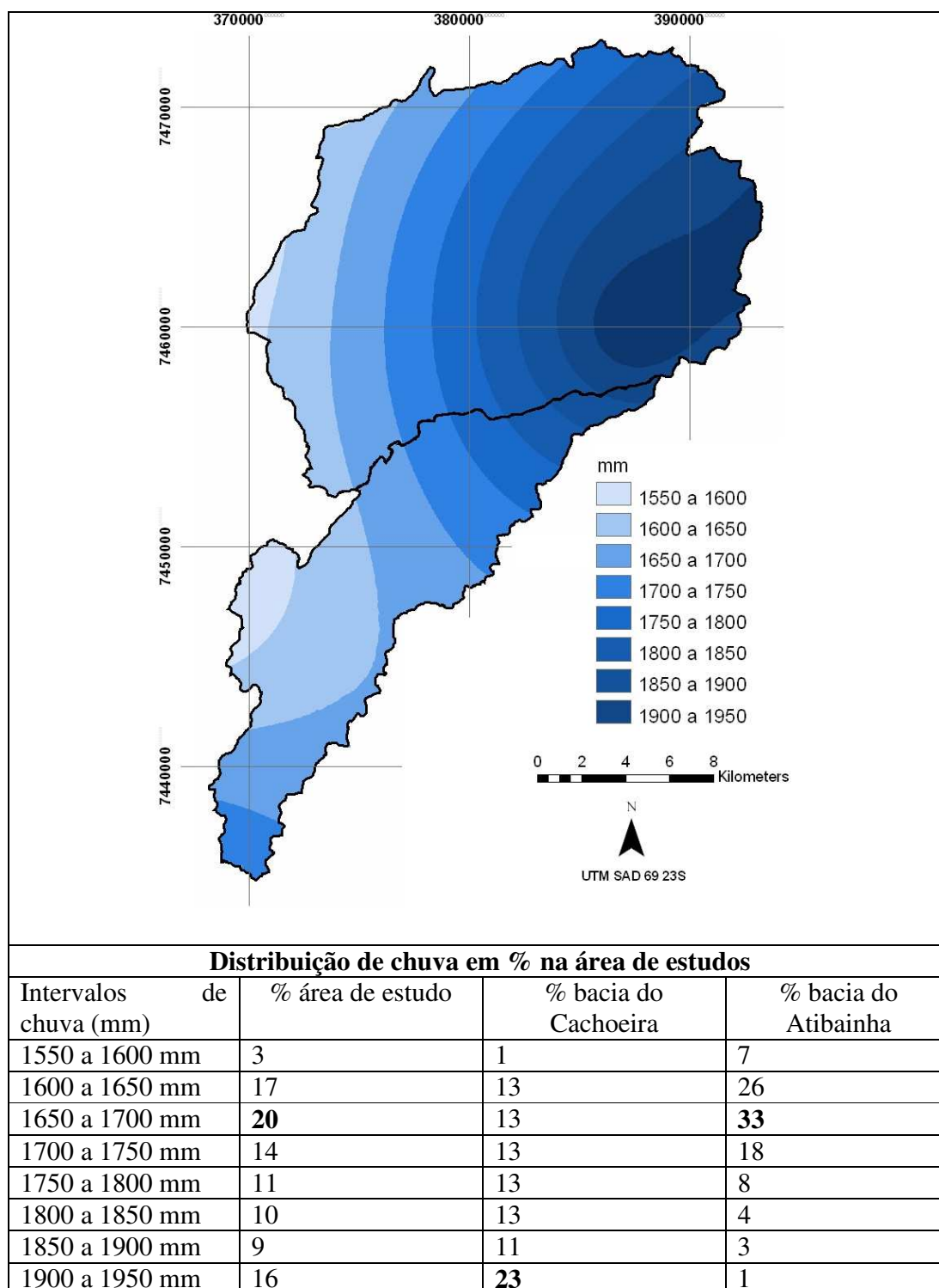


Figura 5.6: Mapa de distribuição de chuvas na área de estudos e suas respectivas porcentagens de ocorrência nas classes.

As informações mensais permitiram identificar a sazonalidade do regime de chuvas na área de estudos. Observando os valores das máximas, médias e mínimas para cada mês (Quadro 5.3) nota-se que os meses de maior ocorrência de chuvas são janeiro, dezembro e fevereiro.

Quadro 5.3: Valores máximos, mínimos e médias de chuva em mm extraído da média mensal de longo período.

	Máx chuva mm	Mín chuva mm	Média chuva mm
JANEIRO			
Área de estudo	345	248	294
Bacia do Cachoeira	345	267	304
Bacia do Atibainha	334	247	272
FEVEREIRO			
Área de estudo	253	199	224
Bacia do Cachoeira	253	199	227
Bacia do Atibainha	247	201	218
MARÇO			
Área de estudo	267	182	221
Bacia do Cachoeira	266	191	229
Bacia do Atibainha	259	181	203
ABRIL			
Área de estudo	119	90	105
Bacia do Cachoeira	119	90	106
Bacia do Atibainha	116	94	102
MAIO			
Área de estudo	95	75	85
Bacia do Cachoeira	95	79	86
Bacia do Atibainha	92	75	83
JUNHO			
Área de estudo	60	51	55
Bacia do Cachoeira	60	52	56
Bacia do Atibainha	59	51	55
JULHO			
Área de estudo	51	36	43
Bacia do Cachoeira	50	36	42
Bacia do Atibainha	51	42	45
AGOSTO			
Área de estudo	52	36	43
Bacia do Cachoeira	52	36	44
Bacia do Atibainha	49	40	43
SETEMBRO			
Área de estudo	116	92	104
Bacia do Cachoeira	116	92	104
Bacia do Atibainha	101	113	103
OUTUBRO			
Área de estudo	178	134	154
Bacia do Cachoeira	178	137	158
Bacia do Atibainha	170	134	145
NOVEMBRO			
Área de estudo	193	151	171
Bacia do Cachoeira	193	157	175
Bacia do Atibainha	184	151	162
DEZEMBRO			
Área de estudo	290	211	253
Bacia do Cachoeira	290	211	256
Bacia do Atibainha	279	229	246

Os mapas de distribuição das classes de chuva mensal com intervalos de 35 mm (Figuras 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10) indicam que em janeiro, em 45% da área da bacia do Cachoeira ocorre eventos de chuva com 280 a 315 mm. Na bacia do Atibainha, em Janeiro, 60% da área predominam as chuvas nos intervalos de 245 a 280 mm.

Novamente, os gráficos com a porcentagem de distribuição de chuvas mensal nas bacias de estudo (Figura 5.11) demonstram haver uma diferença nos padrões de quantidade e distribuição.

Nos meses de estiagem, junho, julho e agosto, os padrões são similares, não apresentando grandes disparidades nos valores em % de ocorrência as classes nas duas bacias. Os valores de ocorrência de chuvas nas duas bacias estão entre os valores de 35 a 75 mm de chuva.

Já nos meses mais chuvosos, entre novembro, dezembro, janeiro e fevereiro existe uma tendência, demonstrada nos gráficos da Figura 5.11, indicando que, na bacia do Cachoeira, ocorre predominância de intervalos com valores de chuvas maiores que na bacia do Atibainha.

Em suma, na bacia do Cachoeira chove mais que na bacia do Atibainha, principalmente nas áreas onde as altitudes são mais elevadas. As áreas com os maiores valores de ocorrência de eventos de chuva na bacia do Cachoeira localizam-se nas altitudes de 1220 a 1984 metros, demonstrando a influência do relevo no regime de chuvas mensal das bacias.

Os valores de altitude e ocorrência de chuvas no período mensal nas bacias também se comportam de maneira diretamente proporcional: nas altitudes mais elevadas ocorrem maiores valores de chuvas.

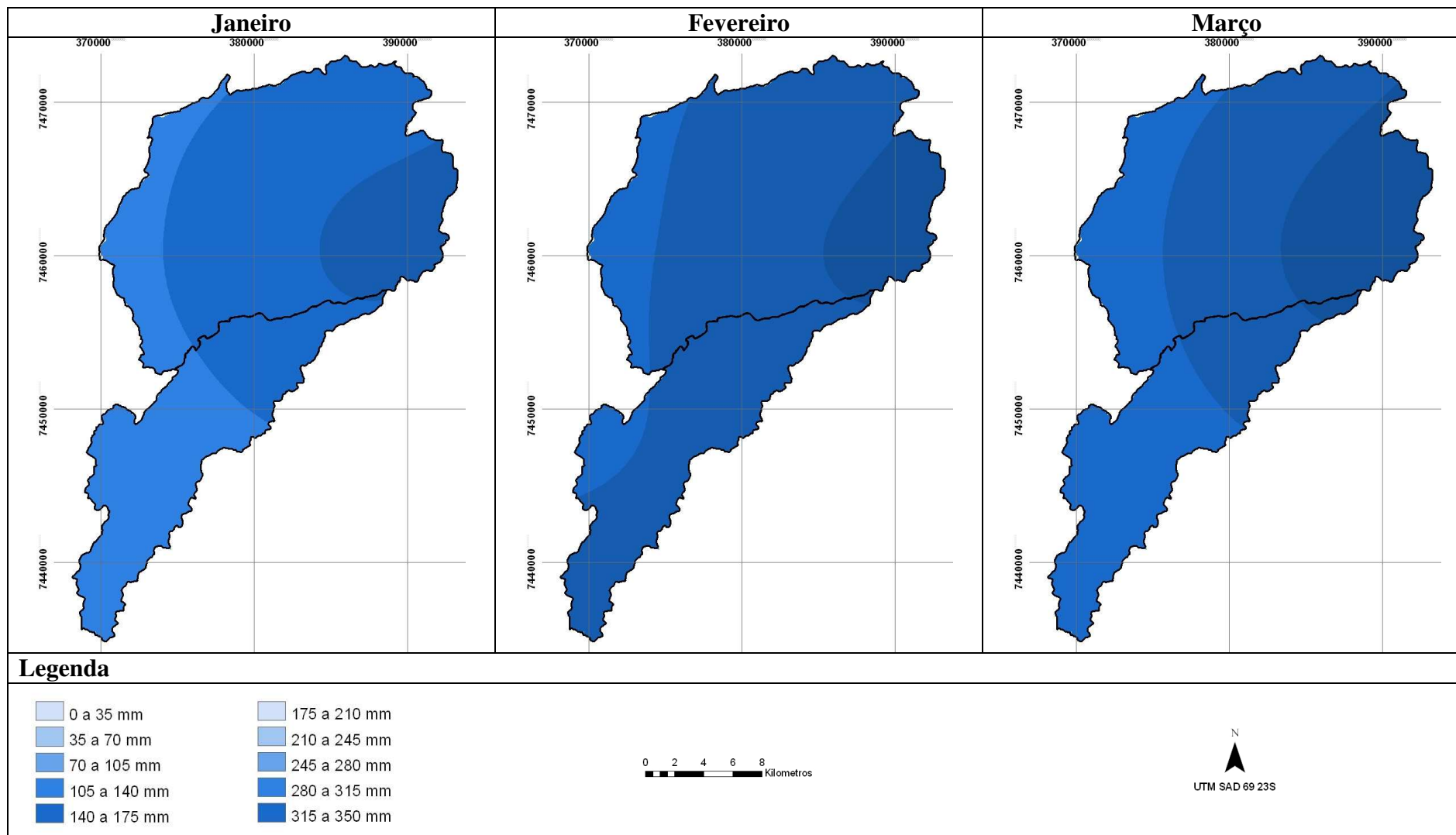


Figura 5.7: Mapas de distribuição de chuva em mm na área de estudo referentes aos meses de janeiro, fevereiro e março.

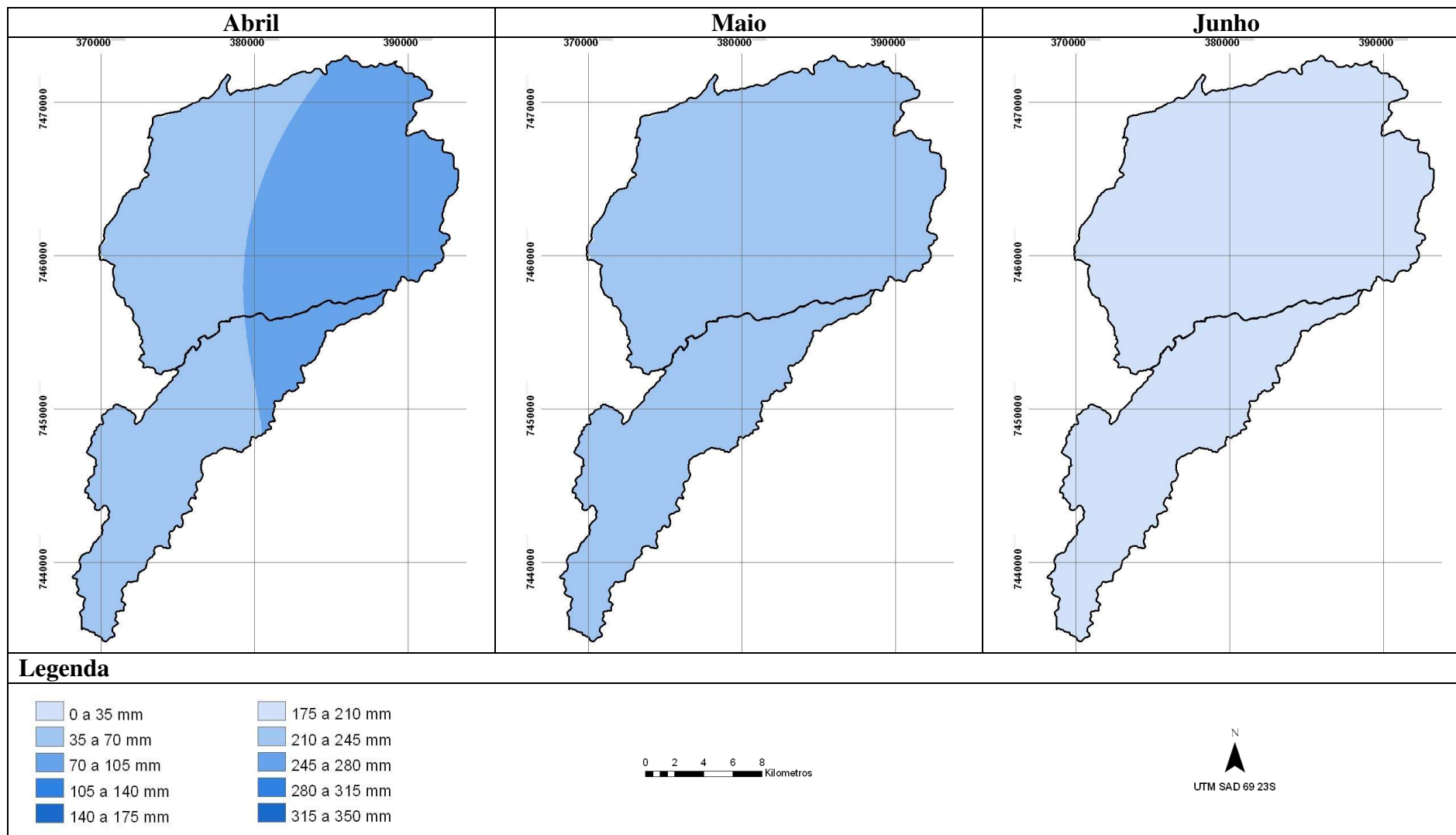


Figura 5.8: Mapas de distribuição de chuva em mm na área de estudo referentes aos meses de abril, maio e junho.

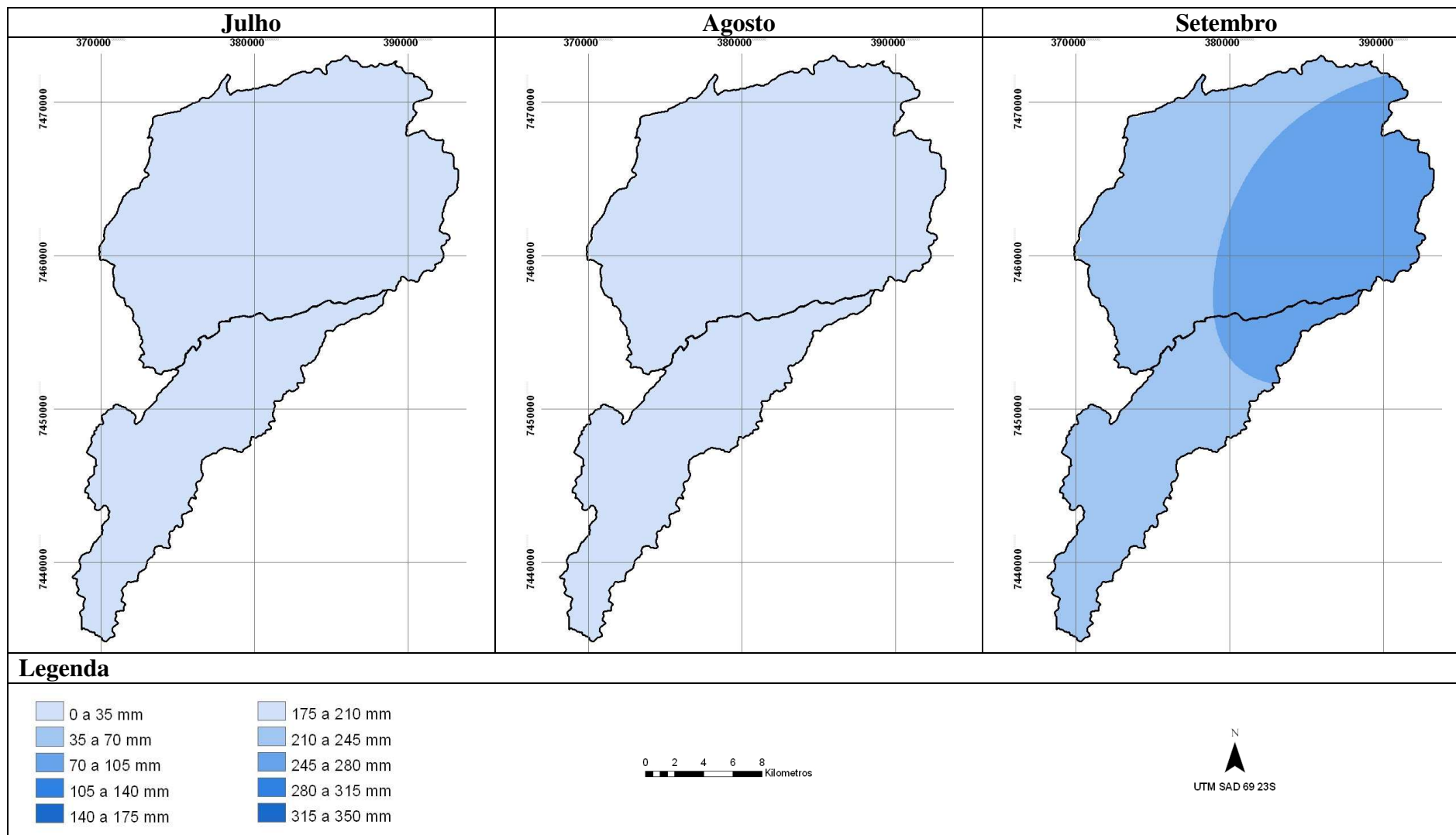


Figura 5.9: Mapas de distribuição de chuva em mm na área de estudo referentes aos meses de julho, agosto e setembro.

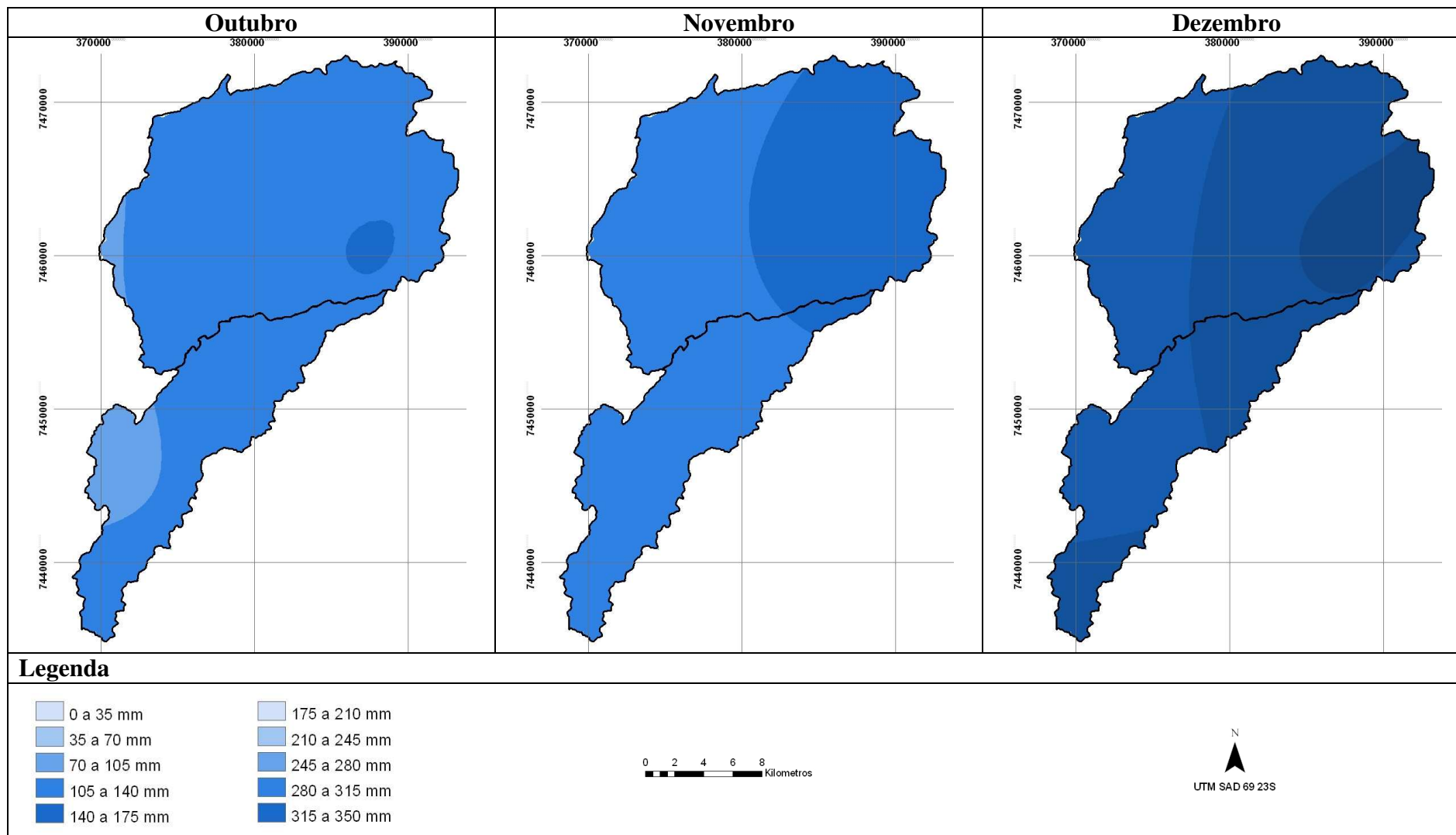
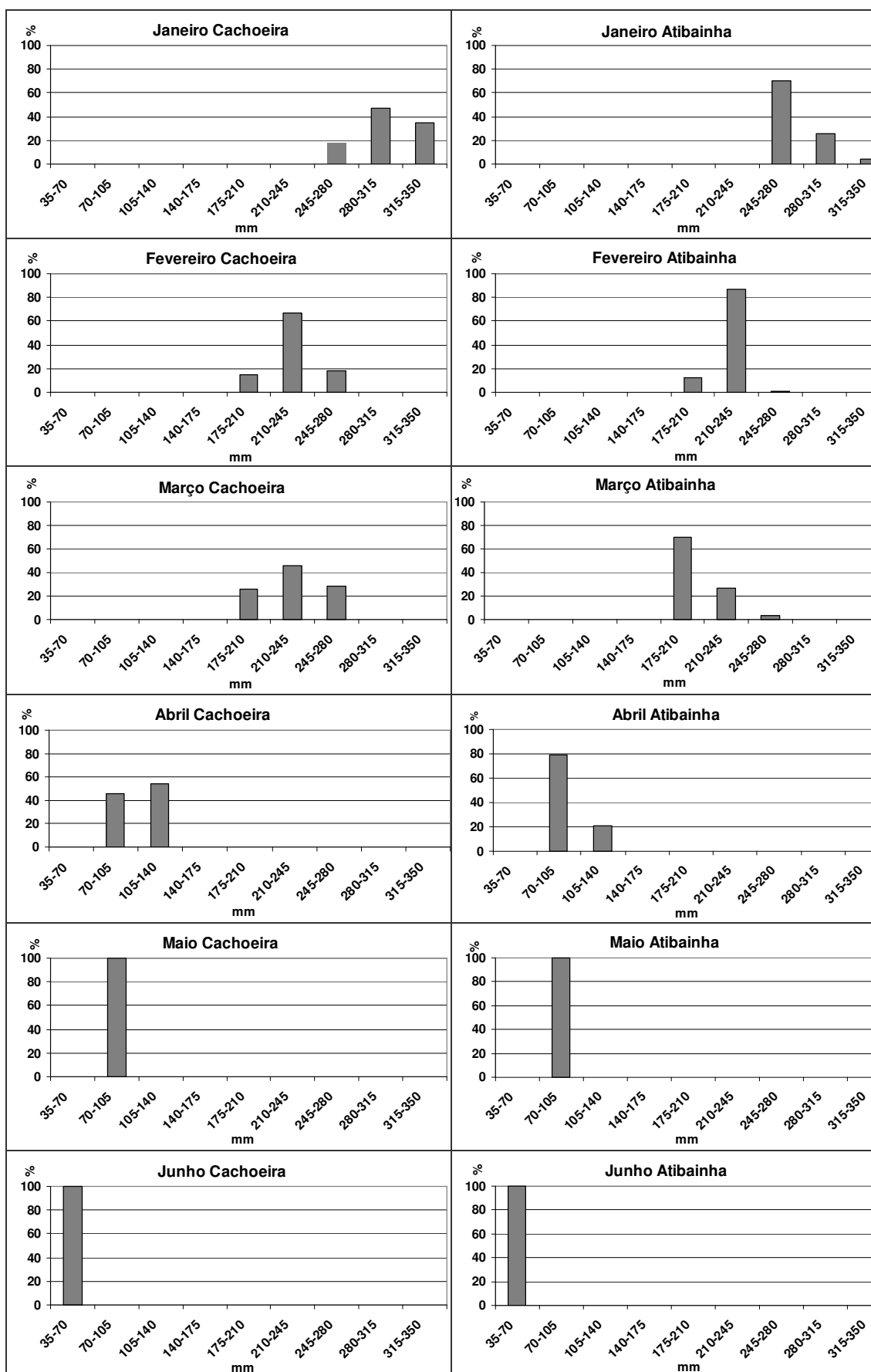


Figura 5.10: Mapas de distribuição de chuva em mm na área de estudo referentes aos meses outubro, novembro e dezembro.



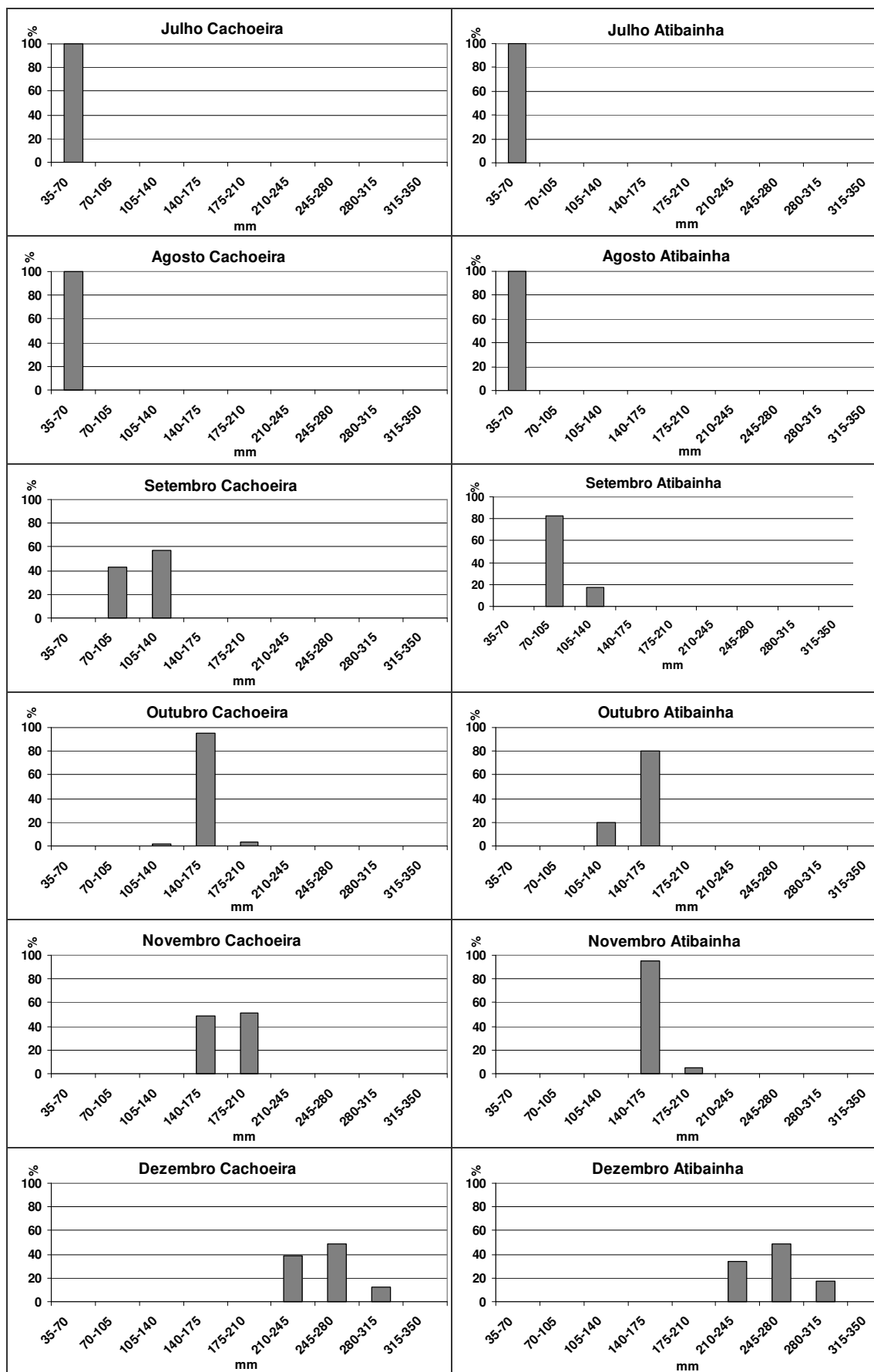


Figura 5.11: Gráficos demonstrando a % de ocorrência dos intervalos de classes de chuvas em mm/mês.

O resultado do cruzamento das imagens classificadas em Alto, Médio e Baixo valores de chuva nas bacias para verificação da existência de um padrão espacial correspondente entre a distribuição de chuvas mensais e anual, está discriminados na Figura 5.12.

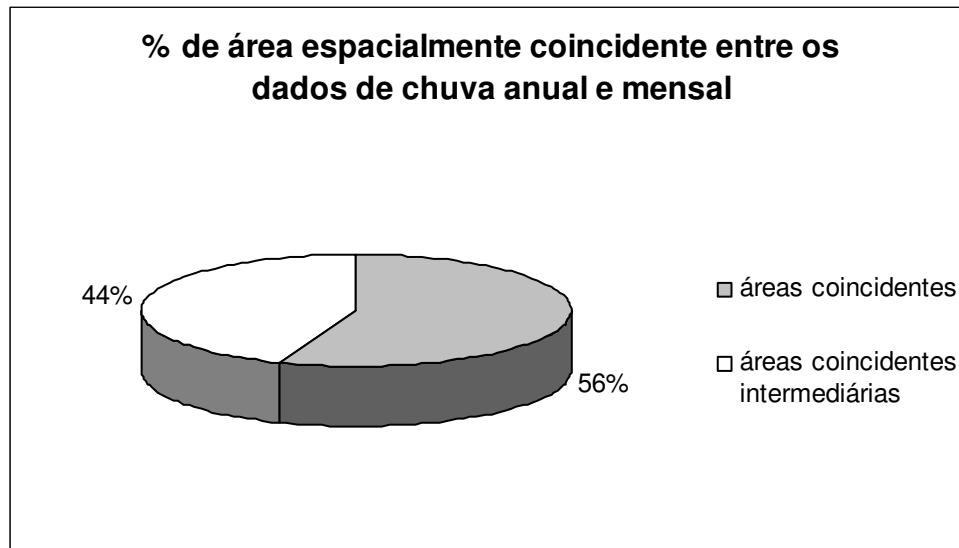


Figura 5.12: Resultado do cruzamento entre os dados de chuva anual e mensal para identificação de áreas coincidentes representado em %.

O gráfico da Figura 5.12 indica que 56% das áreas classificadas corresponderam, enquanto 44% apresentaram-se com coincidência intermediária. Esses 44% de coincidência intermediária significam as áreas que ficaram nas classes de média baixa ou média alta, ou seja, áreas limítrofes entre as classes alta e baixa. Esse resultado indica que existe um mesmo padrão de distribuição espacial de chuvas tanto na escala anual quanto na mensal.

Assim, na elaboração do modelo de produção de sedimento na área de estudo, foi utilizado o mapa de chuva anual classificado em intervalos de alta, média e baixa intensidade de chuva.

5.1.2 Caracterização de uso e ocupação da terra e procedimentos agrícolas

Uso e ocupação das terras

Pré processamento:

O georreferenciamento das cenas da série histórica das imagens Landsat a partir das imagem ortorretificada na área de estudo selecionada a partir das máscaras com os vetores das bacias apresentaram um erro médio de 0,1 pixels. O recorte das cenas Landsat para a classificação de uso da terra permitiu o reconhecimento da evolução dos tipos de uso e ocupação no intervalo de 19 anos analisados - 1986 a 2005.

Processamento

Processamento anterior à viagem de campo

Após o primeiro reconhecimento de campo, pode-se perceber que o modelo de classificação usual, utilizando classificadores supervisionados nos canais 3, 4 e 5 da imagem Landsat do ano de 2005 não seriam suficientes para identificar as realidades da área de estudo. Na saída de campo do dia 27/04/2006, realizada para confirmar a primeira classificação de uso do solo para o ano de 2005 a partir do classificador supervisionado MAXVER na composição colorida 453/RGB, foram identificados diversos erros na classificação.

Os resultados da classificação supervisionada (Figura 5.13) antes da primeira saída para reconhecimento das classes no campo demonstraram que, na bacia do Atibainha, a classe de uso da terra predominante era a pastagem.

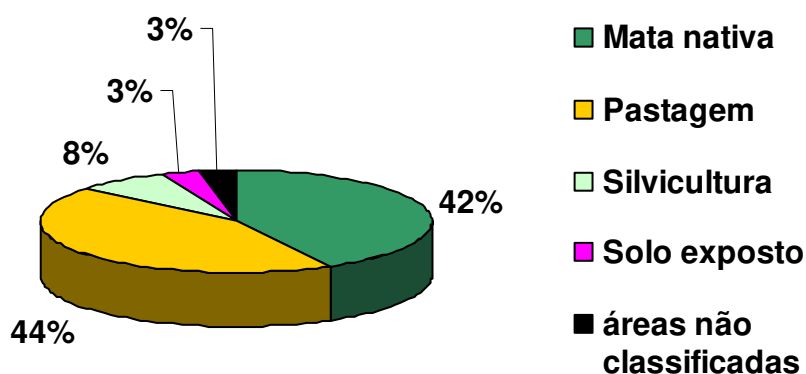


Figura 5.13: Resultados da classificação supervisionada de uso das terras antes da viagem para coleta dos dados de campo na bacia do Atibainha.

Segundo a classificação, predominavam 44% de pastagem e 42% de mata nativa ou secundária, restando apenas 8% para a silvicultura.

Processamento posterior à primeira viagem de campo

No entanto, ao percorrer a área de estudo, verificou-se que a silvicultura também é bastante presente e atuante, predominando tanto silvicultura quanto as pastagens plantadas do tipo *Bracchiaria* (*Bracchiaria decumbens*).

A visita ao CATI da cidade de Piracaia confirmou a verificação efetivada em campo. No relatório do Plano Plurianual 2005 – 2008 da Prefeitura Municipal de Piracaia, cedido gentilmente pela CATI, a principal atividade do município é a silvicultura, cuja finalidade é a produção de lenha e carvão. Segundo informações fornecidas pela CATI, a silvicultura é atividade vigente desde a década de 1980, tornando-se mais intensa a partir do início da década de 1990.

De acordo com os resultados da saída de campo dia 27/04/2006, verificou-se que a confusão apresentada no processo de classificação da imagem de 2005 era resultado dos procedimentos adotados em relação à silvicultura. As florestas de eucalipto, cuja finalidade é a lenha e o carvão, têm seu período de corte e rebrota de 4 em 4 anos. As áreas que aparecem na imagem de 2005 com características de pastagem apresentam similaridades com as áreas da cultura de eucalipto em sua fase de corte.

Para evitar as incertezas na extração das classes de uso das terras na imagem Landsat de 2005 e identificar as áreas de corte de florestas plantadas de eucalipto identificadas no campo optou-se pela utilização de uma análise multitemporal antes de iniciar o processo de classificação.

O resultado da pré-classificação, utilizando o modelo de análise multitemporal a partir da identificação de áreas com fitomassa de todos os anos analisados, foi a identificação de áreas de corte de todos os anos. Tais informações das áreas de corte foram transformadas numa nova imagem, ou seja, uma máscara contendo as informações das áreas anteriormente cobertas por vegetação e que passaram a ter características de pastagem em anos posteriores e, novamente, voltavam a ter características de vegetação em outros anos.

A composição colorida nas bandas 453 /RGB do ano de 2005 foi recortada utilizando as informações da máscara com a somatória das áreas de corte para todos os anos, separando a imagem de 2005 em duas imagens: a imagem das áreas de corte e a imagem sem as áreas de corte.

A classificação final consistiu em classificar as imagens divididas de 2005 e reunir o resultado das classificações em uma só imagem.

Processamento posterior às viagens de campo para a validação do modelo de classificação

Para validação do modelo de classificação, a partir de informações históricas de fitomassa, foram realizadas 3 saídas de campo na área de estudos. Nessas saídas foram observados e registrados 51 pontos de verdades de campo com GPS.

A correção e validação do modelo de classificação foi realizada com o cálculo do índice da Kappa, utilizando os vetores das verdades de campo. O valor do índice de Kappa foi de 0.35, ou seja, segundo critério de confiabilidade proposto por Landis e Koch (1977) apud Moreria (2004), o mapa temático de uso e ocupação do solo apresentou qualidade “razoável”.

O resultado do índice de Kappa demonstrou que as classes de corte de eucalipto foram as que mais apresentaram erro: ocorreu apenas 30 % de acertos em relação as verdades de campo. Esse baixo índice de acertos ocorreu devido ao classificador automático ISODATA utilizado para diferenciar as áreas de fitomassa nas imagens NDVI. No processo de classificação automático, muitas vezes o classificador não identifica com exatidão os valores limítrofes de uma classe para a outra.

Assim, foram selecionadas as classes com os maiores índices de erro na classificação (pastagem e eucalipto) e foi refeito o processo de separação de fitomassa das imagens NDVI para todos os anos, utilizando o classificador supervisionado Paralelepípedo, tendo como apoio a composição colorida 453/RGB para auxiliar na identificação das áreas limítrofes. As áreas de fitomassa corrigidas foram novamente utilizadas para separar a imagem de 2005 e o processo de classificação foi refeito e corrigido (Figura 5.14).

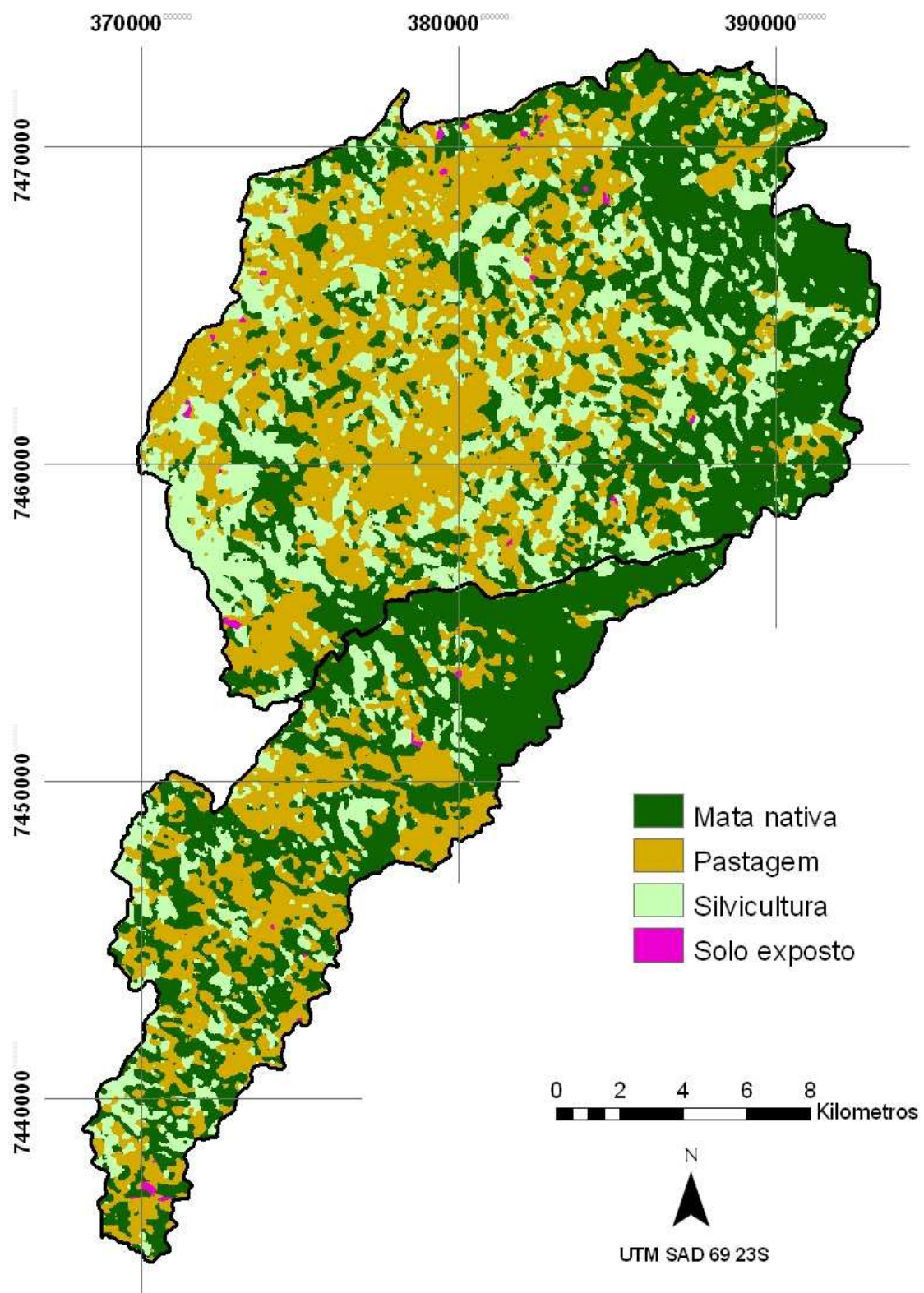


Figura 5.14: Mapa de uso e ocupação das terras na área de estudo.

O índice de Kappa do resultado da classificação corrigida apresentou confiabilidade de 0.84 ou de 84% em relação às verdades de campo, atingindo, finalmente o índice de qualidade “excelente”, segundo Landis e Koch (1977) apud Moreria (2004).

Segundo a classificação corrigida de uso e ocupação das terras o que predomina na área de estudo são mata nativa (40%), pastagem (31%) e silvicultura (28%), conforme Figura 5.15.

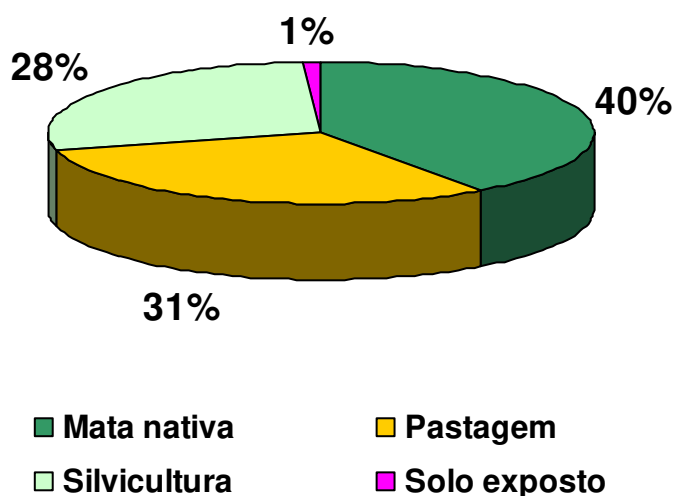


Figura 5.15: relação das porcentagens de uso e ocupação das terras na área de estudo.

No entanto, as florestas plantadas de eucalipto ocorrem em maior número na bacia do rio Cachoeira do que na bacia do Atibainha, sendo que a bacia do Atibainha possui as maiores reservas de mata nativa (Figura 5.16).

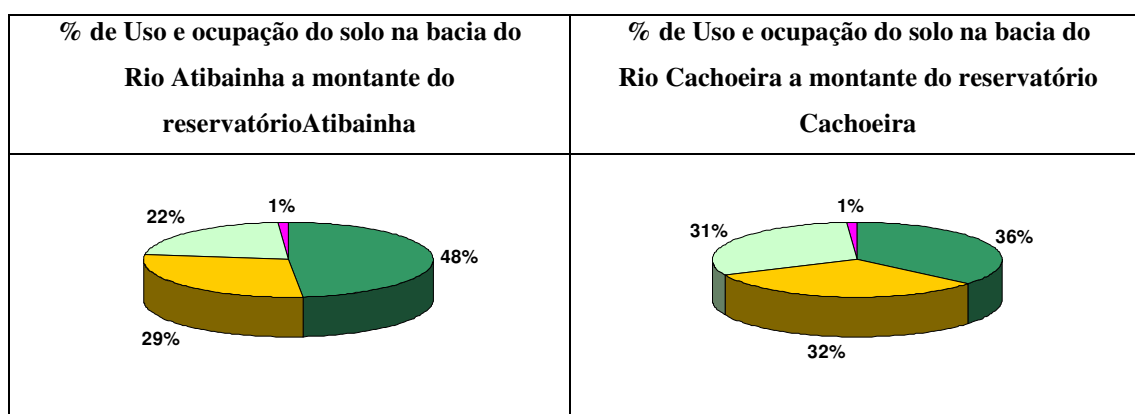


Figura 5.16: Porcentagem dos tipos de uso e ocupação nas bacias da área de estudos.

Comparando os resultados das porcentagens de áreas das classes (Figura 5.17), em relação à área de estudos, obtidas a partir da classificação sem correção e da

classificação corrigida, os números indicam um erro de 43% para a silvicultura e 24% em relação a classe de pastagem.

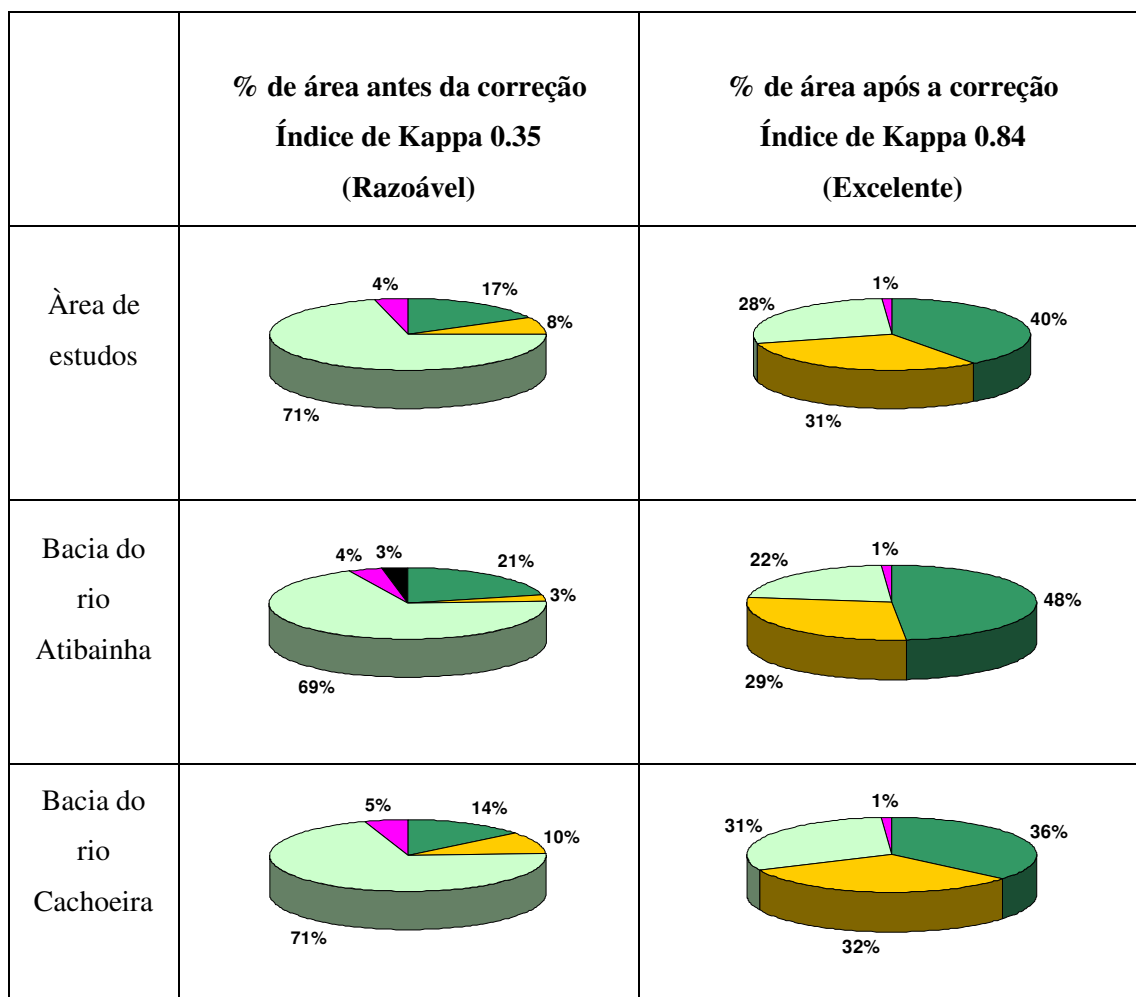


Figura 5.17: Resultados em percentual das áreas classificadas antes e depois do processo de validação do modelo de classificação.

Na bacia do rio Atibainha a montante do reservatório Atibainha, o erro foi de 26% para a classe de pastagem (de 3% passou para 29%) e na bacia do rio Cachoeira a montante do reservatório Cachoeira o erro foi de 22% para a classe de pastagem (de 10% passou para 32%).

Em relação às áreas de silvicultura, para a bacia do rio Atibainha o erro foi de 47% (passou de 69% para 22%) e para a bacia do Cachoeira o erro foi de 40% a mais (passou de 71% para 31%).

Procedimentos de uso e ocupação das terras: questionário sócio ambiental

Em relação aos questionários sócio ambiental, na bacia do Atibainha foram respondidos 7 e na bacia do Cachoeira foram respondidos 13, gerando um total de 20 questionários para a área de estudos. Foram aplicados questionários com os proprietários e com os engenheiros agrônomos responsáveis pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) da Secretaria da Agricultura e Abastecimento dos municípios de Joanópolis e Piracaia, gerando um total de 22 questionários respondidos.

Os resultados dos questionários indicam para as bacias do Atibainha e do Cachoeira que as atividades predominantes são a silvicultura e a pastagem plantada com criação extensiva de bovinos e, o tamanho predominante das propriedades está abaixo de 50 hectares, 70% dos entrevistados possuem entre 15 e 30 hectares.

As entrevistas demonstraram que a silvicultura tem a como finalidade os produtos de lenha e carvão vegetal, predominando a espécie de eucalipto “vermelho” (*Eucalyptos urophylla*), sendo que a lenha é a principal finalidade das plantações (80% dos entrevistados que plantam eucalipto). No entanto, existe uma propriedade (720 hectares), na bacia do Atibainha que, em parceria com o grupo Votorantin Celulose e Papel, planta eucalipto para a produção de celulose.

Na área de estudo, 90 % dos entrevistados que praticam silvicultura para produção de lenha, revelaram que o ciclo de corte das árvores é de 4 a 5 anos. Já para as florestas de eucalipto com finalidade para celulose é de 7 anos. No entanto, segundo informações de técnicos da CATI de Piracaia, a atividade de silvicultura voltada para a produção de celulose não é significativa na região.

Na colheita da madeira cuja finalidade é a lenha utiliza-se o fogo para facilitar a retirada da madeira e eliminar os galhos mais finos. Nas entrevistas, 90% dos produtores negam a utilização do fogo, no entanto, segundo informações da CATI de Joanópolis e Piracaia e confirmações no campo (Figuras 5.18 e 5.19), essa prática é recorrente na área de estudos.



Figura 5.18: Foto registrando área recém queimada para colheita de eucalipto na bacia do Atibainha.



Figura 5.19: Vertente com registro de queima das toras de eucalipto para colheita.

Posteriormente, em 100% das propriedades dos entrevistados, as árvores são cortadas com motosserras e o transporte da madeira, no caso de regiões com relevo de declive acentuado, é feito com animais (mulas e burros) até as estradas onde o caminhão consegue ter acesso. Esse resultado foi confirmado pelos técnicos da CATI da região.

Em relação aos insumos agrícolas utilizados na atividade de silvicultura, 100% dos produtores entrevistados utilizam herbicida 4/14/08 e formicidas no período de plantio e crescimento das árvores, procedimento também confirmado pelos técnicos da CATI.

Ainda em relação à silvicultura, na região não existe período específico para o corte das árvores, 100% dos entrevistados disseram que a época de corte está relacionada a necessidade econômica do produtor e demanda dos consumidores (padarias e pizzarias do município de São Paulo) que ocorre durante o ano todo, fato comprovado pela CATI de Joanópolis e Piracaia.

No entanto, nas plantações, a preferência de 100% dos produtores entrevistados é plantar no “período das águas”, ou seja, nos meses mais chuvosos, entre novembro e fevereiro, e 30% utilizam a aração com trator no preparo das terras.

Em relação à atividade de pastagens plantadas, segundo os resultados das entrevistas, o capim predominante na área de estudo é do tipo *Bracchiaria (Bracchiaria decumbens)*. A finalidade da atividade é a criação de gado para leite (80%) e, em menor escala para corte (20%).

A utilização de insumos agrícolas na atividade de pastagem é praticamente nula na área de estudo. Segundo a CATI o manejo é realizado com roçada e fogo para limpar o pasto.

No entanto, na área de estudo, os proprietários entrevistados estão abandonando a atividade de pastagem, queixando-se que o preço do leite é muito baixo, impedindo a continuação do produtor em tal atividade. As pastagens plantadas estão sendo substituídas por plantações de eucalipto, que, segundo os proprietários, a atividade apresenta-se mais lucrativa e necessita de pouca manutenção.

Poucos foram os proprietários entrevistados que realizam apenas uma atividade, nas duas bacias estudadas as atividades de pastagem associadas a silvicultura estão em 80% das propriedades, sendo que, até as datas das entrevistas (outubro de 2006 e janeiro de 2007) a tendência do agricultor é desenvolver mais a silvicultura, devido ao retorno

financeiro. No campo, foram identificadas áreas ainda com capim *bracchiaria* e sulcos para plantar eucalipto.

Na área de estudo, são poucas as queixas em relação aos processos erosivos, no entanto, o engenheiro agrônomo responsável pela CATI de Joanópolis, relatou a ocorrência de erosão do tipo laminar, ravinas no caminho do gado e deslizamentos em épocas de chuva nos cortes de estrada em vertentes mais íngremes na bacia do Cachoeira.

Em relação à questão da existência de reservas de mata nativa, segundo a CATI de Joanópolis e Piracaia, as propriedades geralmente possuem áreas de reserva, nas áreas de declive acentuado, devido às dificuldades de acesso, mantendo as nascentes de água protegidas nessas áreas. No entanto, se a nascente estiver nas proximidades da sede da propriedade, não existe manutenção e nas conversas com os proprietários, muitos declaravam que nascentes haviam secado, questão que só pode ser comprovada em novas pesquisas de campo.

Tendo em vista os procedimentos agrícolas, tais como o manejo, época de plantio e corte, os tipos de corte e o tempo em que os eucaliptos são cortados, definiu-se que a silvicultura, na área de estudo, é a prática mais susceptível aos processos erosivos. E, na relação hierárquica, a silvicultura e as áreas de solo exposto foram consideradas como alto risco, a pastagem de médio risco e as matas nativas e/ou secundárias de baixo risco.

5.1.3 Caracterização da Aptidão agrícola das terras e suas respectivas adequações de uso.

O resultado da caracterização da aptidão agrícola proposta por Ramalho Filho et al (1995) está ilustrado no quadro 5.4.com seus respectivos sub grupos na Figura 5.20.

Quadro 5.4: Subgrupos de aptidão agrícola para a área de estudo e sua ocorrência em porcentagem na área de estudo (AT), na bacia do Atibainha e na bacia do Cachoeira.

Subgrupo	Caracterização	A. T. %	Atibainha %	Cachoeira %
1 B	Terras com aptidão boa para lavouras de ciclo curto e/ou longo no nível de manejo B	0	0	0
2b	Terras com aptidão regular para lavouras de ciclo curto e/ou longo no nível de manejo B	0	0	0
3 (b)	Terras com aptidão restrita para lavouras de ciclo curto e/ou longo no nível de manejo B	1	0	1
4P	Terras com boa aptidão para pastagem plantada	19	20	19
5S	Terras com aptidão boa para silvicultura	53	58	50
6	Terra sem aptidão para uso agrícola	27	22	30

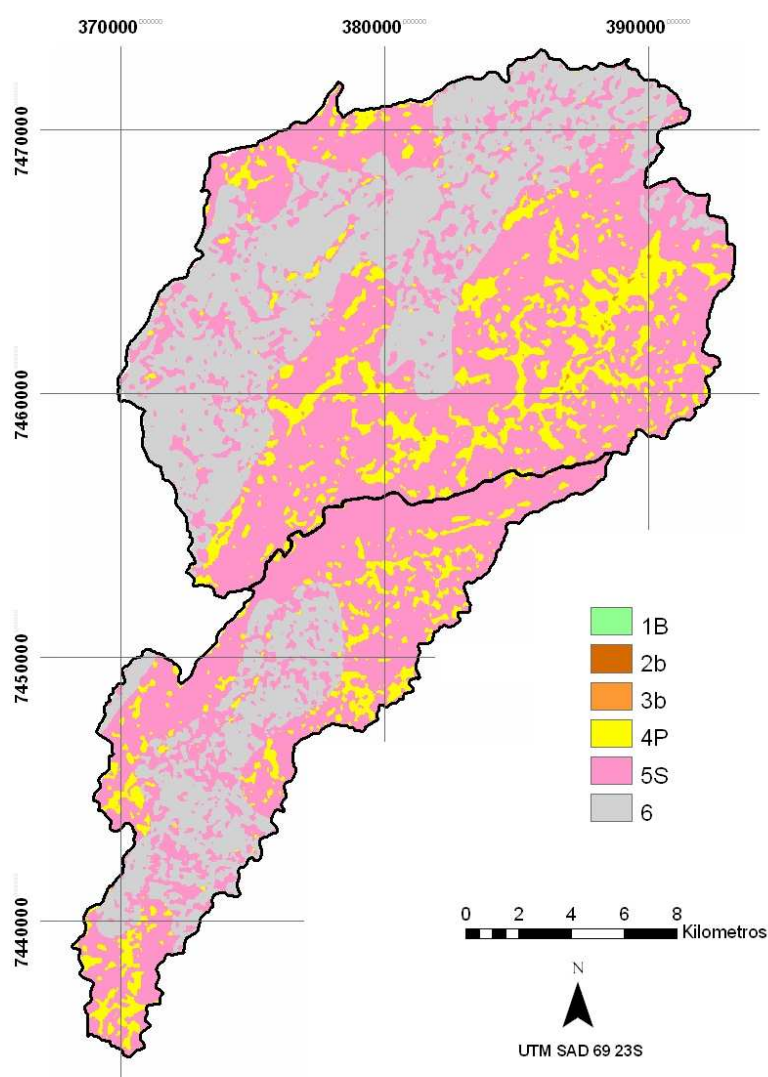


Figura 5.20: Mapa com os subgrupos de Aptidão das terras nas bacias do Atibainha e do Cachoeira.

O quadro 5.4 demonstra que na área de estudo, as terras com aptidão para lavoura ocorrem em apenas 1 %, no entanto está classificada como uso restrito em relação ao nível de manejo existente na bacia (B), caracterizado como pouco desenvolvido. Na área de estudo, predominam as terras com boa aptidão para silvicultura (53%) e pastagem plantada (19%). 27 % da área estão classificadas como terras sem aptidão agrícola, ou seja, nessas áreas o ideal é manter a cobertura vegetal original.

Ao analisar o potencial ambiental e uso atual, isto é, cruzar os planos de informação do uso da terra com aptidão agrícola (Figura 5.21), percebe-se que 28 % da área de estudo estão com utilização adequada, restando 51% de subutilizada e 21% sobre utilizada. A adequação de uso das terras nas bacias se comporta de maneira praticamente homogênea, e, em relação aos riscos de produção de sedimento na área de estudo, as áreas subutilizadas e adequadas somam um total de 79%, ou seja, 79 % da área de estudo possui baixo risco em relação a aptidão das terras e 21 % possui alto risco.

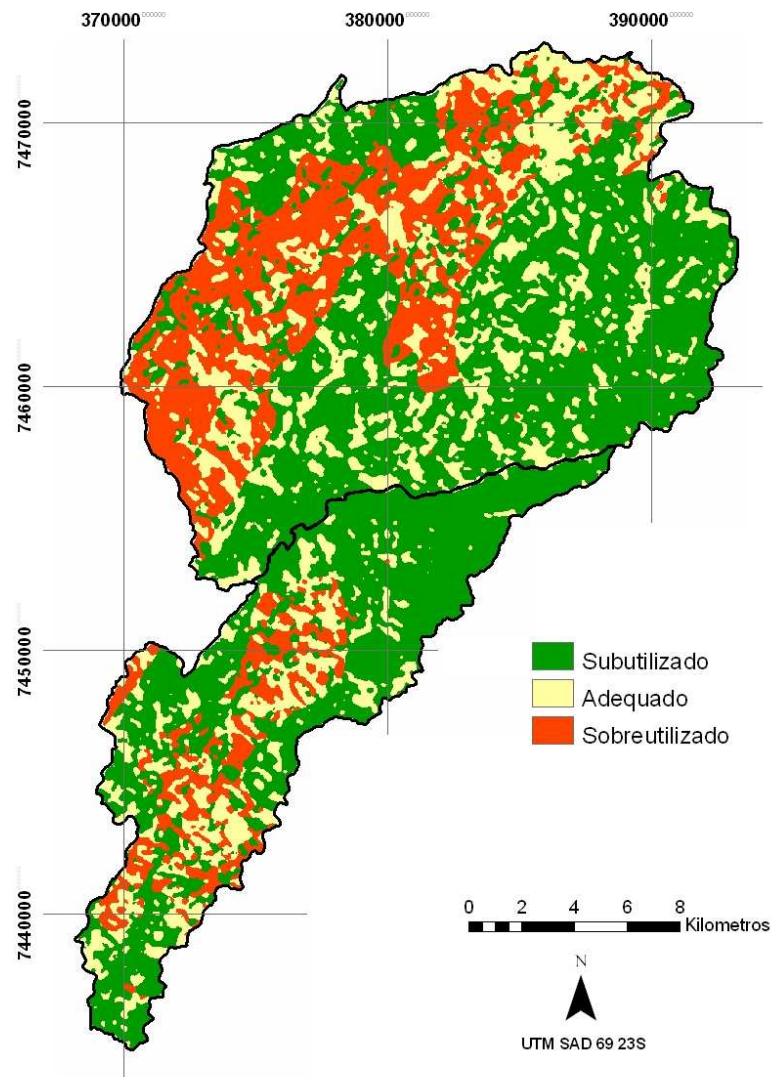


Figura 5.21: Representação espacial das áreas adequadas, sub utilizadas e sobre utilizadas na bacia do Atibainha e Cachoeira.

5.2 Segunda Fase

A primeira etapa da segunda fase consistiu em observar as interrelações entre as variáveis do meio físico.

Antes de elaborar o modelo de produção de sedimentos para a área de estudos, foram cruzados os planos de informação (PI) do meio físico (Declividades, classes de solo e chuva) para reconhecer os padrões de ocorrência das classes em cada plano de informação.

Em relação ao cruzamento das classes de declividade e solos, na área de estudos os Latossolos vermelho amarelo ocorrem em todas as classes de declividade consideradas neste trabalho. No entanto, os Latossolos ocorrem com maior frequência nas classes de relevo ondulado médio (36%) e ondulado forte (25%). A ocorrência dos

Latossolos nas declividades acima de 32.5% demonstra a limitação da informação das classes de solo disponíveis para a área de estudos.

Os Argissolos vermelho amarelo ocorrem predominantemente na classe de relevo ondulado médio. No entanto, o Argissolo também ocorre em todas as classes de declividade.

Os Cambissolos Háplicos também ocorrem em todas as classes, no entanto, os maiores valores de ocorrência (em torno de 70%) estão nas classes acima de 32.5% de declividade.

No entanto, analisando o relevo em relação à chuva, na classe montanhosa a porcentagem de chuvas com valores altos em mm/ano ocorrem em maior número, enquanto no relevo suave, as chuvas predominantes são as de valores baixos, entre 1558 a 1713 mm/ano. Essa relação indica que na área de estudo, o padrão de distribuição de chuvas está relacionada à altimetria.

No cruzamento do mapa de concentração de chuva nas bacias com as classes de solos, nota-se que no Latossolo vermelho amarelo ocorre com mais frequência o intervalo de 1826 – 1980 mm/ano, enquanto nos Argissolos predominam os menores intervalos: 1558 a 1713 mm/ano. 100 % dos Cambissolos ocorrem na área de maior índice de chuvas na bacia.

A relação entre classes de solo, relevo, chuvas e áreas de acumulação de água (Índice Topográfico) consideradas neste trabalho estão baseadas nas diferenças hierárquicas das combinações entre os planos de informação. O princípio é identificar os extremos em relação à potencialidade de produção de sedimentos de cada plano considerado e analisar a relação a cada cruzamento de planos.

Tendo em vista que os Cambissolos da área de estudo são originado de rochas metamórficas e, sendo assim, apresentam altos teores de fragmentos de rocha e/ou minerais primários facilmente intemperizáveis, sendo fonte de sedimentos pouco selecionados para os canais coletores, a ocorrência desses solos associado à quantidades significativas de chuva ligada as altas declividades revela a fragilidade dessa classe em relação às demais classes de solo em relação aos processos erosivos e, consequentemente, produção de sedimentos. Na teoria, essa combinação de fatores, faria com que houvesse um grande aporte de sedimentos por escoamento e erosão superficial nas altas declividades e escoamento sub-superficial nas baixas declividades, causando voçorocamentos e movimentos de massa.

A segunda etapa consistiu na reclassificação de cada mapa temático dos planos de informação considerados (meio físico, procedimentos de uso e ocupação e adequação agrícola), associando interpretações hierárquicas de alto médio e baixo risco para cada classe em função das áreas com potencial para a produção de sedimentos (Anexo 4).

Em relação às declividades, na área de estudo predominaram as classes de médio risco (61%) em relação a produção de sedimentos. As classes de alto risco ocorreram em 7 % da área e as de baixo risco em 32 %. Em relação às bacias de estudo, a reclassificação em alto, médio e baixo risco indicou que as duas bacias possuem proporções bem próximas: na bacia do Atibainha a área de alto risco consiste em 7 % e a bacia do Cachoeira possui 8%. A área de médio risco na bacia do Atibainha consiste em 59 % e a bacia do Cachoeira apresenta 60%. As classes de baixo risco, consequentemente são similares: 34 % na bacia do Atibainha e 32% na bacia do Cachoeira.

Em relação às áreas variáveis de afluição, consideradas áreas de alto risco em relação à produção de sedimentos, representam 20 % do total da área de estudo.

Em relação à reclassificação do mapa de solos, os solos considerados de alto risco (Cambissolo Háplico), ocorrem apenas na bacia do Cachoeira. Já o solo de médio risco, o Argissolo, ocorre de maneira similar nas duas bacias: 48 % na bacia do Atibainha e 43 % na bacia do Cachoeira.

O mapa de chuva foi reclassificado em três classes: chuvas de alto, médio e baixo risco de acordo com as quantidades de chuva distribuídas na bacia (Figura 5.22). O resultado da classificação indicou que, em 45 % da área de estudo, predominam as chuvas de baixo risco. No entanto, o comportamento de chuvas nas bacias é diferenciado: na bacia do Atibainha predominam as chuvas de baixo risco, com 73 % de ocorrência. Já na bacia do Cachoeira ocorrem em maior número as chuvas de alto risco, com 40 %.

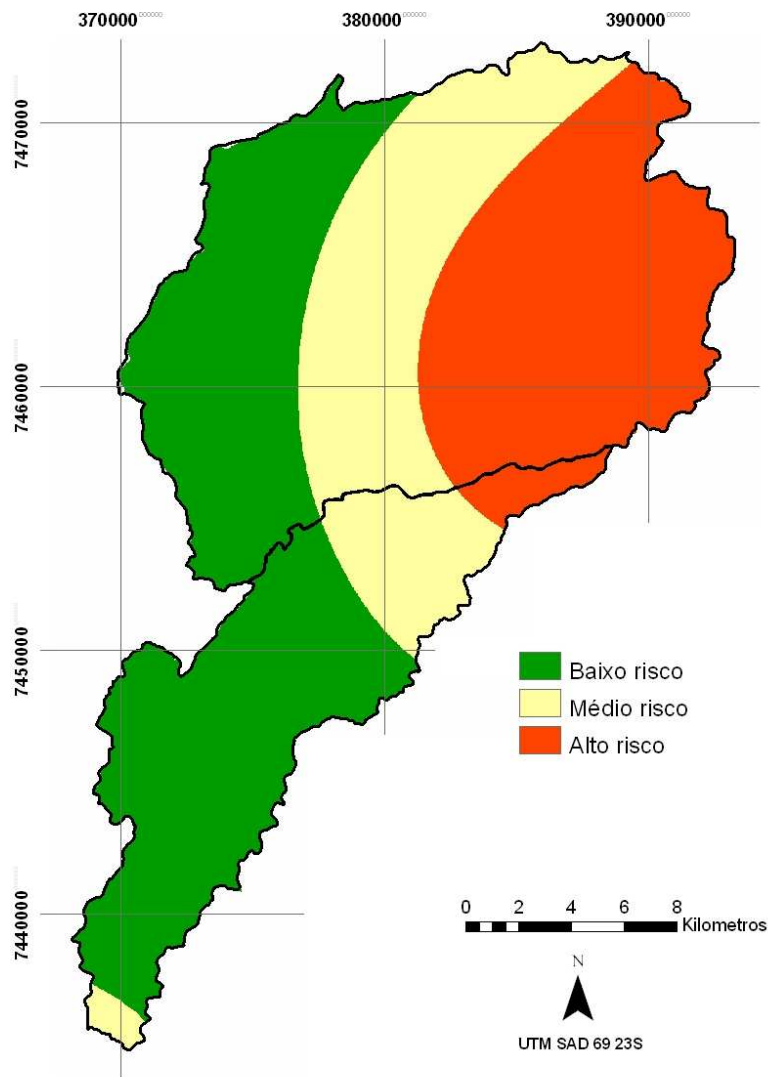


Figura 5.22: Mapa de distribuição das classes de chuva em função dos riscos considerados para cada intervalo.

O cruzamento dos mapas representativos do meio físico, seguindo a hierarquia e limitação das escalas de análise, estão representados na figura 5.23. Os resultados dos cruzamentos e ponderações em relação aos riscos que cada combinação de classes foi analisada nos cruzamentos dos planos de dois a dois estão disponíveis no Anexo 4.

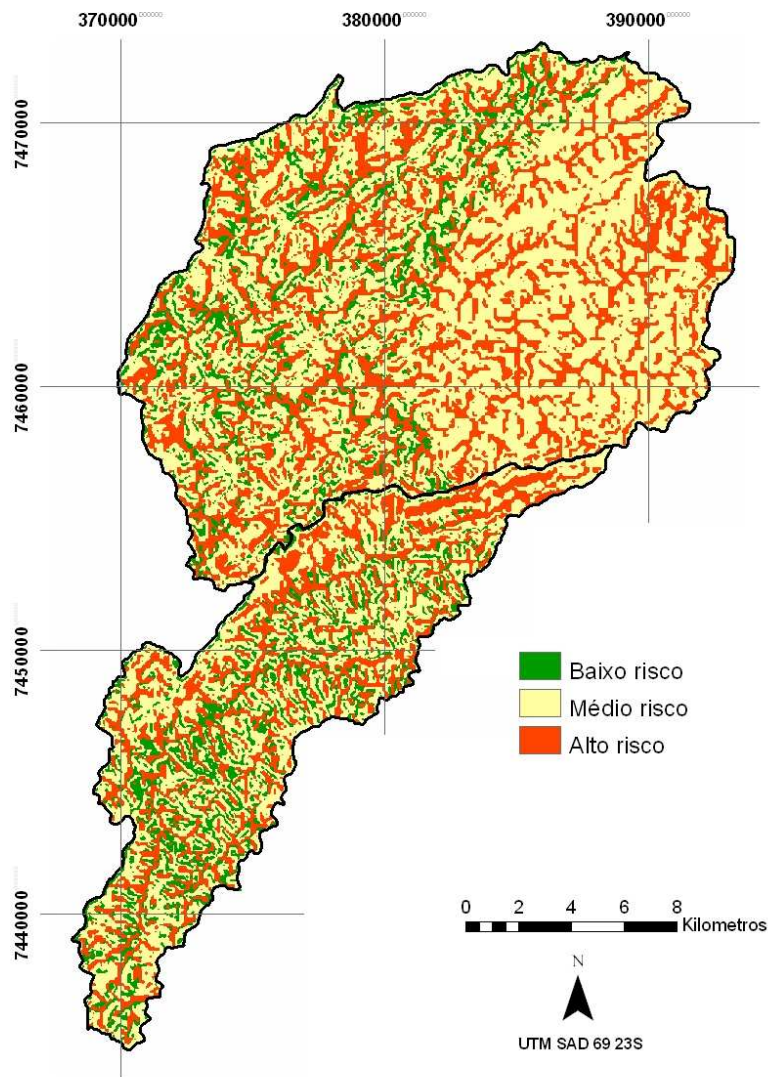


Figura 5.23: Mapa de representação dos riscos dos aspectos físicos da área de estudo em relação à produção de sedimentos.

A distribuição espacial dos riscos em relação às características físicas da área de estudo (Quadro 5.5) indica que predominam áreas de alto e médio risco. Na bacia do Atibainha e na bacia do Cachoeira as áreas de alto risco possuem proporcionalmente as mesmas porcentagens. No entanto, a bacia do Atibainha apresenta 9% a mais de áreas de baixo risco em relação à bacia do Cachoeira. Essa relação ocorre provavelmente porque na bacia do Atibainha não ocorrem os Cambissolos, classe considerada de alto risco neste trabalho.

Quadro 5.5: Relação em km² e porcentagem das áreas de alto, médio e baixo risco para os aspectos físicos da área de estudo, na bacia do Atibainha e na bacia do Cachoeira

Risco	Área de estudo		Bacia do Atibainha		Bacia do Cachoeira	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Baixo	61	14	29	20	32	11
Médio	241	53	66	48	173	56
Alto	145	33	44	32	99	33
Áreas não classificadas	0	0	0	0	0	0
Total	447	100	140	100	307	100

A classe de alto risco em relação à produção de sedimentos em função dos aspectos físicos da área de estudos, ficou definida como áreas de ocorrência de Cambissolos nas declividades acima de 32.5 %, Argissolos nas declividades acima de 8% e os Latossolos nas declividades acima de 32.5 % e as áreas variáveis de afluência, que também são áreas susceptíveis. Em relação às chuvas, as áreas de alto risco ocorreram em todas os intervalos considerados.

As áreas de baixo risco ocorreram nas áreas abaixo de 20 % de declividade, com chuvas abaixo de 1826 mm/a nos Argissolos e Latossolos. Os Argissolos considerados como baixo risco estão localizados nas áreas abaixo de 8 % de declive. A área variável de afluência, neste modelo, não pertence as áreas de baixo risco.

Reis et al (2006) ao mapear áreas de risco à ocorrência da erosão hídrica no sudoeste goiano com base na distribuição de chuvas, solos e relevo, identificou áreas de maior risco nas áreas de declividade acentuada com presença de neossolos, cambissolos e argissolos. As áreas menor risco, no trabalho de Reis et al (2006) predominam nos latossolos, com precipitações menos intensas e declividade praticamente nula.

Os resultados do modelo de Reis (2006) indicam que o relevo e o solo são os controles erosivos da área. Comparando o modelo de Reis et al (2006) com os resultados deste trabalho em relação aos aspectos físicos, percebe-se que Reis et al (2006) não consideraram as áreas de acumulação de água como fator limitador para práticas agrícolas e, conseqüentemente, desencadeador de processos erosivos. A utilização de classes de relevo, solo e chuva para identificar áreas de risco em relação aos processos erosivos torna a análise limitada, pois existem outros fatores que também condicionam e desencadeiam a erosão. Os autores também não consideram o comprimento de rampa das vertentes e não utilizam nenhum outro tipo de cálculo para sua substituição.

Em relação à utilização de modelos que aprimoram o comprimento de rampa, Sivertun et al (2003) utiliza um modelo hidrológico para calcular o comprimento de rampa, a direção de fluxo e a acumulação do fluxo, ou seja, as áreas de acumulação de fluxos de água nas vertentes. No entanto, a comparação do modelo deste trabalho com o realizado por Sivertun et al (2003) será efetivada posteriormente, pois os autores também consideram o uso e ocupação das terras para identificar as áreas de risco.

Em relação ao mapa de uso e ocupação das terras, a classificação foi baseada nos resultados das observações de campo efetivada nas viagens pela área de estudo e nos questionários. Os resultados indicaram que a silvicultura é, sem dúvida, a atividade mais impactante em relação aos processos erosivos (Figura 5.24 A, B, C e D).



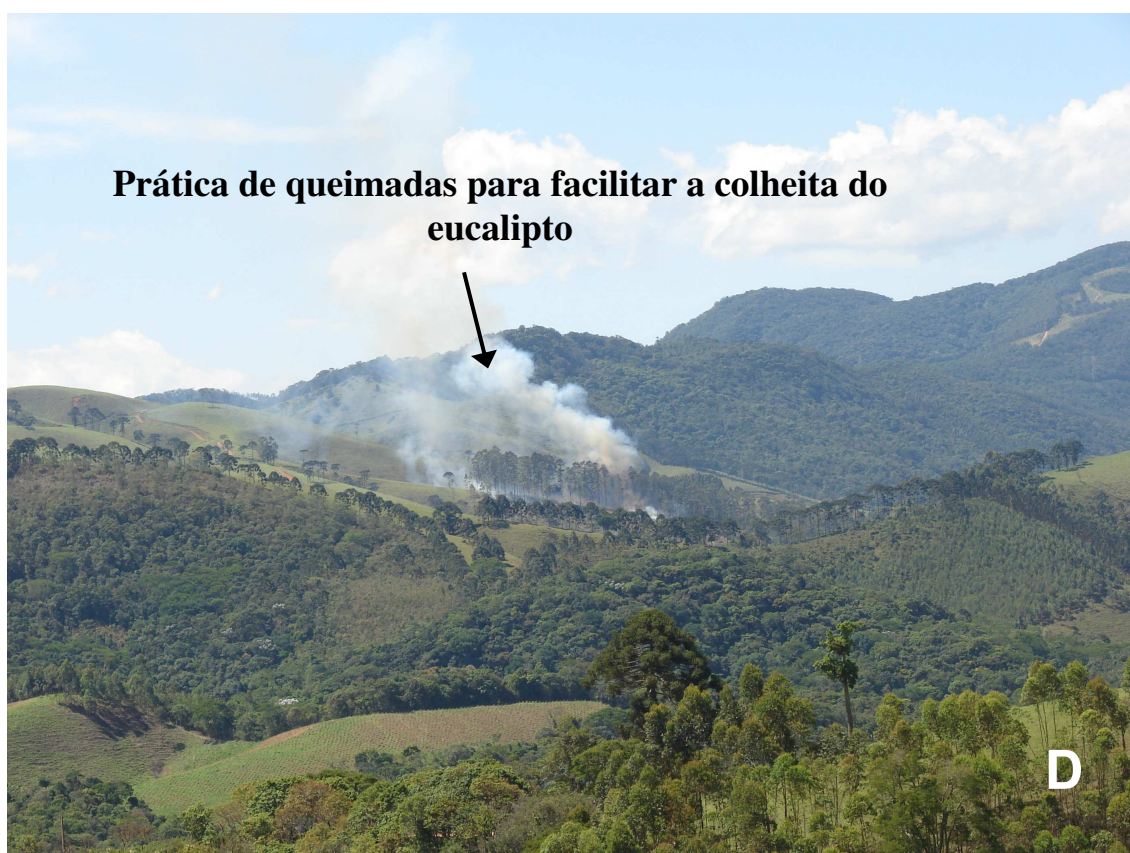


Figura 5.24: Fotos demonstrando as práticas adotadas no cultivo de eucalipto. A foto **A** demonstra o tipo de plantio predominante na área de estudo, plantações em encostas íngremes com queimadas para facilitar o corte. A foto **B** demonstra o plantio de

eucalipto nos divisores de água. A foto **C** indica as práticas usuais no preparo de solo para a silvicultura na região. A foto **D** revela as práticas de queimada, atividade verificada em todas as partes da área de estudo.

Assim, as classes de silvicultura e solo exposto (que provavelmente são áreas com silvicultura) foram classificadas como alto risco de produção de sedimentos. A pastagem foi considerada de médio risco e mata nativa e/ou secundária de baixo risco (Figura 5.25).

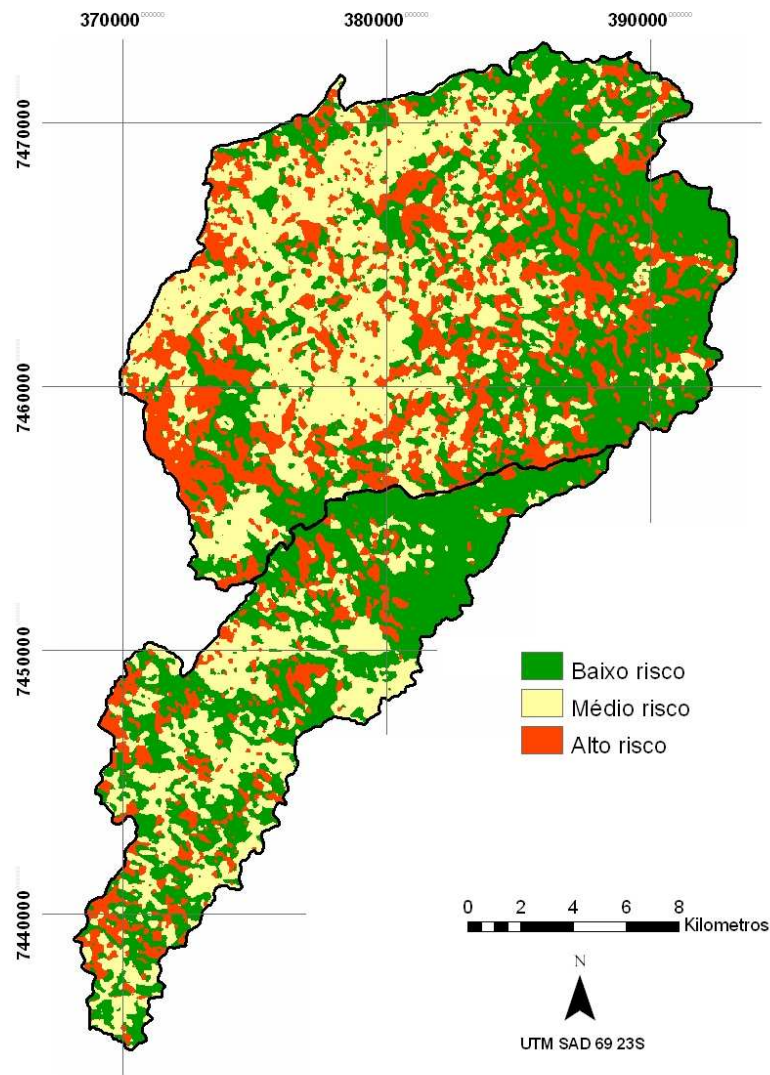


Figura 5.25: Mapa de uso e ocupação da terra classificado em alto, médio e baixo risco em relação à produção de sedimento em função dos procedimentos agrícolas da área de estudo.

Em relação aos riscos de uso e ocupação das terras na área de estudo, 29 % caracteriza-se como áreas de alto risco, enquanto 31 % encontra-se na classe de médio risco e 40% em áreas de baixo risco (Quadro 5.6). No entanto, as bacias se compotam

de forma diferenciada. Na bacia do Atibainha a porcentagem de mata nativa é maior que na bacia do Cachoeira.

Quadro 5.6: Relação em porcentagem das áreas de alto, médio e baixo risco para uso e ocupação da terra na área de estudo, na bacia do Atibainha e na bacia do Cachoeira

Risco	Área de estudo %	Bacia do Atibainha %	Bacia do Cachoeira %
Baixo	40	48	36
Médio	31	29	32
Alto	29	23	32
Áreas não classificadas	0	0	0
Total	100	100	100

Em relação aos riscos obtidos no cruzamento dos mapas de aptidão agrícola e uso e ocupação das terras, ou seja, o mapa de adequação de uso das terras para a área de estudo (Figura 5.26), apenas 21 % estão classificadas como áreas de alto risco. Na área de estudo, 79 % foram classificadas como áreas de baixo risco.

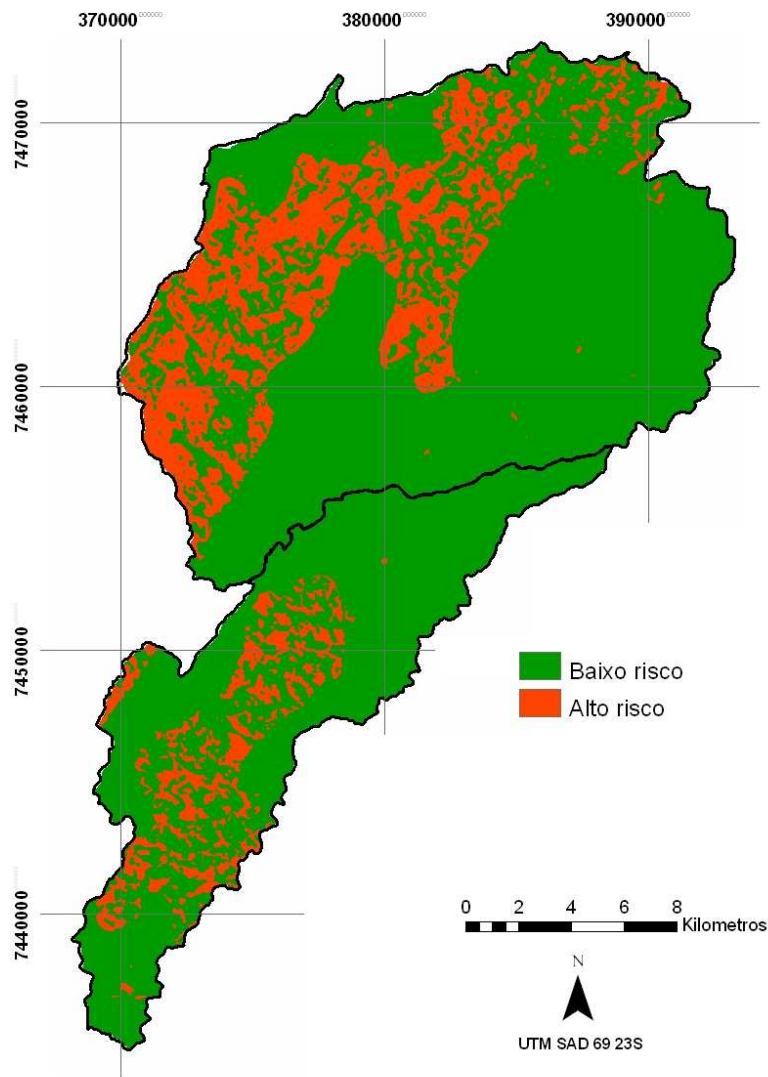


Figura 5.26: Mapa de classificação de áreas de alto e baixo risco em relação à adequabilidade de utilização da terra para a produção de sedimentos na área de estudo.

Os valores indicam que 79 % da área está tendo uma utilização, a princípio, adequada em relação à sua oferta ambiental. No entanto, mesmo que grande parte (79 %) da utilização das terras esteja adequada com sua aptidão agrícola, os procedimentos agrícolas na área são os maiores agravantes da situação da área de estudo. Considerar apenas o nível de manejo para identificar as áreas adequadas não foi suficiente para analisar as áreas de risco nas bacias de estudo. O fato da área ser apta para reflorestamento também significa a utilização de técnicas adequadas de práticas agrícolas, caso contrário, a área passa a ser considerada de alto risco, como é o caso da área de estudo.

Em relação à distribuição espacial na área de estudo (Quadro 5.7), a bacia do Cachoeira apresenta 24 % de áreas de alto risco em relação à adequação do uso das

terras e a bacia do Atibainha apresenta 15 % do total de sua área. Os valores indicam que a bacia do Cachoeira apresenta 9% a mais de áreas com alto risco, no entanto, as bacias se comportam de forma muito similar, sendo, portanto, considerado um valor baixo para priorizar uma bacia em relação à outra.

Quadro 5.7: Distribuição das classes de alto, e baixo risco para adequação do uso da terra e respectivas porcentagens na área de estudo e na bacias do Atibainha e Cachoeira.

Risco	Área de estudo %	Bacia do Atibainha %	Bacia do Cachoeira %
Baixo	79	85	76
Alto	21	15	24
Total	100	100	100

Em relação à terceira e última etapa deste trabalho, o resultado dos cruzamentos dos planos de informação (Figura 5.27) visando identificar as áreas de risco em relação à produção de sedimentos foi o mapa final do modelo com suas respectivas ocorrências na área de estudo (Figura 5.28).

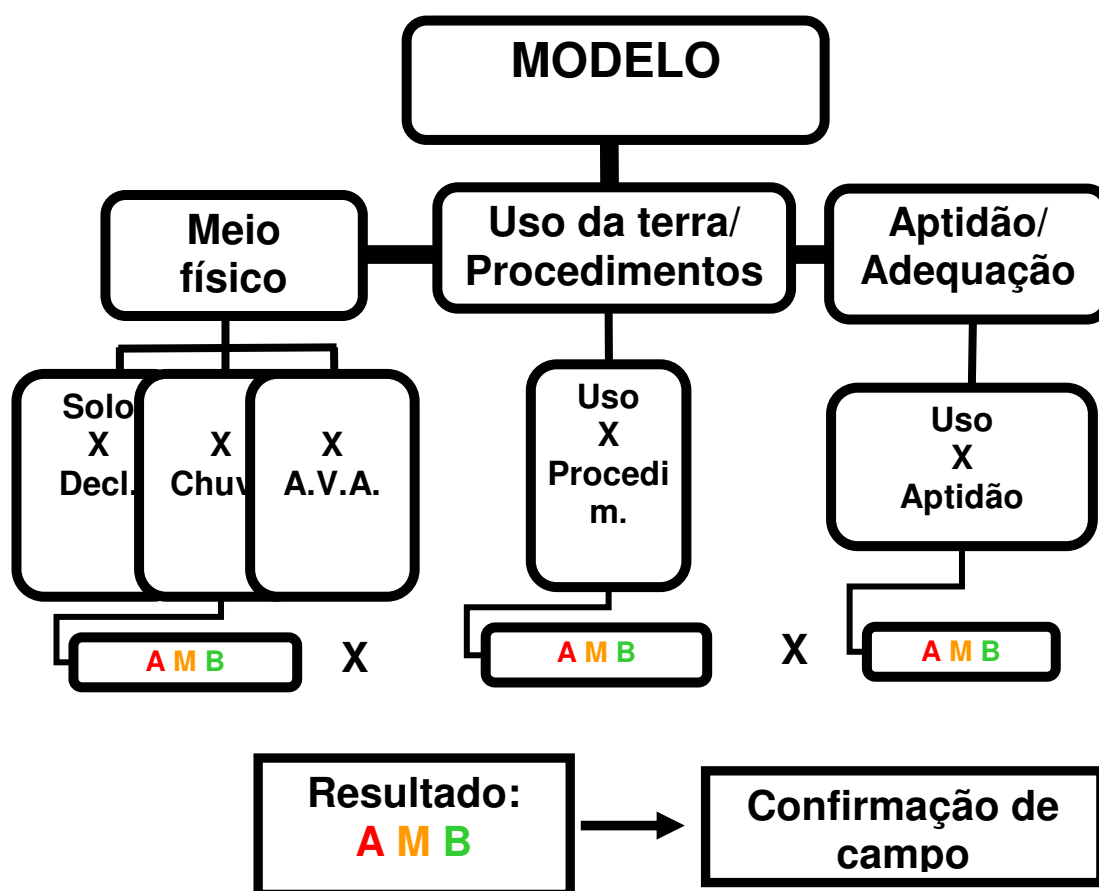


Figura 5.27: Fluxograma com as etapas da construção do modelo de áreas com potencial para a produção de sedimentos.

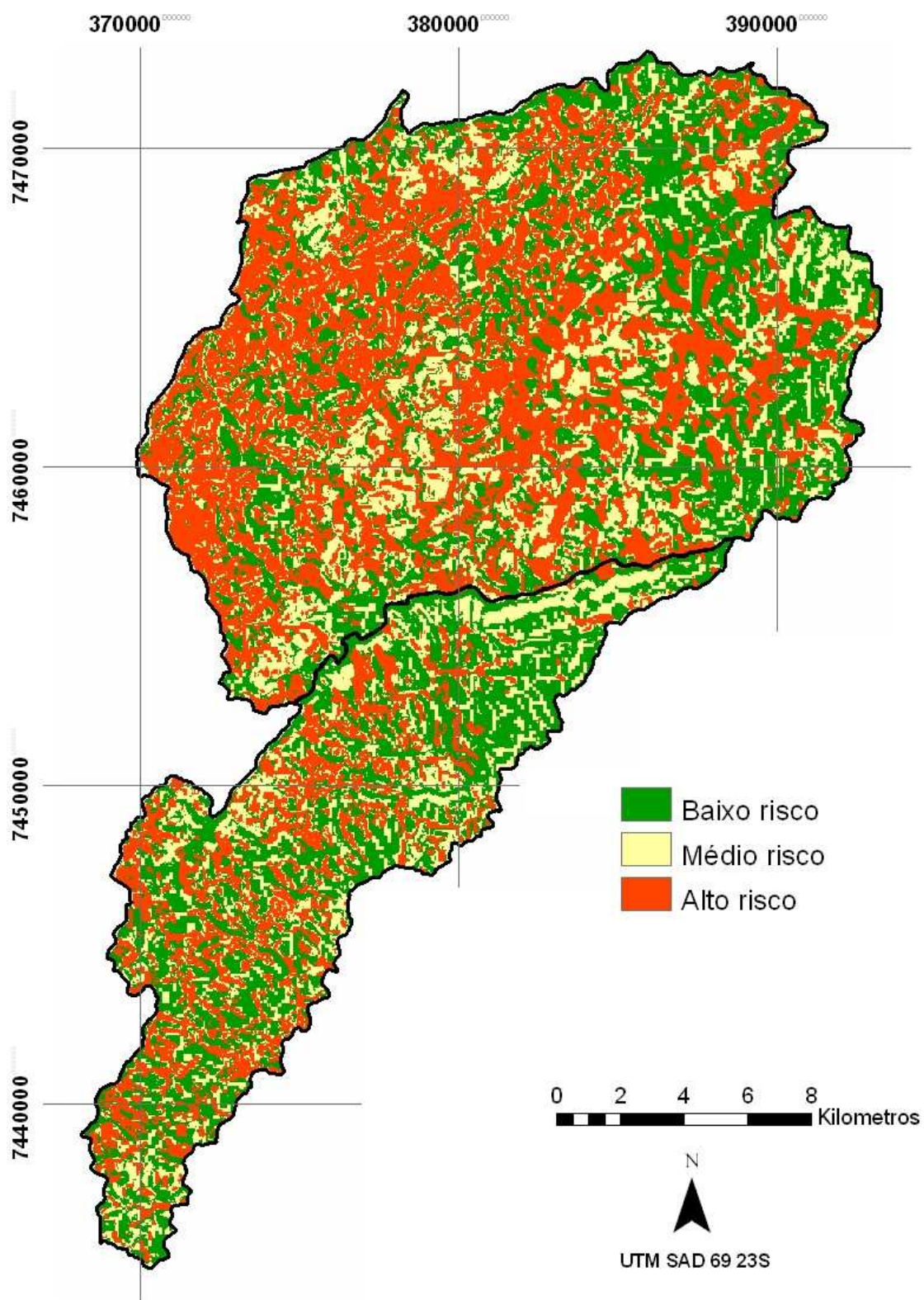


Figura 5.28: Mapa de áreas de risco em relação à produção de sedimentos na bacia do Atibainha e na bacia do Cachoeira a montante das barragens.

Em relação à distribuição das áreas de risco na área de estudo (quadro 5.8), 35 % está classificada em áreas de baixo risco, 24 % de médio risco e 41 % enquadra-se na categoria de alto risco em relação à produção de sedimentos.

Nas bacias de estudo, proporcionalmente, a bacia do Cachoeira apresenta maior área de risco em relação à bacia do Atibainha. No entanto essa diferença não é significativa, pois as áreas se comportaram de forma similar, gerando diferenças pouco significativas na distribuição das áreas de alto, médio e baixo risco em relação à produção de sedimentos.

Quadro 5.8: Relação em porcentagem das áreas de alto, médio e baixo risco em relação à produção de sedimentos na área de estudo, na bacia do Atibainha e na bacia do Cachoeira.

Risco	Área de estudo	Bacia do Atibainha	Bacia do Cachoeira
	%		
Baixo	35	44	32
Médio	24	26	24
Alto	41	30	44
Áreas não classificadas	0	0	0
Total	100	100	100

Nas áreas de alto risco, predominam as áreas de fundo de vale, ocorrendo algumas manchas nos topos de morro mais íngremes, pois nessas áreas ocorre os solos mais susceptíveis, tais como os argissolos e cambissolos.

Brandão (2001) identificou áreas críticas em relação à degradação dos recursos hídricos na bacia do ribeirão Pinhal/SP, na região de Limeira/SP com metodologia similar à este trabalho: considerando o meio físico, uso da terra, manejo e aptidão. Apesar da área de Brandão (2001) ter um uso da terra, nível de manejo e características físicas bem diferenciadas, os resultados deste trabalho se assemelharam muito com os resultados de Brandão (2001).

No ribeirão do Pinhal predominam as atividades de citricultura e cana de açúcar, e mais de 40 % da área possui aptidão para lavouras de ciclo curto ou longo. Na na área das bacias do Atibainha e Cachoeira, 53 % da área possui aptidão para reflorestamentos e 27 % consiste em áreas sem aptidão agrícola.

No entanto, as áreas de alto risco para degradação dos recursos hídricos no trabalho de Brandão (2001) e para a potencialidade para a produção de sedimentos apresentada neste trabalho, possuem características semelhantes: ambas estão localizadas predominantemente nos fundos de vale.

Batalha (2006) identificou áreas com expectativa de risco de degradação dos recursos hídricos na bacia do rio Jundiaí Mirim utilizando metodologia similar à este trabalho: o autor considerou o meio físico, manejo e aptidão agrícola. Os resultados de Batalha em relação à aptidão agrícola (baseada na metodologia de Ramalho Filho (1995)) para a bacia do rio Jundiaí Mirim foram semelhantes aos da bacia do rio Cachoeira e Atibainha: 65 % da área do rio Jundiaí Mirim possui aptidão para pastagem plantada e reflorestamento. As atividades na bacia também são similares: no rio Jundiaí Mirim 26 % da área consiste em mata nativa, 26 % pastagem e 15 % reflorestamento.

As áreas de maior risco encontradas por Batalha (2006) consistem em 41 % da área total da bacia e encontram-se nas áreas do centro em direção à jusante da bacia. As áreas de baixo risco encontram-se ao longo do curso d'água e reservatórios.

Percebe-se uma diferença em relação à localização das áreas de risco entre os trabalhos apresentados nesta discussão. Nas bacias do Atibainha, do Cachoeira e do Pinhal as áreas de risco encontram-se nas áreas de fundos de vale. Já na bacia do Jundiaí Mirim, segundo Batalha (2006), as áreas de fundo de vale são classificadas como baixo risco de degradação. Esta diferença pode estar relacionada aos tipos de uso das terras em cada bacia e ao fato da existência de um reservatório de água na bacia do rio Jundiaí Mirim, que foi considerado por Batalha (2006) como parte das áreas de expectativa de risco.

No entanto, Batalha (2006) ao cruzar o plano de expectativa de risco com as áreas de acumulação de água (área variável de afluência), identifica que 90% das áreas de acumulação de água estavam classificadas como áreas de alto risco. Isto revela um problema de escala nas análises. Pois, as áreas de acumulação de água localizam-se, predominantemente, nas áreas de fundo de vale.

O ideal para estudos de identificação de áreas de risco em relação aos recursos hídricos seria retirar os cursos d'água representativos da área, assim como o trabalho de Sivertun (2003). Visando evitar possíveis distorções nos resultados, Sivertun et al (2003) aplicaram uma máscara nos cursos d'água. Neste trabalho, as pequenas represas presentes na região foram consideradas áreas não classificadas para a elaboração do modelo de potencial para a produção e sedimentos, justamente para que não ocorresse uma superestimação das áreas classificadas.

Tavares et al (2003), utilizou metodologia similar à este trabalho (integrando no SIG os planos de uso da terra, declividade e risco de erosão) para avaliar as expectativas

de risco de degradação dos recursos hídricos nas áreas de preservação permanente (APP) na bacia do rio Jundiaí-Mirim.

Tavares et al (2003) identificaram que, dentro das APP's, 30 % da área estão classificadas como alto risco. E, considerando que as áreas de APP são definidas como áreas de faixa filtro (sob condição de vegetação ciliar as APP's atuam como agente de controle e de redução das fontes de poluição difusa nos cursos d'água), sob alto risco de erosão são as maiores responsáveis pela degradação dos recursos hídricos. Assim, para os autores, as áreas de alto risco das APP's, desprovidas de mata ciliar, são também as áreas maior risco para toda a bacia do rio Jundiaí Mirim em relação à degradação dos recursos hídricos.

Dentro deste contexto, os resultados do presente trabalho alcançaram resultados coerentes em relação à outros estudos similares, ou seja, as áreas de maior risco em relação à produção de sedimentos se localizaram, predominantemente, nas áreas de fundo de vale. No entanto, a comparação dos resultados deste trabalho só é possível a partir da identificação visual e interpretação de onde estão localizadas as áreas de alto risco em cada estudo. A comparação dos resultados finais deste trabalho com outros trabalhos já desenvolvidos utilizando metodologias similares torna-se impraticável, pois cada área analisada possui uma dinâmica muito particular. E, o cruzamento dos planos assim como as interpretações entre o que representa alto, médio e baixo risco são peculiaridades de cada área e de cada autor. A simples comparação entre o quanto existe de alto, médio e baixo risco em cada área de estudo torna-se limitada e ineficiente.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de identificação de áreas com potencial para a produção de sedimentos nas bacias dos rios Cachoeira e Atibainha, a montante das barragens do sistema Cantareira de abastecimento de água, baseada nos planos de informação do meio físico, procedimento e adequação do uso das terras em ambiente de SIG, realizou-se em meio a dificuldades que merecem algumas considerações.

Tendo em vista o relevo acidentado e a intensidade do ciclo de corte na atividade de silvicultura na área de estudo, as imagens do sensor Landsat apresentaram limitações para a classificação de uso e ocupação da terra. Foi necessário, portanto, o desenvolvimento de metodologia alternativa para aprimorar os resultados esperados em relação a esta classificação.

A localização dos dados de chuva também se apresentou limitada para a área de estudo: os postos pluviométricos disponíveis localizam-se em pontos muito distantes das bacias hidrográficas analisadas, existindo apenas 1 posto pluviométrico dentro da área. O ideal para a área seria, pelo menos, a existência de dois postos dentro de cada bacia hidrográfica para identificar a distribuição das intensidades de chuvas.

A substituição do comprimento de rampa pelas áreas de acumulação de água (A.VA.), aparentemente, não apresentou distorções nos resultados. Ao contrário, mostrou-se uma metodologia alternativa para o cálculo de comprimento de rampa.

A escala do mapa com as classes de solo (1: 500 000) também limitou a análise. O ideal seria, no mínimo, um mapa de solos na escala de 1: 50 000.

Mesmo com inúmeras limitações em relação à escala dos produtos utilizados e à indisponibilidade de dados mais detalhados da área de estudo, os resultados permitiram identificar as áreas de risco em relação à produção de sedimentos.

A identificação das áreas de risco para as bacias do Atibainha e Cachoeira demonstrou não haver grandes diferenças entre uma bacia e outra. Elas se comportam de maneira muito similar, de forma que não exigem a necessidade de um tratamento diferenciado quanto à prioridade de medidas conservacionistas.

As áreas de risco com potencial para a produção de sedimentos identificadas neste modelo não foram determinadas por nenhuma variável utilizada, ou seja, nas áreas de alto risco, verificou-se a presença de todos os tipos de solo, em diversas declividades e intensidades de chuva. Embora as áreas de alto risco distribuam-se preferencialmente nos de fundo de vale, as relações entre as variáveis é que determinaram o grau de risco.

Quanto à metodologia para se produzir o modelo, mesmo com as limitações das informações disponíveis, os resultados apresentaram-se coerentes com trabalhos que utilizavam metodologia similar. Nos trabalhos analisados, as áreas de alto risco também se localizam, preferencialmente, nas áreas de fundo de vale e, portanto, são áreas que apresentam solos mais frágeis e declividades mais acentuadas.

Assim, pode-se afirmar que os resultados deste trabalho corresponderam aos objetivos. Fornecendo um primeiro olhar sobre a condição atual das bacias de estudo, indicam, num primeiro momento, áreas prioritárias de planejamento conservacionista em função da realidade sócio-econômica-ambiental e, num segundo momento, podem ser utilizados para subsidiar estudos nessa área.

Conclui-se este trabalho com uma consideração sobre a importância de se dar continuidade à análise das áreas de risco em relação à produção de sedimentos, incluindo-se outros fatores que influenciam os processos erosivos, como o mapeamento geológico e geomorfológico detalhado (para identificar os tipos de processos erosivos) e outros tipos de ações antrópicas, como as estradas. Tendo em vista que a silvicultura na área vem apresentando tendência de expansão, seria importante, por exemplo, mapear as novas redes de estradas que normalmente surgem neste tipo de atividade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. B.; DOMINGUES, J. M. L. **Modelagem da produção de sedimento na bacia hidrográfica do rio Jequiriçá-BA – Implicações para a evolução da zona costeira.** Anais da X ABEQUA. Disponível em:

http://www.abequa2005.geologia.ufrj.br/nukleo/pdfs/0098_abequa_final.pdf. Acesso em: 05 jan. 2007

ASPINALL, R.; PEARSON, D. 2000. **Integrated Geographical Assessment of Environmental Condition in Water Catchments: Linking Landscape Ecology, Environmental Modelling and GIS.** Journal of Environmental Management, volume 59: p. 299 – 319. 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 15 out. 2005.

BATALHA, R. M. P. **Expectativa de risco de degradação dos recursos hídricos na bacia do rio Jundiá Mirim.** Campinas. Dissertação de Mestrado, UNICAMP.2006.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.. **Conservação do Solo.** São Paulo: Ícone, 4º Ed: 1999. 355p.

BORESJÖ, L.. **Mapping Boreal Vegetation Using Landsat TM and Topographic Map Data in a Stratified Approach.** Canadian Journal of Remote Sensing. Volume 25 (5). 1999. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 11 nov. 2006.

BRANDÃO, D. **Risco de Degradação dos Recursos Hídricos na bacia do ribeirão Pinhal - Limeira (Sp): Uma Proposta Metodológica.** Campinas. Dissertação de Mestrado, UNICAMP.2001. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000235348>>. Acesso em: 27 jun. 2005.

BURROUGH, P. A.. **Principles of Geographical Information System for Land Resources Assesment.** Claredom Press, London. 1986. 193p.

CÂMARA, C. D.; LIMA, W. P.; ZÁKIA, M. J. B. **Critérios e Indicadores Hidrológicos de monitoramento em microbacias.** In: LIMA, W. P.; ZÁKIA, M. J. B. As Florestas Plantadas e a Água – Implementando o conceito da microbacias hidrográfica como unidade de planejamento.– Editora RiMa. São Carlos, 2006. 226p.

CÂMARA, G. MEDEIROS, J. S. **Princípios Básicos de Geoprocessamento.** In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed), Sistemas de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura. SPI/EMBRAPA – CPAC. 1998. 434p.

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J.. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object – oriented data modelling.** Computers & Graphics, Volume 20(3): p. 395-403. 1996. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/spring.pdf>>. Acesso em: 10 mar 2006.

CHRISTOFOLETTI, A.. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** Editora Edgard Blücher. 1999. 236p.

DUNNE, T.. **Sediment Yield and Land Use in Tropical Catchments**. Journal of Hydrology. 1979. Volume 42: 281 – 300.

FORMAN, R. T. T; ALEXANDER, L. E.. **Roads and their major ecological effects**. **Annual Review of Ecology and Systematics**. 1998. Volume 29: p. 207-231.
Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 8 fev. 2006.

GARCIA, G. J.; ESPÍNDOLA, C. R. SIAT – Sistemas de Avaliação de Terras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, volume 5, n. 2, p. 223 – 228, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB 2001. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br>. Acesso em: 3 jan. 2007.

GRAINGER, A.. **Controlling tropical deforestation**. 1º ed. London. Editora Earthscan. 1993. 310p.

GRIFFITHS, P.G.; HEREFORD, R.; AND WEBB, R.H.. **Sediment yield and runoff frequency of small drainage basins in the Mojave Desert, California and Nevada**. U.S. Geological Survey Fact Sheet 2006-2007, 4p. Disponível em: <<http://water.usgs.gov/nrp/proj.bib/Publications/list2006.html>>. Acesso em 12 mai 2006.

GRUPO TÉCNICO DO CANTAREIRA. 2004. GT-Cantareira: **Relatório sobre a outorga do Sistema Cantareira**. Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/GT-Cantareira/Relatorio_GT-Cantareira_Versao_06-05-04.pdf>. Acesso em 16 maio 2006.

GUERRA, A. J. T. **Experimentos e Monitoramentos em Erosão dos Solos**. São Paulo, Revista do Departamento de Geografia, 2005. Volume 16: p. 32-37. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_16/Antonio_Jos%C3%A9_Teixeira_Guerra.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2006.

HADLEY, R. F. **Measuring and predicting soil erosion**. In: Erosion and Sediment Yield: Some methods of measuring and modeling. Geo Books, 1984. 218p.

HORTON, R. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative Geomorphology**. Geol.Soc.Am.Bull. 1945. Volume 56: p. 275-370.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LIMA, W. P.; ZÁKIA M. J. B. **O Papel do Ecossistema Ripário**. In: LIMA, W. P., ZÁKIA, M. J. B. As Florestas Plantadas e a Água – Implementando o conceito da microbacias hidrográfica como unidade de planejamento.– São Carlos, Editora RiMa. 2006. 226p.

LIMA, W. P.; ZÁKIA M. J. B.; CÂMARA, C. D.. **Implicações da colheita florestal e do preparo do solo na erosão e assoreamento de bacias hidrográficas**. In. GONÇALVES, J. L. M., STAPE, J. L. (Ed) Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. IPEF, 2002. 498p.

MOREIRA, M. A. 2004. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2ª edição. Editora UFV – Universidade Federal de Viçosa: 307p.

NOVO, E. M. L. M. 1992. **Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações**. 2ª Edição. Edgard Blücher: 308p.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. 1999. **Mapa de Solos do Estado de São Paulo**. Embrapa/IAC.

OSMOND, D.L. D.E.; LINE, J.A.; GALE, R.W.; GANNON, C.B.; KNOTT, K.A.; BARTENHAGEN, M.H.; TURNER, S.W.; COFFEY, J.; SPOONER, J.; WELLS, J.C.; WALKER, L.L.; HARGROVE, M.A.; FOSTER, P.D.; ROBILLARD, AND D.W. LEHNING.1995. **Watersheds: Water, Soil And Hydro-Environmental Decision Support System**. Disponível em: <<http://h2osparc.wq.ncsu.edu>>. Acesso em: 15 set 2006.

PCJ. COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. 2004. **Relatório Final - Relatório da Situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí – 2002/2003**. Volume I CD ROM.

PONZONI, F. J. 2002. **Comportamento Espectral da Vegetação**. In MENESSES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. (orgs.) Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais. UnB e Embrapa Cerrados: 262p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PIRACAIA. 2005. **Plano Plurianual 2005 – 2008**. Prefeitura municipal de Piracicaba.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação de Aptidão Agrícola das terras**. 3ª edição revisada. Rio de Janeiro: EMBRAPA - CNPS, 1994.

REIS, M. H.; GRIEBELER, N. P.; SOUZA, P. T. M.; RABELO, M. W. O. **Maapeamento de áreas de risco à ocorrência da erosão hídrica no Sudoeste Goiano com base na distribuição espacial de chuvas intensas**. Anais do 1º Simpósio de geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil. 11 15 nov 2006. Embrapa Informática agropecuária/INPE, p. 219 – 228. Disponível em: <http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2006/12.12.12.44/doc/p93.pdf> Acesso em: 05 jan. 2007.

SABESP - **Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo**. Disponível em <http://www.sabesp.com.br>.

SAIZ, C. D. C. **Aplicação do modelo da equação universal de perdas de solo através de dados TM – Landsat e geoprocessamento, como suporte ao planejamento conservacionista**. Dissertação de mestrado – INPE, São José dos Campos, 1996.

SIVERTUN, A.; PRANGE, L. **Non-point source critical area analysis in the Gisselö watershed using GIS**. Environmetal Modelling & Software 18 (2003) 887 – 898. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em 20 dez. 2006.

SPADONI, M. 2006. Geochemical mapping using a geomorphologic approach based on catchments. **Journal of Geochemical Exploration**. 04304: 1-14. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jgeoexp>>. Acesso em 12 de agosto de 2006.

TAVARES, A. C. F.; MORAES, J. F. L.; ADAMI, S. F.; LOMBARDI NETO, F.; VALERIANO, M. M. Expectativa de degradação dos recursos hídricos em microbacias hidrográficas com auxílio de sistemas de informação geográfica. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, volume 25 n. 2 p. 417 – 424, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Organizado por Tucci, C. E. M. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993. Coleção ABRH de Recursos Hídricos; V. 4. 1ª edição.

UNESCO. **Água uma crise de governança**. 2006. Disponível em: <<http://www.unesco.org.br>>. Acesso em 23 dez 2006.

ZAKIA, M. J. B.; FERRAZ, F. F. B.; RIGHETTO, A. M.; LIMA, W. P. **Delimitação da Zona Ripária em uma Microbacia**. In: LIMA, W. P., ZÁKIA, M. J. B. As Florestas Plantadas e a Água – Implementando o conceito da microbacias hidrográfica como unidade de planejamento.– São Carlos, RiMa: 226p.

ANEXO 1

Postos Corrigidos	Equação da linha de tendência do gráfico de correlação entre a base acumulada (X) e os valores acumulados do posto a ser completado (Y).
Batatuba	$Y = 0.963 * X$
Guirra	$Y = 1.2105 * X$
Ribeirão Acima	$Y = 1.1716 * X$
Monte Claro	$Y = 1.0487 * X$
Piracaia	$Y = 1.0386 * X$
São Francisco Xavier	$Y = 1.3451 * X$
Fazenda Bonfim	$Y = 1.3169 * X$

Tabela 1: Equações utilizadas no processo de complementação de dados anuais dos postos pluviométricos que apresentavam falhas.

	Batatuba	Guirra	Ribeirão Acima	Represa Monte Claro	Piracaia	São Fsc Xavier	Fzda Bonfim
J	$Y=0.9617X$	$Y=1.2682X$	$Y=1.1636X$	$Y=1.0517X$	$Y=1.1028X$	$Y=1.4191X$	$Y=1.423X$
F	$Y=0.9753X$	$Y=1.2479X$	$Y=1.2041X$	$Y=1.0554X$	$Y=1.0479X$	$Y=1.3513X$	$Y=1.2842X$
M	$Y=0.9061X$	$Y=1.4225X$	$Y=1.1031X$	$Y=1.0877X$	$Y=1.0117X$	$Y=1.5833X$	$Y=1.4897X$
A	$Y=1.0407X$	$Y=1.2518X$	$Y=1.1953X$	$Y=1.239X$	$Y=1.0319X$	$Y=1.4591X$	$Y=1.3552X$
M	$Y=1.0466X$	$Y=1.0784X$	$Y=1.286X$	$Y=1.0104X$	$Y=1.0868X$	$Y=1.1135X$	$Y=1.2565X$
J	$Y=0.9755X$	$Y=1.1178X$	$Y=1.1669X$	$Y=1.0545X$	$Y=1.0646X$	$Y=1.0989X$	$Y=1.182X$
J	$Y=1.0726X$	$Y=1.0899X$	$Y=1.4214X$	$Y=1.0686X$	$Y=1.0268X$	$Y=1.1527X$	$Y=1.3329X$
A	$Y=1.0441X$	$Y=1.1632X$	$Y=1.3042X$	$Y=0.9449X$	$Y=0.9972X$	$Y=1.1975X$	$Y=1.4188X$
S	$Y=0.9772X$	$Y=1.1512X$	$Y=1.1279X$	$Y=0.9453X$	$Y=1.0598X$	$Y=1.1316X$	$Y=1.243X$
O	$Y=0.9379X$	$Y=1.1592X$	$Y=1.1344X$	$Y=0.9818X$	$Y=0.9695X$	$Y=1.3367X$	$Y=1.3446X$
N	$Y=0.8862X$	$Y=1.1408X$	$Y=1.1172X$	$Y=0.9985X$	$Y=1.0436X$	$Y=1.3285X$	$Y=1.2293X$
D	$Y=0.9795X$	$Y=1.1441X$	$Y=1.201X$	$Y=1.0782X$	$Y=1.0297X$	$Y=1.3589X$	$Y=1.3589X$

Tabela 2: Equações utilizadas no processo de complementação de dados mensais dos postos pluviométricos que apresentavam falhas anuais.

ANEXO 2

Questionário sócio-ambiental das bacias a montante dos reservatórios de Atibainha e Cachoeira

Identificação: _____

Data: ____ / ____ / 2006.

Nome Da Propriedade: _____

Nome do entrevistado: _____

Profissão: _____

Residência: _____

Tel: _____

Localização Geográfica da propriedade: Lat _____

Long _____

Número do Ponto(GPS) _____

1. Área total da propriedade (ha) (AT): _____

2. CULTURAS:

Eucalipto: SIM ()

NÃO ()

<i>Área</i>	<i>Finalidade celulose (c) lenha (l) carvão (car)</i>	<i>Ciclo</i>	<i>Corte mecânico(me) manual (ma)</i>	<i>Transporte</i>	<i>Insumos agrícolas</i>	<i>Outros</i>

Pastagens:

<i>Área</i>	<i>Finalidade corte (c) / leite (l)</i>	<i>Insumos Agrícolas</i>	<i>outros</i>

Outras:

<i>Cultura</i>	<i>Área</i>	<i>Finalidade consumo (co)</i>	<i>Insumos Agrícolas</i>

<i>Cultura</i>	<i>Área</i>	<i>Finalidade consumo (co)</i>	<i>Insumos Agrícolas</i>

3.Existe alguma área degradada na propriedade?

Sim () Não ()

Causa

Controle

4.Tem área de mata natural

Sim () Não ()

5.Forma de manutenção das nascentes de água:

6.As embalagens de agrotóxicos são descartadas de que forma?

7.Recebe assistência técnica? Sim () Não ()

Programada () Demanda ()

8.Manutenção dos equipamentos agrícolas:

ANEXO 3

Quadro 1: Valores de mínima, máxima, desvio padrão, amplitude e intervalos de classes definidos a partir do desvio padrão para cada mapa de chuvas (anual e mensal).

	Anual	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<i>Mín</i>	1558	1558	1558	1558	1558	1558	1558	1558	1558	1558	1558	1558	1558
<i>Máx</i>	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980
<i>SD</i>	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
<i>Amplitude</i>	422	422	422	422	422	422	422	422	422	422	422	422	422
<i>Classes/mm</i>	1558 – 1713	1558 – 1713	1558 – 1713	1558 – 1713	1558 – 1713	1558 – 1713	1558 – 1713	1558 – 1713	1558 – 1713	1558 – 1713	1558 – 1713	1558 – 1713	1558 – 1713
	1713 – 1826	1713 – 1826	1713 – 1826	1713 – 1826	1713 – 1826	1713 – 1826	1713 – 1826	1713 – 1826	1713 – 1826	1713 – 1826	1713 – 1826	1713 – 1826	1713 – 1826
	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980
	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980
	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980	1826 – 1980

ANEXO 4

Quadro1: Relação de pesos para cada plano de informação utilizados na elaboração do modelo para identificar as áreas com potencial para a produção de sedimentos.

PESOS							
MEIO FÍSICO							
Classes de declividade	Risco	Classes de solo	Risco	Classes de chuva	Risco	Classes A.V.A.	Risco
0 a 8 %	BAIXO	Latossolo	BAIXO	1558 – 1713 mm/a	BAIXO	Restante	BAIXO
8 a 32.5%	MÉDIO	Argissolo	MÉDIO	1713 – 1826 mm/a	MÉDIO	-	-
> 32.5%	ALTO	Cambissolo	ALTO	1826 - 1980 mm/a	ALTO	A.V.A	ALTO
PROCEDIMENTO		Risco	-				
Mata nativa/secundária		BAIXO					
Pastagem plantada		MÉDIO					
Silvicultura e solo exposto		ALTO					
ADEQUAÇÃO / APTIDÃO		Risco	-				
Áreas sub utilizadas		BAIXO					
Áreas adequadas		BAIXO					
Áreas sobre utilizadas		ALTO					

Quadro 2: Cruzamentos meio físico

MEIO FÍSICO					
Declividades x Solos	RESULTADO 1	Resultado 1 X Chuva	RESULTADO 2	Resultado 2 X A.V.A	RESULTADO 3 (MEIO FÍSICO)
BAIXO X BAIXO	BAIXO	BAIXO X BAIXO	BAIXO	BAIXO X BAIXO	BAIXO
MÉDIO X BAIXO	MÉDIO	MÉDIO X BAIXO	MÉDIO	MÉDIO X BAIXO	MÉDIO
ALTO X BAIXO	ALTO	ALTO X BAIXO	ALTO	ALTO X BAIXO	ALTO
BAIXO X MÉDIO	BAIXO	BAIXO X MÉDIO	BAIXO	BAIXO X ALTO	ALTO
MÉDIO X MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO X MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO X ALTO	ALTO
ALTO X MÉDIO	ALTO	ALTO X MÉDIO	ALTO	ALTO X ALTO	ALTO
BAIXO X ALTO	BAIXO	BAIXO X ALTO	MÉDIO	-	
MÉDIO X ALTO	MÉDIO	MÉDIO X ALTO	MÉDIO		
ALTO X ALTO	ALTO	ALTO X ALTO	ALTO		

QUADRO 3: Cruzamentos meio físico, procedimentos e adequação em relação à aptidão agrícola

RESULTADO 3 x PROCEDIMENTO	RESULTADO 4	RESULTADO 4 x ADEQUAÇÃO	RESULTADO FINAL
BAIXO x BAIXO	BAIXO	BAIXO X BAIXO	BAIXO
MÉDIO x BAIXO	BAIXO	MÉDIO X BAIXO	MÉDIO
ALTO x BAIXO	MÉDIO	ALTO X BAIXO	ALTO
BAIXO x MÉDIO	BAIXO	BAIXO X ALTO	MÉDIO
MÉDIO x MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO X ALTO	ALTO
ALTO x MÉDIO	ALTO	ALTO X ALTO	ALTO
BAIXO x ALTO	BAIXO	-	-
MÉDIO x ALTO	ALTO	-	-
ALTO x ALTO	ALTO	-	-

ANEXO 5

Quadro 1: Relação dos postos pluviométricos em relação à disponibilidade de dados de chuva.

POSTOS	Média	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03
Batatuba	1461.74																														
Camand. 057	1513.18																														
Crioulos	1506.58																														
Fzd Bonfim	1998.93																														
Guirra	1837.42																														
Joanóp.	1573.96																														
Naz. Pta	1477.9																														
Piracaia	1576.49																														
Rep. Mte Claro	1591.83																														
Rib. Acima	1778.38																														
S. Fco Xavier	2041.74																														

	Dados completos
	Dados inexistentes