

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**ANÁLISE ESPACIAL DO USO E COBERTURA DO
SOLO NA MICROBACIA DO ARROIO FELISBERTO,
REGIÃO DA QUARTA COLÔNIA, RS**

MONOGRAFIA

Camila Paula Zanetti

Santa Maria, RS, Brasil

2012

**ANÁLISE ESPACIAL DO USO E COBERTURA DO SOLO NA
MICROBACIA DO ARROIO FELISBERTO,
REGIÃO DA QUARTA COLÔNIA, RS**

Camila Paula Zanetti

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geomática,
Área de Concentração em Tecnologia da Geoinformação,
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Especialista em Geomática.

Orientador: Prof. Dr. José Américo de Mello Filho

Santa Maria, RS, Brasil

2012

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Geomática.**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Monografia de especialização**

**ANÁLISE ESPACIAL DO USO E COBERTURA DO SOLO NA
MICROBACIA DO ARROIO FELISBERTO,
REGIÃO DA QUARTA COLÔNIA, RS**

elaborada por
Camila Paula Zanetti

como requisito parcial para obtenção do grau de
Especialista em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

José Américo de Mello Filho, Dr.
(Presidente/Orientador)

Claire Delfini Viana Cardoso, Dr. (UFSM)

Rosa Elaine Iensen, MSc. (UFSM)

Santa Maria, 29 de março de 2012.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de cursar de maneira gratuita, a Especialização oferecida pelo Programa de Pós Graduação em Geomática.

Ao Prof. Dr. José Américo de Mello Filho, pela orientação, paciência, dedicação e ensinamentos transmitidos durante a orientação deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Pedro Roberto Madruga e sua esposa, Adriana G. Salbego Madruga, pela atenção, contribuição e amizade, e por fornecer o material necessário para execução deste estudo.

Ao colega mestrando em geomática, Wagner Danton de B. Bilhalva pela paciência, dúvidas sanadas, e principalmente, ao amigo que ganhei.

À colega de especialização, Luciane B. Chami, pela amizade, apoio e ajuda de sempre.

Aos futuros Engenheiros Florestais, Débora Pasa, José Augusto Sapucaia e Ângela Hentz - estagiários do Labgeo - pela prestatividade.

Aos colegas do mestrado, Raquel Weiss e Thayse do Prado, pelos ensinamentos no ArcGis.

Ao amigo Kelen, pelas conversas, estímulo e conforto já há anos, de importância inestimável.

Aos meus pais Rudimar e Nairdes, e a minha irmã, Renata, pela dedicação e por compartilharem comigo esta realização.

À todos que de alguma forma contribuíram para a realização do Curso e desta monografia.

RESUMO

Monografia de Especialização
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria

ANÁLISE ESPACIAL DO USO DO SOLO NA MICROBACIA DO ARROIO FELISBERTO, REGIÃO DA QUARTA COLÔNIA, RS

AUTORA: CAMILA PAULA ZANETTI

ORIENTADOR: JOSÉ AMÉRICO DE MELLO FILHO

Local e Data da Defesa: Santa Maria, 29 de março de 2012.

Este trabalho se propôs a analisar o uso do solo na Microbacia do Arroio Felisberto – RS, utilizando-se de dados gerados por imagens de sensores de média resolução, oriundas de Sensoriamento Remoto e integradas em Sistemas Geográficos de Informação - SGI, que possibilitaram a análise espacial do local e a geração de mapas temáticos necessários às análises. Para tanto, foram utilizados dados pré-existentes e técnicas computacionais nas seguintes situações: a geração dos mapas base e temáticos (rede hidrográfica, classes de declividade, áreas de preservação permanente e áreas de conflito) deu-se através do aplicativo ArcGis-ArcInfo; para a obtenção da classificação digital das imagens de satélite CBERS 2B utilizou-se o aplicativo Spring, realizada no modo supervisionado com o classificador *Bhattacharya*. Entre os principais resultados, destaca-se a predominância da cobertura do solo pela classe agricultura, representando 47,50% (3.836,1097 ha) da área e a cobertura por florestas, representando 39,34%. A quantificação das APPs perfaz um total de 10,14% (819,2758 ha) de área da Microbacia. A partir dos dados de conflitos ambientais, constata-se que 62,22% das APPs estão situadas em áreas de florestas naturais; 32,17% estão conflitantes com a classe agricultura e 5,61% com a classe campo. A ocupação indevida de menos de 40% de áreas de APP, retrata que a área de estudo apresenta baixo nível de conflitos ambientais de uso do solo. O uso de técnicas de Sensoriamento Remoto integradas em SGI mostrou-se eficiente para o propósito deste trabalho, constituindo uma ferramenta fundamental para o planejamento do uso do solo em uma microbacia.

Palavras-chave: Sistemas Geográficos de Informação. Uso do solo. Conflitos ambientais. Microbacia.

ABSTRACT

Master Thesis
Program Graduate of Geomatic
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

SPATIAL ANALYSIS OF SOIL USE IN ARROIO FELISBERTO'S WATERSHED, QUARTA COLONIA REGION, RS

AUTHOR: CAMILA PAULA ZANETTI

ADVISER: JOSÉ AMÉRICO DE MELLO FILHO

Place and Date of Defense: Santa Maria, March 29th, 2012.

This report aimed to analyze the soil use of Arroio Felisberto's watershed, RS, utilizing data generated by medium resolution sensor images, coming from Remote Sensing and integrated into the Geographical Information Systems – GIS, which enables local spatial analysis and the production of thematic maps substantial to the analysis. Therefore, pre-existing data and computer techniques were applied in the following situations: the development of base and thematic maps (watershed network, descending slope classes, permanent preservation areas and areas of conflict) was possible through the ArcGis-ArcInfo application; to obtain the digital classification of the CBERS 2B satellite images, the Spring application was utilized, executed in supervised mode with *Bhattacharya* classifier. Within the main results, the predominance of soil coverage by the agricultural class stands out, representing 47,50% (3.836,1097 ha) of the area and forest coverage, representing 39,34%. The quantification of the APP completes a total of 10,14% (819,2758 ha) of the watershed area. From the environmental conflict data, it is proven that 62,22% of APP are situated in natural forest areas; 32,17% are conflicting with the agricultural class and 5,61% with the countryside class. The undue occupation of less than 40% of APP areas, shows that the field of study presents a low level environmental conflict of soil use. The application of Remote Sensing techniques integrated in GIS was shown efficient for the purpose of this report, establishing a fundamental tool for the planning of soil use in a watershed.

Key words: Geographical Information Systems. Soil use. Environmental conflict. Watershed.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Localização da Microbacia do Arroio Felisberto, Região da Quarta Colônia, RS, Brasil	35
---	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Resumo das características das câmaras do satélite CBERS 2B	30
TABELA 2 – Descrição das classes de declividades do solo	41
TABELA 3 – Quantificação das classes de declividades do solo	45
TABELA 4 – Quantificação das classes de uso do solo	48
TABELA 5 – Quantificação das áreas de conflitos ambientais	50

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Mapa de Hidrografia	64
APÊNDICE B – Mapa de Declividade	65
APÊNDICE C – Mapa de Uso do Solo	66
APÊNDICE D – Mapa das Áreas de Preservação Permanente	67
APÊNDICE E – Conflitos Uso do solo X Áreas de Preservação Permanente	68

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Legislação ambiental	13
2.2 Bacias hidrográficas	16
2.3 Uso e ocupação do solo	17
2.4 Geoprocessamento	19
2.5 Sistemas Geográficos de Informação – SGI	21
2.6 Sensoriamento remoto	24
2.6.1 Processamento digital de imagens	25
2.6.2 Satélite CBERS e aplicações	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 Caracterização geral e física da área	32
3.2 Aspectos gerais e econômicos	35
3.2.1 Município de Nova Palma	35
3.2.2 Município de Pinhal Grande	36
3.3 Materiais	37
3.3.1 Cartas topográficas	37
3.3.2 Imagens de satélite	38
3.3.3 Equipamentos e aplicativos computacionais	38
3.4 Metodologia	38
3.4.1 Elaboração da base de dados cartográficos	38
3.4.2 Elaboração de mapas base	40
3.4.2.1 Mapa hidrográfico	40
3.4.3 Elaboração de mapas temáticos	40
3.4.3.1 Mapa das classes de declividade	40
3.4.3.2 Mapa das áreas de preservação permanente	42
3.4.3.3 Mapa de uso do solo	43
3.4.3.4 Mapa das áreas de conflito	44
3.4.4 Edição final dos mapas	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 Mapas base	45
4.1.1 Rede hidrográfica	45
4.2 Mapas temáticos	45
4.2.1 Classes de declividade	45
4.2.2 Uso do solo	47
4.2.3 Áreas de Preservação Permanente	49
4.2.4 Conflitos uso do solo X áreas de preservação permanente	50
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
APÊNDICES	63

1 INTRODUÇÃO

A microbacia hidrográfica do Arroio Felisberto, alvo deste estudo, abrange áreas dos municípios de Pinhal Grande e de Nova Palma, situada na região da Quarta Colônia de Imigração, região incluída no processo marcante de colonização do Rio Grande do Sul. A região foi criada a partir de 1877, na região Centro-Oeste do Estado, com o objetivo de receber emigrantes do norte da Itália, principalmente da região de Venêto. Assim como ocorreu nas demais regiões do país, a ocupação das terras foi sempre incentivada pelo governo brasileiro, por meio do estímulo à exploração dos recursos naturais, sem preceitos preservacionistas ou mesmo conservacionistas.

Dessa forma, com a chegada dos colonizadores italianos, deu-se início ao processo de desenvolvimento da região, com a limpeza das áreas para o plantio e a extração seletiva de madeiras nobres, sob o modelo de produção baseado nas pequenas propriedades. Sendo assim, os morros e vales cobertos por vegetações exuberantes foram dando espaço às áreas de produção agrícola, promovendo o processo de fragmentação dos ecossistemas. Repetiu-se um processo já visto nas demais regiões do País, onde muitas áreas até então preservadas ou pouco utilizadas, com espaços pouco integrados à produção, passaram a sofrer intensas transformações em seus territórios e uma nova dinâmica econômica, resultando em reordenação territorial e alterações no arranjo espacial anteriormente existente, dando-lhes uma nova configuração identitária (MARION et al, 2005).

A relação entre a floresta e o processo de colonização, desde o início, foi sempre muito estreita, pois, precisamente nos locais que possuíam uma cobertura florestal nativa, foi onde se desenvolveu uma estrutura colonial, principalmente ao longo dos cursos d'água. Este processo de estabilização nos vales e morros promoveu a fragmentação da floresta exuberante e de extrema riqueza, no que diz respeito à biodiversidade.

As florestas, além do valor paisagístico, têm importância no sentido da melhoria da qualidade do ar, da água, do solo e dos seres vivos. Contribuem de forma vital para o equilíbrio dos ecossistemas do planeta, promovendo a diminuição de gases efeito de estufa, atuam como reguladoras do clima, agilizam o processo de ciclagem de nutrientes, além disso, previnem a erosão, melhorando o arejamento e a capacidade de retenção de água no solo através das raízes. Entre uma das ações mais importantes das matas, está a conservação dos recursos hídricos, na medida em que serve de filtro de impurezas, tais como herbicidas e

outros produtos agrotóxicos, e assim ajudam na manutenção da qualidade da água. Além disso, a manutenção das florestas assume a função de corredor de fluxo gênico ao longo da paisagem e, dessa forma, cumpre o atendimento às dimensões mínimas que garantam a auto-sustentabilidade.

A cobertura florestal que abrange a microbacia alvo desse estudo, refere-se às matas ciliares, existentes às margens dos cursos fluviais e das nascentes de água, tendo essa denominação independente do tipo e composição florística existente, assim, pode-se afirmar que “as matas ciliares ocupam as áreas mais dinâmicas da paisagem, tanto em termos hidrológicos, como ecológicos e geomorfológicos” (LIMA e ZAKIA, 2009).

Diante da importância da preservação dessas áreas, a legislação ambiental, mais especificamente a Lei Federal Nº 4.771 de 15 de setembro de 1965 (Código Florestal Brasileiro) estabelece as matas ciliares como Áreas de Preservação Permanente (APP), portanto, protegidas por lei. O mesmo código define APP como área “coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 1965).

Sendo assim, a mata ciliar, também conhecida como mata de galeria, mata de várzea ou floresta ripária, segundo o Código Florestal, deve-se manter intocada, e caso esteja degradada, deve-se prever a imediata recuperação (IGNÁCIO et al., 2007).

A preservação da mata ciliar é de suma importância para o nível de qualidade da água, pois proporciona a diminuição dos processos de erosão e assoreamento no leito e margem dos rios e o aumento da infiltração das águas provenientes das chuvas para o abastecimento dos lençóis freáticos (VESTENA e THOMAZ, 2006).

Apesar da importância, e de serem preservadas por lei, as matas ciliares vêm sendo alvo de pressões antrópicas, diante dos interesses conflitantes de uso e ocupação da terra, que ocasionam destruição ao longo dos cursos d'água para conversão das terras para fins agropecuários ou para exploração da madeira. Nesse sentido, a busca pelo equilíbrio entre crescimento econômico e a conservação ambiental, tornou clara a necessidade do aproveitamento dos recursos naturais e a ocupação do espaço de maneira planejada e integrada, dentro dos limites conservacionistas do meio (FOGIATO, 2006).

De acordo com Sporl (2007), uma das variáveis a serem examinadas é o uso da terra, pois é onde melhor se reflete a relação do homem com a natureza, sobretudo em relação às características do relevo e do solo. Assim, a importância de se conhecer as formas de uso da terra ocorrentes da região de interesse, também o seu monitoramento e o registro das

informações permitem a avaliação das potencialidades futuras e dos impactos produzidos por esses usos (PADILHA, 2008).

Problemas relacionados à forma de apropriação humana dos recursos naturais, em especial o uso do solo, constituem temática que necessita exclusivamente da representação cartográfica das variáveis de análise das questões relevantes aos mais diferentes temas (FILHO, 2007). Dessa forma, o mapeamento da cobertura e uso do solo faz-se necessário por permitir analisar a utilização dos recursos naturais, conhecer a evolução da ocupação de determinada área, planejar e quantificar os resultados e avaliar os impactos gerados.

O uso de geotecnologias, em que se incluem o estudo sobre imagens de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica (SIG), com aplicação de técnicas de geoprocessamento, constitui-se numa ferramenta de alto potencial para integração e análise de diferentes componentes de um sistema ambiental, permitindo avaliar, no espaço temporal, o uso dos recursos naturais, bem como realizar projeções dinâmicas do uso e cobertura da terra.

Num país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para as tomadas de decisão sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente por se basear em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente.

Neste estudo, foram utilizados dados gerados por imagens de sensores de média resolução, oriundas de Sensoriamento Remoto e integradas em SIG, que possibilitaram a análise espacial do atual uso do solo na microbacia do Arroio Felisberto, com o objetivo de analisar e quantificar as Áreas de Preservação Permanente, e gerar dados referentes aos conflitos de uso do solo presentes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Legislação ambiental

A legislação ambiental foi criada e é aperfeiçoada para que o meio ambiente seja protegido e os cidadãos possam exigir essa atitude do poder público e também de outros cidadãos. Foram instituídas leis para proteger ambientes frágeis ou especiais, pelas características e importância ecológica com intuito de garantir o direito de todos ao ambiente saudável e equilibrado (JACOVINE et al. 2008).

Para proteção e preservação das florestas e demais formas de vegetação, o Governo Federal editou por decreto o Código Florestal, em 1934, o qual recebeu o nº 23.793/34, que trazia já no primeiro artigo duas idéias básicas: que as florestas são bens de interesse comum a todos os habitantes do País e que, em relação a elas, o direito de propriedade é restringido (REZENDE, 2002). Posteriormente, por necessidade de aperfeiçoamento da legislação ambiental e adequação às condições de época, por meio da Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, o novo Código Florestal Brasileiro, ainda em vigor, foi estabelecido e traz conceitos sobre as Áreas de Preservação Permanente e a Reserva legal.

O Código Florestal rege que as matas ciliares são Áreas de Preservação Permanente, protegidas por Lei e definidas como áreas cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, o solo, e assegurar o bem-estar das populações humanas (SKORUPA, 2003). Ainda, esta avançada e criteriosa legislação (BRASIL, 1965) estabelece:

Art. 2º - Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

a) ao longo dos rios ou de outro qualquer curso d'água, em faixa marginal cuja largura mínima será:

1 - de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

2 - de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;

3 - de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura...

b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;

c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;

- d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;
- e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;
- f) [...];
- g) [...];
- h) [...].

Devido à falta de clareza da lei em relação à área do topo de morro que seria considerada de preservação permanente, esta seria a mínima que está determinada na própria lei, ou seja, trinta metros do cume da elevação. O entendimento é baseado na justificativa de que, não dizendo a lei área maior, teve menor preocupação com esta característica topográfica e é, portanto, autorizável o entendimento dos trinta metros (FELIPE, 2007).

Outras legislações também enfatizam sobre Áreas Protegidas. O órgão CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente, criado pela legislação de política ambiental brasileira como órgão do Poder Executivo, e detentor de autorização legal para atuar como órgão normativo em questões de ordem técnica, traça diretrizes técnicas do que seriam Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal, vindo a complementar a Lei Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (Código Florestal).

A resolução 302 do CONAMA, de 20 de março de 2002, dispõe sobre parâmetros, definições e limites das Áreas de Preservação Permanente no entorno de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno:

Art 3º - Constitui Área de Preservação Permanente a área com largura mínima, em projeção horizontal, no entorno dos reservatórios artificiais, medida a partir do nível máximo normal de:

- I - trinta metros para os reservatórios artificiais situados em áreas urbanas consolidadas e cem metros para áreas rurais;
- III - quinze metros, no mínimo, para reservatórios artificiais não utilizados em abastecimento público ou geração de energia elétrica, com até vinte hectares de superfície e localizados em área rural.

É importante destacar o caso dos reservatórios de geração de energia com dimensões superiores a 10 hectares, onde as áreas de preservação serão no mínimo de 15 metros, faixa marginal esta que também se aplica aos reservatórios que não são utilizados para abastecimento público ou produção de energia elétrica que tenham até 20 hectares de superfície e que estejam situados em áreas rurais.

A Resolução CONAMA 303, de 20 de março de 2002, dispõe de parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente, remetendo-se à determinação das APP em relação aos cursos d'água, nascentes e reforçando a legislação florestal na questão das áreas situadas em topos de morros, montanhas e ao redor de lagos e lagoas naturais. No

entanto, a Resolução 303 do CONAMA (2002) ultrapassa os limites indicados pela Lei Federal nº 4.771/65, e não possui o poder de sobrepor esta legislação, e não tem, portanto, força obrigatória.

O 3º artigo da Resolução 303 do CONAMA delimita a área de preservação que deverá existir no entorno de nascentes, lagos e lagoas naturais, morros e montanhas, linhas de cumeada, entre outros, reforçando a legislação federal nesse sentido. Este artigo faz também referência quanto à vegetação existente em topos de morros ou montanhas, trazendo um detalhamento maior, já que nas demais legislações não há informação técnica suficiente a respeito.

O referido artigo 3º diz que a APP em topo de morro e montanha será determinada a partir da curva de nível correspondente a 2/3 da altura da elevação em relação à base e, no caso das linhas de cumeada, a área será igualmente delimitada a partir da curva de nível correspondente a 2/3 da altura em relação à área, do pico mais baixo da cumeada, fixando-se a curva de nível para cada segmento da linha de cumeada equivalente a 1000 metros (CONAMA, 2008).

Portanto, a APP é um instituto jurídico com função primordial à proteção de áreas com maior risco de degradação, onde o manejo incorreto pode ocasionar erosão, deslizamento de terra, e, conseqüentemente o assoreamento dos rios e diminuição da oferta e qualidade da água (ARAÚJO e COSTA, 2002). O equilíbrio de toda bacia hidrográfica pode ser avaliado pela qualidade da água da rede de drenagem. Nesse contexto, as matas ciliares desempenham função estratégica no equilíbrio de uma bacia hidrográfica, já que se situam topograficamente nas áreas mais frágeis, o que influencia diretamente na quantidade e qualidade das águas dos rios, além de funcionarem como habitat para a vida silvestre (UIEDA & PALEARI, 2004).

Em muitos casos as matas ciliares constituem-se os únicos remanescentes florestais das propriedades rurais, e, portanto, essenciais para a conservação da fauna e também da flora. Todavia, apesar da reconhecida importância ecológica, essas florestas continuam a serem eliminadas para instalação de culturas agrícolas, pecuária e, na maioria dos casos, são transformadas apenas em áreas degradadas, sem qualquer tipo de produção (BOZZA et al. 2005).

2.2 Bacias hidrográficas

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos, adota e define bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão, estipulando uma atuação descentralizada e participativa nesses processos. Assim, torna-se de grande importância para gestores e pesquisadores a compreensão do conceito de bacia hidrográfica e de suas subdivisões (BRASIL, 1997).

Alves (2000) descreve uma bacia hidrográfica como sendo uma unidade geográfica constituída por uma área da superfície terrestre, que contribui na formação e no armazenamento de determinado curso d'água. As bacias de cabeceiras são pequenas áreas de terras localizadas em regiões montanhosas, onde se formam as nascentes e drenam córregos e riachos. Uma bacia hidrográfica, normalmente, é constituída por inúmeras microbacias, que por sua vez possuem inúmeros pequenos riachos que formam a malha de drenagem dessa bacia.

Para Barrella et al. (2001), uma bacia hidrográfica é um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático. As águas superficiais escoam para as partes mais baixas do terreno, formando riachos e rios, e à medida que estas águas descem, juntam-se a outros riachos, aumentando o volume e formando os primeiros rios. Esses rios continuam seus trajetos recebendo água de outros tributários, formando rios maiores até desembocarem no oceano ou em um grande lago.

Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. As sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal. Para definir sua área os autores utilizam-se de diferentes unidades de medida. Para Faustino (1996), as sub-bacias possuem áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km², já para Rocha (1997, apud MARTINS et al., 2005), são áreas entre 200 km² a 300 km².

Percebe-se que os termos bacia e sub-bacias hidrográficas são relativos, e dependem do ponto de vista de cada autor, assim como da finalidade do estudo. Dentro dessas subdivisões da bacia, aparece também na literatura o termo microbacia, unidade de área deste estudo, para o qual adotam-se critérios como unidades de medida, hidrológicos e ecológicos.

Para Faustino (1996), a microbacia possui toda sua área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia, várias microbacias formam uma sub-bacia, sendo a área de uma microbacia inferior a 100 km². Cecílio e Reis (2006) definem a microbacia como uma sub-bacia hidrográfica de área reduzida, não havendo consenso de qual seria a área máxima, variando esta entre 0,1 km² a 200 km².

Segundo Moldan e Cerny (1994 apud Machado, 2002), do ponto de vista hidrológico, uma microbacia pode ser considerada como a menor área da paisagem capaz de integrar todos os componentes relacionados com a qualidade e a disponibilidade de água, como: atmosfera, vegetação natural, plantas cultivadas, solos, rochas subjacentes, corpos d'água e paisagem circundante.

Para Rodrigues (1998), as microbacias hidrográficas são unidades perfeitas para o planejamento, pesquisas em hidrologia florestal e produção agroflorestal sustentável. Rocha e Kurtz (2001) propõem projetos integrados em bacias hidrográficas, como uma solução viável para a recuperação florestal e ambiental no Brasil. Aí se encontram também soluções para o controle de erosões, enchentes, secas, assoreamentos de rios e lagos, cadeia alimentar, qualidade de vida das populações e muitos outros problemas ambientais.

A qualidade dos recursos hídricos deve ser avaliada não só sobre o aspecto sanitário, mas também considerando-se a influência das diversas atividades humanas (SABANÉS, 2002). A microbacia hidrográfica oferece, portanto, a vantagem de um gerenciamento simultâneo, interdependente e cumulativo de seus aspectos econômicos, sociais e ambientais, através da possibilidade de realizar um planejamento e administração integrada dos recursos naturais, solo e água.

2.3 Uso e ocupação do solo

A população mundial vem sofrendo as conseqüências das agressões efetuadas pelo homem ao meio ambiente, principalmente quanto à ocupação e uso inadequado das terras. Esse processo tem reduzido consideravelmente as áreas e os recursos naturais por meio da expansão dos centros urbanos e do aumento da demanda por água, alimento e moradia. Tem causado, também, importantes mudanças e problemas ambientais, principalmente em relação à destruição dos ecossistemas vegetais que, além da perda da biodiversidade, tem gerado muitos problemas relacionados à conservação dos recursos hídricos, fragmentação florestal e

empobrecimento e depauperamento do solo (KAUANO e PASSOS, 2008; CASTRO et al., 2009).

A expressão “uso do solo” pode ser entendida como a forma pela qual o espaço é ocupado pelo homem (ROSA, 1992), e, portanto, é de grande importância considerar-se se esse é explorado de forma organizada e produtiva, conforme cada região.

A remoção de extensas áreas de vegetação natural para a expansão ou para o estabelecimento de centros urbanos, áreas industriais, pastagens, agricultura ou silvicultura, constituem os maiores agentes modificadores da cobertura do solo e desencadeiam alterações no meio físico, ciclo hidrológico das nascentes, perenização dos rios e, por consequência, no clima (LINHARES, 2005).

A análise de características, como cobertura vegetal, topografia, drenagem e tipo de solo, permitem chegar ao uso racional e adequado de um determinado espaço geográfico. Dessa maneira, determinam-se áreas de preservação de mananciais, reservas florestais, áreas agrícolas, distritos industriais e áreas de expansão urbana, para que o uso do solo obedeça às características naturais da bacia, e o planejamento considere o desenvolvimento sustentado (TUCCI, 1993).

A partir dessa perspectiva, a caracterização das paisagens torna-se especialmente importante. Sistemas de Informações Geográficas (SIG) juntamente com técnicas de sensoriamento remoto, têm se consolidado como ferramentas extremamente úteis na interpretação de dados sobre mudanças do uso do solo. A identificação e mapeamento dos solos servem como subsídio para planejamentos agrícolas, levantamentos do uso da terra, estudos de terra para irrigação, monitoramentos ambientais e outros (BRAGA et al., 2009; YOUNG e CARMO, 2007).

Segundo Young e Carmo (2007), é necessário entender como funcionam e se processam as variações dos padrões de mudança da paisagem ao longo do tempo. Cada paisagem tem sua própria assinatura e entender a composição desse mosaico é o maior desafio.

Para Rocha (2000), a caracterização do uso e cobertura do solo traz uma infinidade de informações sobre o espaço em questão, as quais devem ser avaliadas, integradas e armazenadas. O geoprocessamento é uma tecnologia utilizada para integrar várias ferramentas, dados e programas.

Assistimos atualmente em nosso País, a ocupação do solo conduzida por pressões populacionais ou econômicas, em total desrespeito à aptidão agrícola das terras. A não adoção de critérios técnicos no planejamento tem agravado problemas ambientais. Lamentavelmente,

o homem, ao realizar a adaptação das terras para as explorações agrícolas, modifica as características dos solos e não observa os fatores limitantes, favorecendo a agressão das mais variadas formas, tornando-os deteriorados (DUARTE et al., 2004).

O Brasil apresenta uma ampla diversidade espaço-temporal na ocupação territorial: agricultura, silvicultura, pastagem, floresta; e cada uma delas possui características e dinâmicas específicas. Por isso, os levantamentos de uso e ocupação do solo fazem-se indispensáveis em qualquer trabalho de planejamento territorial ou ambiental, para qualquer região do País (PADILHA, 2008).

2.4 Geoprocessamento

Segundo Câmara e Davis (2001), a introdução do Geoprocessamento no Brasil inicia-se a partir do esforço de divulgação e formação de pessoal feito pelo Prof. Jorge Xavier da Silva (UFRJ), no início dos anos 80. A vinda ao Brasil, em 1982, do Dr. Roger Tomlinson, responsável pela criação do primeiro Sistema de Informação Geográfico (SIG), o Canadian Geographical Information System, incentivou o aparecimento de vários grupos interessados em desenvolver tecnologia, entre os quais podemos citar:

- UFRJ: O grupo do LAGEOP - Laboratório de Geoprocessamento, do Departamento de Geografia da UFRJ, sob a orientação do professor Jorge Xavier da Silva, desenvolveu o SAGA (Sistema de Análise Geo-Ambiental), e, ainda, elaborou e disseminou as metodologias de geoprocessamento;
- INPE: Em 1984, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) estabeleceu um grupo específico para o desenvolvimento de tecnologia de geoprocessamento e sensoriamento remoto (a Divisão de Processamento de Imagens - DPI). De 1984 a 1990, desenvolveu o SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens) e o SGI (Sistema Geográfico de Informações), para ambiente PC/DOS, e, a partir de 1991, o SPRING (Sistema para Processamento de Informações Geográficas), para ambientes UNIX e MS/Windows.

O geoprocessamento pode ser entendido como um conjunto de tecnologias que têm como objetivo coletar e tratar informações espaciais para um fim específico. Cada aplicação de geoprocessamento é executada no ambiente de um sistema específico que recebe o nome de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Para Rocha (2000), geoprocessamento é uma *tecnologia interdisciplinar*, que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos, utilizando-se de técnicas matemáticas e ferramentas computacionais chamadas Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para tratar os processos que ocorrem no espaço geográfico.

De acordo com Silva (2006), o geoprocessamento tem por objetivo o processamento de dados referenciados geograficamente, desde a coleta até a geração e a exibição das informações por meio de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais e gráficos. Dessa forma, podemos dizer que o principal objetivo é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico e suas interrelações (ASSAD e SANO, 1998).

Geoprocessamento é o conjunto de pelo menos quatro categorias de técnicas relacionadas ao tratamento da informação espacial (FATORGIS, 2009):

- Técnicas para coleta de informação espacial (Cartografia, Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global - GPS, Topografia convencional, Fotogrametria, levantamento de dados alfanuméricos); Técnicas de armazenamento de informação espacial (bancos de dados – orientado a objetos, relacional, hierárquico, etc.)
- Técnicas para tratamento e análise de informação espacial, como modelagem de dados, geoestatística, aritmética lógica, funções topológicas, Redes;
- Técnicas para o uso integrado de informação espacial, como os sistemas GIS – Geographic Information Systems e CADD – Computer Aided Drafting and Design.

Câmara e Monteiro (2001) descrevem os dados utilizados em geoprocessamento da seguinte maneira:

- Temáticos: descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, expressa de forma qualitativa. São obtidos a partir de levantamento de campo e inseridos no sistema por digitalização ou a partir de classificação de imagens. Mapas de vegetação, declividade, pedologia e a aptidão agrícola de uma região são exemplos de mapas temáticos;

- Cadastrais: representam elementos do espaço geográfico com atributos específicos, armazenados em bancos de dados, e que podem estar associadas a várias representações gráficas; por exemplo, os lotes de uma cidade são elementos do espaço geográfico que possuem atributos (dono, localização, IPTU devido, etc.) e que podem ter representações gráficas diferentes em mapas de escalas distintas.

- Redes: são as informações associadas aos serviços de utilidade pública (água, luz, telefone), redes de drenagem (bacias hidrográficas) e rodovias, onde cada objeto geográfico possui uma localização geográfica exata.

- Modelos numéricos de terreno (MNT): são representações quantitativas de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Estão comumente associados à altimetria do terreno para geração de mapas topográficos; análises de corte-aterro para projetos de estradas e barragens; mapas de declividade e exposição para apoio a análises de geomorfologia e erodibilidade; análise de variáveis geofísicas e geoquímicas e apresentação tridimensional.

- Imagem: obtidas por satélites, fotografias aéreas ou "scanners" aerotransportados, as imagens são armazenadas como matrizes, cada elemento de imagem – "pixel"- tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente.

Compreende-se, pois, geoprocessamento como um conjunto de procedimentos de análise ambiental que, apoiado na aplicação de sistemas computadorizados, opera sobre modelos digitais do ambiente dados georreferenciados de diversas origens, com o objetivo de se produzirem informações, e estas darem suportes a tomadas de decisão.

Assad e Sano (1998) salientam que as aplicações do geoprocessamento são muitas, podendo-se destacar a estruturação de dados geoambientais nos diferentes contextos, tais como: planejamento municipal; expansão da fronteira agrícola e caracterização ambiental; caracterização e avaliação da funcionalidade de reservas biológicas; monitoramento da ocupação agrícola; avaliações das terras para agricultura; caracterização espaço-temporal, entre outras.

2.5 Sistemas Geográficos de Informação – SGI

Os instrumentos computacionais do geoprocessamento, chamados de sistemas geográficos de informação (SGI), e também de sistemas de informações geográficas (SIG), permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados, além de tornar possível, ainda, a automatização da produção de documentos cartográficos.

O primeiro sistema com características básicas de um *SGI* foi proposto em 1962, por Tomlinson, no Canadá, durante seminário sobre Inventário Nacional de Capacidade de Uso da

Terra, para favorecer o uso de dados coletados pelo *Canada Land Inventory (CLI)*. Posteriormente, em 1964, ele apresentou o primeiro sistema com características de *SIG*, e que foi denominado *Canadian Geographical Information System (GOES, 1994, apud MELLO FILHO, 2003)*.

Para Ribeiro (2002), o termo SIG é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial, permitindo a integração de vários tipos de informações.

Alves et al. (2000) conceitua SIG como um conjunto organizado de equipamentos de computação, programas aplicativos e dados georreferenciados, projetados para capturar, armazenar, manipular, analisar e apresentar visualmente todas as formas de informações geográficas, para um objetivo ou aplicação específica.

Em um sistema SIG, a realidade é representada como uma série de elementos geográficos definidos de acordo com dois atributos de dados: o elemento de dado geográfico, dado espacial, que é usado para providenciar uma referência para o elemento de dado atributo, dado não espacial (MIRANDA, 2005).

Para Câmara (1993), a característica fundamental de um sistema de geoprocessamento é sua faculdade de armazenar, recuperar e analisar mapas num ambiente computacional. Rocha (2000) cita ainda, a capacidade dos SIG de estabelecer relações espaciais entre elementos gráficos, tornando o sistema mais adequado para a análise espacial de dados geográficos.

Um sistema SIG apresenta multiplicidade de usos e aponta para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização, tais como ferramenta para produção de mapas, como suporte para análise espacial de fenômenos, como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial (CAMARA e MEDEIROS, 1998). Os SIG permitem ainda, realizar diferentes operações de análise, como calcular distâncias ou identificar os elementos que se encontram em determinados locais ou que tenham determinadas características (SILVA, 2006).

Segundo Mello Filho (2003) e Xavier da Silva (2001), Sistema Geográfico de Informação (SGI) é uma estrutura georreferenciada de registros ambientais, que tem a capacidade de analisar relações taxonômicas e topológicas entre variáveis e entre localidades, e que permite entrada, armazenamento, atualização, transformação, recuperação, análise e exibição de dados ambientais, composta de uma base geocodificada, com um banco de dados a ela acoplado, e um sistema de transformações de seus dados, destinado a analisar situações

ambientais julgadas de interesse. Permitem, assim, uma visão holística do ambiente e, por meio de análises particularizadas, propicia a aplicação de procedimentos heurísticos ao volume de dados ambientais sob investigação.

A aplicabilidade do SIG está embasada na oferta de ferramentas úteis na realização de análises com dados espaciais, oferecendo alternativas para o entendimento da ocupação e utilização do meio físico (SILVA, 2003).

Os dados utilizados em um SIG subdividem-se em dois grandes grupos: *dados gráficos, espaciais ou geográficos*, que descrevem as características geográficas da superfície (forma e posição) e *dados não-gráficos, alfanuméricos ou descritivos*, que descrevem os atributos dessas características em categorias do tipo temático, imagem, cadastral, MNT, rede (ROCHA, 2000; Miranda, 2005).

Os dados espaciais podem ser representados de duas formas distintas: Vetorial (*vector*) e Matricial (*raster*). Dados alfanuméricos podem ser subdivididos igualmente dois tipos, atributos dos dados espaciais, onde os atributos fornecem informações descritivas acerca das características de algum dado espacial, e atributos georreferenciados, onde não há descrição das feições espaciais, e sim apenas sua georreferência (ROCHA, 2000).

No modelo vetorial, os dados espaciais - elementos do mundo real, são representados com sua própria geometria de pontos, linhas ou áreas, permitindo assim que todas as posições, comprimentos e dimensões possam ser definidos exatamente, os quais são geograficamente referenciados por coordenadas cartesianas, X e Y (longitude e latitude). Neste modelo, as coordenadas são consideradas exatas matematicamente (MIRANDA, 2005).

O modelo matricial representa a realidade por meio de superfícies projetadas com um padrão regular formada por células (pixels) onde os limites são precisos e cada célula tem as mesmas dimensões e forma geométrica. A matriz de pixels é endereçada por meio de suas coordenadas, linhas e colunas, onde há valores associados a números inteiros e limitados (0 e 255), que permitem reconhecer o objeto sob a forma de imagem digital. Quanto menor a dimensão da célula, maior será a resolução da imagem matricial. Cada célula armazena um único valor que corresponde a uma área específica na superfície terrestre (ROCHA, 2000; MIRANDA, 2005).

Neste trabalho, foram utilizados dois softwares: o ArcGis – Arc Info e também o Spring 5.1.5. O ArcGis, desenvolvido pela Esri, é um software funcional para visualização, gerenciamento, elaboração e análise de dados geográficos, baseado em uma estrutura de três aplicativos: *ArcCatalog*, *ArcMap* e *ArcToolbox*, além dos módulos básicos, existem os adicionais – as extensões, com ferramentas adicionais para suprir as necessidades específicas

dos usuários. O software em si, é uma ferramenta de fácil utilização com ampla variedade de símbolos e recursos cartográficos e permite a criação de bases de dados georreferenciados, a partir de mapas, imagens de satélites, fotografias aéreas, dados de campos ou através da importação de outros formatos, bem como a elaboração de mapas detalhados, além de auxiliar o processo de análises espaciais e suporte na tomada de decisões.

O ArcGIS é um sistema de partes que podem ser implementadas num único computador ou em rede de estações de trabalho e servidores. Os usuários podem implementar várias partes deste sistema para elaborar um SIG para usuários individuais, grupos de trabalho, departamentos, grandes empreendimentos, e para SIG aplicado à sociedade (MADRUGA e SALBEGO, 2005). Dentre as aplicações, destacam-se: facilidade em criar, consultar e analisar superfícies *rasters*, integrando-as a dados vetoriais; realizar análises de superfícies e análises topográficas; e a possibilidade de realizar cruzamento de mapas, ou melhor designado por “álgebra de mapas”, como por exemplo, mapas de declividade com mapas de tipos de solo.

O software SPRING, desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE e disponibilizado gratuitamente pela internet no site do Instituto, é um SIG (Sistema de Informações Geográficas) com funções amplas de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais. O software tem como uma de suas propostas, fornecer um ambiente unificado de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para aplicações urbanas e ambientais. O SPRING unifica o tratamento de imagens de Sensoriamento Remoto, mapas temáticos, mapas cadastrais, redes e modelos numéricos de terreno. O SPRING apresenta um conjunto de novos algoritmos e procedimentos inovadores que permitem a realização da Segmentação de Imagens, Classificação digital e geração de grades triangulares que vem a complementar os demais softwares de processamento de imagens e SIG, devido sua ampla aplicação nos mais diversos usos.

2.6 Sensoriamento remoto

O termo sensoriamento remoto foi utilizado pela primeira vez no final dos anos 1950, por Evelyn Pruitt, cientista que desenvolvia suas pesquisas no Escritório de Pesquisa da Marinha dos Estados Unidos da América (Office of Naval Research). Sua definição incluía

fotografias aéreas, bem como as imagens adquiridas pelos então novos sistemas sensores. O termo surgiu para descrever o processo de observação, mensuração e identificação de objetos sem estar em contato direto com eles (MACHADO e QUINTANILHA, 2008).

Segundo Novo (2008), Sensoriamento remoto é a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações.

Esses instrumentos capazes de captar as informações dos objetos são conhecidos como sensores remotos e podem ser, além dos muito conhecidos sensores de satélites, também câmeras fotográficas, scanners e radares (BENEDETTI, 2006).

2.6.1 Processamento digital de imagens

O processamento digital de imagens envolve a manipulação e interpretação de imagens digitais com o auxílio de um computador, onde são executados procedimentos para a produção de novas imagens a partir da imagem pré-existente. Isto envolve todas as operações aplicáveis a qualquer tipo de imagem: imagens brutas adquiridas a partir de sensores remotos; imagens contaminadas por ruído (nuvens ou sombras); imagens distorcidas pelo mau funcionamento do sensor devido à instabilidade da plataforma em que o sensor está embarcado, etc (MACHADO e QUINTANILHA, 2008).

As imagens digitais podem ser processadas visando o realce ou a extração de informações específicas. Sendo assim, através de imagens digitais, podem ser geradas composições coloridas a partir da utilização de diferentes combinações de bandas espectrais, diferentes ângulos de incidência, combinações de imagens de uma mesma banda em diferentes datas ou imagens de diferentes sensores. O propósito geral do processamento de imagem é preparar o dado de imagem para que este possa ser melhor utilizado nas etapas subsequentes de interpretação e extração de informações (NOVO, 2008; ROCHA, 2000; MACHADO e QUINTANILHA, 2008).

Novo (2008) agrupa as atividades de processamento digital de imagens em três etapas independentes: pré-processamento, realce e classificação.

Segundo a mesma autora, as atividades de pré-processamento incluem o tratamento inicial dos dados brutos visando sua calibração radiométrica, a correção de distorções geométricas e a remoção de ruídos, ou seja, correção dos erros inerentes ao processo de aquisição de imagens. Moreira (2005) define o pré-processamento como sendo a preparação dos dados de satélites para a classificação, onde, empregam-se técnicas que visam melhorar a qualidade dos dados.

Segundo Novo (2008), erros radiométricos internos a uma banda e entre bandas podem ser causados pela configuração e operação do sensor ou também por alterações na órbita do satélite ou falhas intermitentes na transmissão do sinal.

Conforme Machado e Quintanilha (2008), o procedimento de correção radiométrica é necessário, principalmente, em imagens de uma mesma localidade, porém adquiridas em datas diferentes, e que por esse motivo estão sujeitas a variações quanto ao grau de iluminação e da ação de diferentes condições atmosféricas. O objetivo é corrigir as distorções introduzidas pelas variações de iluminação da cena devido a diferentes ângulos de iluminação solar, condições atmosféricas que produzem espalhamento.

A correção geométrica visa eliminar erros que ocorrem devidos ao movimento do satélite e aqueles determinados pela curvatura da Terra (MOREIRA, 2005). Neste procedimento, as coordenadas geográficas de cada *pixel* são determinadas dentro de um nível de precisão e exatidão condizentes com a aplicação pretendida, objetivando gerar uma imagem que tenha a integridade geométrica de um mapa, sem as distorções causadas pelo processo de aquisição da imagem (MACHADO e QUINTANILHA, 2008).

O ruído pode tanto degradar a imagem como também mascarar totalmente a verdadeira informação radiométrica contida na imagem digital. Os ruídos podem ser decorrentes de variações na resposta de detectores individuais (bandeamento ou “stripping”), que acarretam na perda de linhas ou *pixels* (MACHADO e QUINTANILHA, 2008). A remoção dos ruídos ocasionados devido à falta de informações da energia refletida em uma área do terreno em determinado momento, pode ser feita por meio da técnica de substituição do valor zero da radiância do *pixel* no local do ruído pela média da radiância dos *pixels* das linhas superior e inferior (MOREIRA, 2005).

De acordo com Novo (2008), as técnicas de *realce* de uma imagem têm por objetivo melhorar a qualidade visual da cena, aumentando a diferenciação visual entre elas. A autora cita as técnicas de realce mais utilizadas:

- manipulação de contraste: usada para facilitar a discriminação visual de características da cena com baixo contraste;

- filtragem espacial: são transformações na imagem *pixel a pixel*, que não dependem apenas do nível de cinza de um determinado *pixel* da imagem original, mas também do valor dos níveis de cinza dos *pixels* vizinhos;

- rotação de imagens: é realizada através de transformações lineares e não-lineares dos *pixels* de uma cena, visando melhorar a visualização dos objetos de interesse.

A *Classificação de imagens* é o processamento no qual decisões quantitativas são tomadas com base nas informações presentes na imagem, por meio do agrupamento de *pixels* ou regiões da imagem em classes que representem diferentes padrões de cobertura do solo, visando como saída o mapeamento temático extraído da imagem (MACHADO e QUINTANILHA, 2008).

A *classificação digital* de imagens, segundo Venturieri e Santos (1998), consiste no estabelecimento de um processo de decisão no qual um grupo de *pixels* é definido como pertencente a uma determinada classe. Neste sentido, os sistemas computacionais auxiliam o usuário na interpretação das imagens orbitais.

Moreira (2005) especifica que dependendo do algoritmo utilizado no procedimento, a classificação é dita supervisionada ou não-supervisionada, envolvendo duas fases distintas: o treinamento e a classificação propriamente dita.

A classificação supervisionada pode ser aplicada quando existem regiões da imagem em que o usuário dispõe de informações que permitem a identificação de uma classe de interesse, por meio da amostragem homogênea de uma área representativa de cada classe, na qual deve ser incluída toda a variabilidade dos níveis de cinza (INPE, 2011a). Segundo recomendações de INPE (2011a), para a obtenção de classes estatisticamente confiáveis, são necessários de 10 a 100 "pixels" de treinamento por classe.

No treinamento não-supervisionado, os pixels de uma imagem são alocados em classes sem que o usuário tenha conhecimento prévio de sua existência, permitindo que o analista conheça a distribuição de pixels por classes espectrais (NOVO, 2008). Segundo Machado e Quintanilha (2008), fica a cargo do analista, a identificação das classes a *posteriori*, analisando as assinaturas espectrais para determinar o que cada classe é ou representa, podendo ser necessária a verificação através de dados de referência disponíveis que poderiam incluir mapas e visitas a campo.

Segundo Novo (2008), o processo de classificação supervisionado ou não-supervisionado pode ser distinguido em função da unidade a ser agrupada, em classificação por pixel e classificação por regiões.

De acordo com INPE (2011a), os classificadores por *pixels* utilizam apenas a informação espectral de cada *pixel* para achar regiões homogêneas, já os classificadores por regiões, utilizam além de informação espectral de cada *pixel*, a informação espacial que envolve a relação com seus vizinhos. Estes últimos procuram simular o comportamento de um foto-intérprete, reconhecendo áreas homogêneas de imagens, baseados nas propriedades espectrais e espaciais de imagens.

A classificação supervisionada por região foi o procedimento utilizado neste estudo, onde se utilizou o algoritmo “*Bhattacharya*”, ou a medida da distância de “*Bhattacharya*”. Este classificador utiliza as amostras de treinamento para estimar a função densidade de probabilidade das classes apontadas no treinamento, posteriormente, avalia em cada região, a distância de *Bhattacharya* entre as classes, utilizando a equação:

$$(1) \quad B(pi, pj) = \frac{1}{2} (m1 - m2)^T \sum (mi - mj) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\sum (mi - mj)|}{|\sum i|^{1/2} |\sum j|^{1/2}}$$

Onde:

- B = distância de Bhattacharya;
- pi e pj = pixels nas classes i e j;
- mi e mj = médias das classes i e j;
- T = matriz transposta;
- ln = logaritmo neperiano;
- i e j = classes dentro do contexto

Essa técnica de classificação, no entanto, exige do analista um controle sobre o processo, o que acarreta vantagens e desvantagens, como por exemplo, o analista tem condições de identificar possíveis imprecisões graves pela análise das áreas de treinamento; em contrapartida o analista impõe uma determinada estrutura de classificação aos dados, por meio da definição prévia das classes de informação. Mas estas classes podem não corresponder às classes reais existentes na cena imageada, ou não ser separáveis no espaço n-dimensional (MACHADO e QUINTANILHA, 2008).

2.6.2 Satélite CBERS e aplicações

Os governos do Brasil e da China assinaram em 06 de Julho de 1988 um acordo de parceria envolvendo o INPE e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial) para o desenvolvimento de dois satélites avançados de sensoriamento remoto, denominado Programa CBERS (Chinese Brazilian Earth Resources Satellite), Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (BENEDETTI, 2006).

Com a união de recursos financeiros e tecnológicos entre o Brasil e a China, num investimento superior a US\$ 300 milhões, foi criado um sistema de responsabilidades divididas, 30% brasileiro e 70% chinês, tendo como intuito a implantação de um sistema completo de sensoriamento remoto de nível internacional.

Desta forma, o Brasil obteve uma poderosa ferramenta para monitorar seu imenso território com satélites próprios de sensoriamento remoto, buscando consolidar uma importante autonomia neste segmento.

Em 2002, em decorrência do sucesso das missões 1 e 2, foi assinado um acordo para continuação do programa, visando a construção de mais dois satélites, os CBERS-3 e 4, com sensores mais avançados. Devido à demora de lançamento destes, foi também acordado o lançamento do satélite CBERS-2B em 2007 (NOVO, 2008).

O primeiro satélite desenvolvido, o CBERS-1 foi lançado no dia 14 de outubro de 1999. O CBERS-2 foi colocado em órbita em outubro de 2003, sendo tecnicamente idêntico ao CBERS-1. O CBERS-2B foi lançado em 2007, no dia 19 de setembro, (BENEDETTI, 2006; NOVO, 2008). Ambos os três satélites foram lançados pelo foguete chinês Longa Marcha 4B, no Centro de Lançamento de Taiyuan, na China.

Quanto às características, o satélite CBERS-2B é composto por dois módulos. O módulo "carga útil" acomoda os sistemas ópticos (CCD – Câmera Imageadora de Alta Resolução, HRC - Câmera Pancromática de Alta Resolução e WFI – Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada) usadas para observação da Terra e o Repetidor para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais e o módulo "serviço" que contém os equipamentos que asseguram o suprimento de energia, os controles, as telecomunicações e demais funções necessárias à operação do satélite (INPE, 2011b).

Sua órbita é síncrona com o Sol a uma altitude de 778 km, completando 14 revoluções da Terra por dia. Este tipo de órbita é tal que o satélite sempre cruza o Equador às 10:30 h da manhã, hora local, provendo assim as mesmas condições de iluminação solar para tornar

possível a comparação de imagens adquiridas em dias diferentes (INPE, 2011b; NOVO, 2008).

Abaixo na tabela 1, segue um resumo das características das câmeras do satélite CBERS-2B:

Tabela 1 – Resumo das características das câmaras do satélite CBERS 2B:

	HRC	CCD	WFI
Bandas Espectrais	0,50 - 0,80 μm (pancromática)	0,51 - 0,73 μm (pan) 0,45 - 0,52 μm (azul) 0,52 - 0,59 μm (verde) 0,63 - 0,69 μm (vermelho) 0,77 - 0,89 μm (infravermelho próximo)	0,63 - 0,69 μm (vermelho) 0,77 - 0,89 μm (infra-vermelho)
Resolução espacial	2,7 m	20 m (TH)	260 m
Largura da Faixa Imageada	27 km	113 km	890 km
Visada lateral de espelho (apontamento)	2,1°	+ - 32 °	60 °
Revisita	130 dias na operação proposta	3 dias com visada lateral	5 dias
Revisita real	-	26 dias visada vertical	-
Quantização	8 bits	8 bits	10 bits
Taxa de Dados Bruta	-	2x53Mbit/s	1,1 Mbit/s

Fonte: INPE (2011b). Adaptação da autora.

O potencial de aplicação de um dado sensor é estabelecido em função de suas características de resolução espacial, resolução temporal, e características espectrais e radiométricas (MOREIRA, 2005). A seguir, são definidas algumas de suas aplicações, que são especificadas conforme cada sensor, conforme INPE (2011b):

A Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD), por possuir uma boa resolução espacial – 20 metros – em quatro bandas espectrais, mais uma pancromática, presta-se à observação de fenômenos ou objetos cujo detalhamento seja importante. Por possuir um campo de visada de 120 km, auxilia nos estudos municipais ou regionais. Dada a sua frequência temporal de 26 dias, pode servir de suporte na análise de fenômenos que tenham duração compatível com esta resolução temporal. Suas bandas estão situadas na faixa espectral do visível e do infravermelho próximo, o que permite bons contrastes entre

vegetação e outros tipos de objetos, servindo para estudos da vegetação, agricultura, meio ambiente, água, cartografia, geologia e solos.

O WFI (Imageador de Amplo Campo de Visada) pode imagear grandes extensões territoriais, até 890 km. Essa característica o torna muito interessante para observar fenômenos cuja magnitude ou interesse seja nas escalas macro-regionais ou estaduais. Entre as aplicações, podem ser mencionadas: geração de mosaicos nacionais ou estaduais; geração de índices de vegetação para fins de monitoramento; monitoramento de fenômenos dinâmicos, como safras agrícolas, queimadas persistentes; sistema de alerta, em que a imagem WFI serve como indicativo para a aquisição de imagens de mais alta resolução da CCD ou do IRMSS; acoplamento a outros sistemas mundiais de coleta de dados de baixa a média resolução.

A HRC (Câmera Pancromática de Alta Resolução) pode imagear uma faixa relativamente estreita - 27 km -, mas com altíssima resolução, de 2,7 de dimensão de pixel. O modo de operação está estabelecido em uma revisita de 130 dias. Entre as aplicações, podem ser mencionadas: Geração de mosaicos nacionais ou estaduais detalhados; Atualização de cartas temáticas e outros tipos de cartas; Geração de produtos para fins de planejamento local ou municipal; Aplicações urbanas e de inteligência.

A família de satélites de sensoriamento remoto CBERS trouxe significativos avanços científicos ao Brasil. Essa significância é atestada pelos mais de 15.000 usuários de mais de 1.500 instituições cadastrados como usuários ativos do CBERS, e também nas mais de 300.000 imagens do CBERS distribuídas à razão aproximada de 250 por dia.

Suas imagens são usadas em importantes campos, como o controle do desmatamento e queimadas na Amazônia Legal, o monitoramento de recursos hídricos, áreas agrícolas, crescimento urbano, ocupação do solo, em educação e em inúmeras outras aplicações (INPE, 2011b).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização geral e física da área

O estudo foi desenvolvido na microbacia do Arroio Felisberto, pertencente à bacia hidrográfica do Alto Jacuí. Esta microbacia abrange dois municípios da chamada Quarta Colônia de Imigração Italiana – Nova Palma e Pinhal Grande, percorrendo em parte o limite político-administrativo entre os dois municípios.

A área situa-se na região Centro-oeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas UTM 268000 e 276000 mE e 6754000 e 6740000 mN. A microbacia compreende uma área de drenagem de aproximadamente 8.076,1780 hectares, onde seu curso d'água principal percorre a divisa entre os municípios anteriormente citados, limitando-se ao norte com Pinhal Grande, ao sul com a cidade de Nova Palma (IBGE, 2007). Destaca-se a importância da microbacia do Arroio Felisberto, pois apresenta-se extensa e contribui de forma significativa como afluente do Rio Caemborá, rio este que potencialmente deságua no Rio Jacuí.

A Quarta Colônia de Imigração situa-se na região Centro-Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre Santa Maria e Cachoeira do Sul, ocupando uma área aproximada de 278 530 hectares. Foi criada em 1877 com a intenção de receber as primeiras famílias de imigrantes vindos do norte da Itália ao núcleo colonial de Silveira Martins (ITAQUI, 2002). É constituída por nove municípios: Pinhal Grande, Nova Palma, Ivorá, Faxinal do Soturno, Dona Francisca, Agudo, São João do Polêsine, Silveira Martins e Restinga Seca.

De acordo com a classificação de Köppen os municípios contemplados pela microbacia alvo de estudo, se enquadram em uma faixa climática subtropical do tipo Cfa, onde: C= a temperatura média para o mês mais frio, é superior a -3 e no mês mais quente, superior a 22°C ; f= inexistente estação seca ao longo do ano; a= o verão é considerado quente, com temperatura média entre 18° e 22°C . A precipitação média anual é de cerca de 1.500 a 1.700 mm, que são distribuídos de modo semelhante por todos os municípios da Quarta Colônia, inclusive na área objeto de estudo, variando entre os 400 e os 450 mm ao longo dos vários meses e estações do ano (MORENO, 1961).

A temperatura média anual situa-se entre 18 e 20° C. O mês mais quente é janeiro, com uma temperatura média em torno de 25° C e o mês mais frio, é julho, com temperaturas que ficam na média de 13° C (NIMER, 1990).

Há na região, grande formação de nevoeiros, onde predominam ventos do quadrante leste. As geadas ocorrem com frequência entre abril a setembro (ITAQUI, 2002). O clima, em virtude das baixas temperaturas do inverno, desempenha uma seca fisiológica à qual se adaptam as espécies decíduais de clima mais quente e de caráter estacional (KLEIN, 1984).

A forma de vegetação existente na área abrangida pela microbacia de estudo compreende a Floresta Estacional Decidual (caducifólia). Essas florestas correspondem as porções médias e superiores do vale do Uruguai, e da maior parte da vertente sul da Serra Geral e de diversas áreas dispersas pelas bacias dos rios Ijuí, Jacuí e Ibicuí. A composição florística, segundo Klein (1978), é composta por árvores decíduais com até 30 metros de altura no estrato emergente, dentre estas: grápia (*Apuleia leiocarpa*); angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida*); louro-pardo (*Cordia trichotoma*); maria-preta (*Diatenopteryx sorbifolia*); pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*) e canafistula (*Pelthophorum dubium*). No segundo estrato, ocorrem lauráceas, sendo a canela-preta (*Nectandra megapotamica*) a mais representativa, além de exemplares de leguminosas. No estrato das arvoretas, ocorrem o cincho (*Sorocea bonplandii*), a laranjeira-do-mato (*Actinostemon concolor*) e o catiguá (*Trichilia claussenii*). No estrato arbustivo, verificaram-se espécies do gênero *Piper* e *Psychotria*.

Os solos dominantes da região são classificados segundo a SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - de 2006, em: *Argissolo Amarelo Alítico típico* e *Argissolo Bruno Acinzentado Alítico úmbrico* (unidade de mapeamento Santa Maria), *Argissolo Bruno Acinzentado Alumínico típico* (unidade Oásis) e *Argissolo Vermelho Amarelo Alumínico úmbrico* (unidade de mapeamento Júlio de Castilhos), descritos a seguir conforme Streck et al, (2008):

Os elevados teores de alumínio trocável ao longo do perfil são tóxicos para as culturas anuais e frutíferas com sistema radicular profundo. Os solos alíticos por terem atividade de argila mais elevada, necessitam de mais corretivo do que os solos alumínicos, considerando-se a mesma saturação de alumínio para os dois solos. Devido à acidez e a baixa fertilidade natural, os argissolos exigem investimentos em corretivos, fertilizantes e sistemas de manejo para alcançar rendimentos satisfatórios. Os investimentos geralmente são maiores nos solos arenosos, devido serem originados do arenito possuem teores baixos de argila e matéria orgânica, altos de areia, resultando em fertilidade química mais baixa do que os originários de basalto. Por serem mais arenosos, também são mais suscetíveis as erosões e sujeitos a uma decomposição mais rápida dos resíduos culturais. Os solos originados de siltito,

argilito e granito têm um grau de fertilidade química intermediário, porém por serem bastante arenosos também são suscetíveis a erosão (STRECK et al, 2008).

Os municípios que integram a Quarta Colônia de Imigração Italiana encontram-se sob duas unidades fisiográficas de relevo: a depressão central e o planalto meridional.

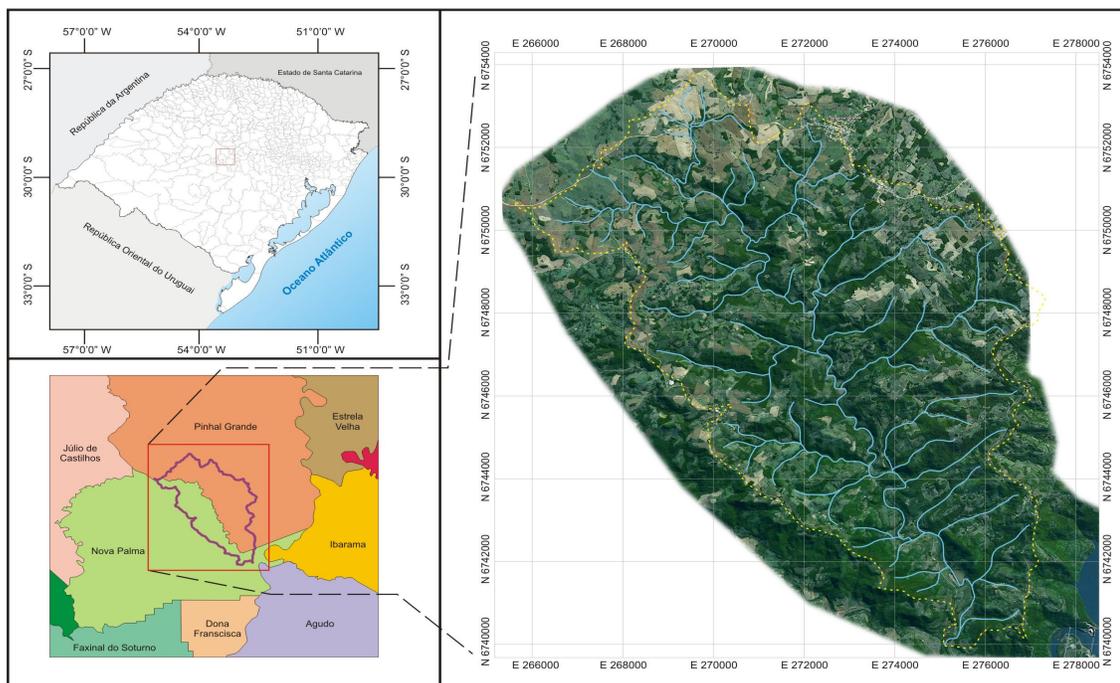
O relevo da depressão central divide-se em coxilhas sedimentares com declínios médios e grandes planícies aluviais. As formações geológicas constam da Formação de Santa Maria (membro Passo das Tropas e Alemoa), Formação Rosário do Sul, Formação Botucatu, Formação Serra Geral e Formação Caturrita. As coxilhas são regiões formadas por sedimentos areníticos e siltitos argilosos de cor vermelha ou amarelada, áreas estas normalmente utilizadas para pastagens. Já a planície aluvial encontra-se ao longo do Rio Soturno e caracteriza-se por ser constituída de sedimentos recentes depositados pelos rios (SILVA, 2000; TREBIEN e VALENTE, 2004).

Estas formações geológicas deram origem a diferentes tipos de solos com limitações moderadas a muito fortes quanto à produção sustentada de um determinado tipo de utilização. A utilização mais comum é a produção de gado de forma extensiva e de culturais anuais de sequeiro nas áreas de coxilha e de arroz por inundação nas áreas de Várzea.

O Planalto Meridional Brasileiro divide-se em Topo do Planalto e Rebordo do Planalto. O Topo de Planalto apresenta-se com relevos côncavos e convexos mais ou menos planos, com inclinação de até 15°, onde facilita-se a prática agrícola. Já o rebordo do planalto apresenta-se com forte ondulação e com montanhas, fortemente declivoso, profundamente desgastado pela ação da erosão fluvial e pluvial. É nesta porção que se encontra a maior parte da vegetação nativa do município de Nova Palma e parte Sul e Sudeste do município de Pinhal Grande, onde está inserida a microbacia de estudo (PIOVEZAN et al, 2004).

Dessa forma, os compartimentos geomorfológicos sobre os quais estão assentados os municípios, formam uma paisagem tipicamente montanhosa, na qual se desenvolve a agropecuária em pequenas e médias propriedades familiares, as quais, muitas vezes, pela acentuada declividade, se tornam de difícil exploração.

Figura 1 — Localização da Microbacia do Arroio Felisberto.



Fonte: Elaboração de Zanetti, C. P.

3.2 Aspectos gerais e econômicos

3.2.1 Município de Nova Palma

O município de Nova Palma abrange aproximadamente 342,40 Km². Encontra-se sob as coordenadas geográficas 29°28'18" S e 53°28'08" W, estando a uma altitude de 117 metros.

Situa-se em sua maior parte, no Planalto Meridional e abrange uma pequena porção na Depressão Central, microrregião geográfica de Restinga Seca.

O início do povoamento de Nova Palma ocorreu por volta de 1883, com uma predominância de colonização alemã e italiana. A produção primária está centrada na prática agrícola, principalmente na produção de feijão, milho e fumo (ITAQUI, 2002).

A ocupação do Município ocorreu de forma a priorizar a produção agrícola para a subsistência dos colonos, incentivou-se a derrubada das matas de forma desordenada para produção de alimentos, o que provocou impactos com conseqüências que verificamos ainda

hoje, ecossistemas fragmentados, solos exauridos (TREBIEN e VALENTE, 2004; DECIAN, 2001).

A cidade tem como eixo econômico a agricultura, com destaque para o cultivo do feijão, milho e fumo. Outras atividades também sustentam a economia do município, tais como: a pecuária, a indústria de beneficiamento do basalto, indústria moveleira, alimentícia, do turismo rural e cooperativismo com destaque para a CAMNPAL (Cooperativa Agrícola Mista Nova Palma Ltda).

Localizada totalmente na Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí é de grande fartura de recursos hídricos, constituída essencialmente por canais pequenos que iniciam seu escoamento no topo do Planalto e pelas reentrâncias do Rebordo, refletindo a distribuição das chuvas ao longo do ano. Além do Rio Jacuí, o pequeno município também é contemplado pelo Rio Soturno, o qual constitui a sub-bacia de maior importância (TREBIEN e VALENTE, 2004).

Nova Palma faz fronteira ao norte com o município de Pinhal Grande, ao sul com município de Faxinal do Soturno e Dona Francisca, ao oeste com o município de Júlio de Castilhos, a leste com Ibarama e Agudo e a sudoeste com o município de Ivorá.

3.2.2 Município de Pinhal Grande

Antiga aldeia indígena, o município de Pinhal Grande localiza-se a uma latitude 29°20'46" sul e a uma longitude 53°18'24" oeste, estando a uma altitude média de 394 metros, compreendendo uma área de 474 Km².

O município esta inserido na unidade geomorfológica do Planalto Meridional, e ao sul e sudeste, compreende uma porção de transição entre o Topo e o Rebordo do Planalto, onde neste setor, o relevo é tipicamente serrano com vales encaixados (SILVA, 1996).

Pertencendo ao município de Júlio de Castilhos até 1992, teve suas terras ocupadas por famílias portuguesas e espanholas, mas o efetivo povoamento se deu por imigrantes italianos, que avançavam com a expansão da fronteira agrícola sobre o Planalto Sul Riograndense (ITAQUI, 2002). O nome atribuído ao município de Pinhal Grande deveu-se à mata nativa, mais especificamente aos pinhais.

A economia do município está ligada historicamente à agricultura e à pecuária, onde predominam as pequenas propriedades rurais. Atualmente, sua economia está baseada na

atividade primária, onde destacam-se as culturas de feijão, fumo, milho e soja, além da bovinocultura e suinocultura. A atividade de piscicultura está em pleno desenvolvimento, como alternativa de produção nas pequenas propriedades economicamente nas atividades de agricultura e pecuária, em sua maioria em pequenas propriedades rurais (ROSSATO, 2004). A principal fonte econômica do município é a usina hidroelétrica de Itaúba situada no rio Jacuí.

A hidrografia existente no município é abundante, onde encontram-se vários cursos d'água permanentes, tais como o Rio Jacuí, que drena o município na parte leste, sendo o de maior importância, e tem-se ainda, o Arroio Ferreira, do Tigre, Redomana e Arroio Felisberto (Rossato, 2004), o qual é o curso principal da microbacia estudada. O município encontra-se totalmente na Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí, pertencendo à microrregião de Santiago.

Limita-se ao norte e oeste com o município de Júlio de Castilhos, ao sul com o município de Nova Palma e a leste com os municípios de Estrela Velha e Ibarama.

3.3 Materiais

3.3.1 Cartas topográficas

Para abranger a área de estudo, a microbacia do Arroio Felisberto, foi necessária apenas uma carta topográfica planialtimétrica, na escala 1:50.000, Folha SH.22-V-C-II-3, MI-2949/3. Esta foi obtida do acervo digital do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Rural do Centro de Ciências Rurais, localizado nas dependências do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais.

A carta topográfica foi elaborada pelo Exército Brasileiro – Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) – Região Sul do Brasil, impressão em 1980, com equidistâncias das curvas de nível de 20 metros, Datum horizontal: Córrego Alegre – Minas Gerais e Datum vertical: Marégrafo de Torres – RS.

3.3.2 Imagens de satélite

As imagens de satélite que compreendem a Microbacia do Arroio Felisberto foram cedidas pelo laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Rural (DER) do Centro de Ciências Rurais (CCR), instalado no INPE, fruto do Projeto Ambiental da Quarta Colônia de Imigração Italiana. São imagens do satélite CBERS 2B, com resolução espacial de 20 metros, obtidas gratuitamente através da Divisão de Processamento de Imagens – DPI do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). As imagens cedidas foram georreferenciadas pela equipe do laboratório de Geoprocessamento DER- CCR.

3.3.3 Equipamentos e aplicativos computacionais

O computador empregado no processamento e análise dos dados apresenta as seguintes configurações: processador Intel (R) Core (TM) 2 Duo CPU T6400 @ – 2.00 Ghz – 4 Gb de memória RAM , Sistema operacional de 32 bits, monitor de 17”.

O aplicativo de Sistema de Informações Geográficas utilizado foi o Arc View - Arc Info versão 9.2 da ESRI, e também o software SPRING - Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas, na versão 5.1.5, desenvolvido pelo INPE.

3.4 Metodologia

3.4.1 Elaboração da base de dados cartográficos

O procedimento de georreferenciamento além de localizar dados na superfície da terra, permite que diferentes dados em diferentes bases referentes a um mesmo local sejam analisados de forma integrada, se necessário. O georreferenciamento da carta foi realizado utilizando o software ArcView – Arc Info, a partir da tomada de pontos de apoio com coordenadas X e Y conhecidas, distribuídos de forma homogênea na carta, utilizando-se a

ferramenta *Georeferencing – Rectify*. Para sua georreferencia, foram adotados 5 pontos de apoio tomados a partir da grade de coordenadas UTM, Datum horizontal Córrego Alegre - Minas Gerais. Posterior ao procedimento de inserção dos pontos de controle confere-se o Erro Médio Quadrático (RMS - Root Mean Square), para que este esteja dentro do valor esperado. Espera-se que o valor do RMS seja inferior a 1, pois assim o valor do erro resultante do procedimento de georreferencia é inferior ao tamanho do pixel da imagem. Em seqüência, foi alterado o sistema de coordenadas para SIRGAS 2000, correspondente ao sistema utilizado na georreferencia da imagem.

Após georreferenciamento da carta, procedeu-se a conversão dos planos de informação existentes anteriormente em formato analógico para o formato vetorial, ou seja, em arquivos *shapefile* (.shp), que armazenam a geometria das entidades. O *shapefile* é um arquivo universal, reconhecido por diversos aplicativos de geoprocessamento. Ele pode ser criado em forma de linha, polígono ou ponto, conforme a necessidade para a representação das feições existentes na área. Assim foram criados os arquivos digitais (planos de informação – *shapefiles*) da rede de drenagem, nascentes, curvas de nível e limite da microbacia de estudo, utilizando-se da ferramenta *Arc Catalog*, do programa já mencionado. O método utilizado foi o de digitalização em tela dos planos de informação.

O *ArcCatalog* é aplicado para administrar as propriedades de dados espaciais e banco de dados, aplicação na administração de suas propriedades de dados de espaço, projetar banco de dados, registros, visualização e administração de dados avançados. Também é utilizado para criar pastas e dados de diversos formatos, importar e exportar para diversos formatos, definir a referência espacial para dados geográficos, entre outros.

Para a delimitação da microbacia, igualmente por meio da digitalização em tela na carta topográfica, foi criado um plano de informação (*shapefile*) na forma de polígono. Para inicializar a digitalização, levou-se em consideração que uma microbacia hidrográfica é uma unidade fisiográfica, limitada por divisores topográficos, que recolhe a precipitação. Os divisores topográficos ou divisores de água são as cristas das elevações do terreno que separam a drenagem da precipitação entre duas bacias adjacentes.

Primeiramente, localizou-se a parte mais baixa do trecho do curso d'água principal. Em seguida, fez-se a marcação do curso d'água principal e dos tributários, estes cruzam as curvas de nível, das mais altas para as mais baixas e definem os fundos de vale. O terceiro passo é delimitar de acordo com os pontos mais altos, com base nas curvas de nível. O limite da bacia circunda o curso d'água e tributários, não podendo nunca cruzá-los; é preciso verificar, próximo a cada limite marcado, se uma gota de chuva que cair do lado de dentro do

limite realmente escoará sobre o terreno rumo às partes baixas (cruzando perpendicularmente as curvas de nível) na direção dos tributários e do curso d'água principal, pois se ela correr em outra direção é porque pertence à outra bacia (ROCHA e KURTZ, 2009).

3.4.2 Elaboração de mapas base

3.4.2.1 Mapa hidrográfico

Após a criação dos *shapefiles* através da ferramenta *Arc Catalog*, iniciou-se a vetorização dos cursos d'água existentes na área de estudo, por meio das cartas topográficas, conforme já descrito anteriormente. Nessa etapa, foram identificados além do rio principal - o Arroio Felisberto, os afluentes e as nascentes da rede de drenagem, para posterior utilização na construção do mapa das Áreas de Preservação Permanente.

Para iniciar o processo de digitalização utilizou-se da ferramenta *Start Editing*, a partir do *menu Editor*, para selecionar o diretório de origem, os respectivos planos de informação e ativação dos mesmos. O processo de digitalização foi realizado com a ferramenta *Sketch Tool*, finalizadas com a ferramenta *Stop Editing* e salvas no *menu Editor – Save Edits*. A rede hidrográfica foi vetorizada em forma de linhas e as nascentes, na forma de pontos.

3.4.3 Elaboração mapas temáticos

3.4.3.1 Mapa das classes de declividade

Segundo Rosa e Brito (2003), o mapa de declividade do terreno constitui-se em um importante instrumento de apoio a estudos de potencialidade de uso agrícola de uma determinada área, quando correlacionado a outros tipos de fenômenos geográficos inerentes à topografia.

Portanto, a escolha das classes de declividade depende do uso do mapa. Distinções baseadas nessas condicionantes são empregadas para prover informação sobre praticabilidade de emprego de equipamentos agrícolas, normalmente os mecanizados, e facultar inferências sobre susceptibilidade dos solos à erosão. Baseado nas declividades críticas para determinado tipo de uso da terra, definiu-se os seguintes intervalos de classes adotadas nesse estudo conforme descrito por De Biase (1992), apresentados na tabela 2 abaixo:

Tabela 2 – Descrição das classes de declividades do solo.

Classes	Percentual (%)	Descrição
1	0-5%	Limite máximo urbano-industrial. No meio rural, compreendem as terras cultiváveis;
2	5-12%	Limite máximo para uso de mecanização agrícola;
3	12 – 30%	Permite apenas o emprego de equipamentos de tração animal ou tratores esteira pela inclinação das vertentes;
4	30 – 47%	Limite máximo para o corte raso de vegetação;
5	47 - 100%	Não permite o corte de florestas; exceto a extração de toros quando em regime de utilização racional.

Fonte: De Biase (1992), adaptação da autora.

Para tanto, a partir do *shapefile* das curvas de nível extraídas da carta topográfica, gerou-se um Modelo Digital do Terreno (MDT), utilizando-se da ferramenta *3D Analyst*. Essa ferramenta gera uma *malha triangular* ou TIN (do inglês “triangular irregular network”). O TIN é uma estrutura do tipo vetorial com topologia do tipo *nó-arco* e representa uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas. Para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenadas as coordenadas de localização (x, y) e o atributo z, com o valor de elevação ou altitude.

Posterior a criação do TIN, foi necessário converter o arquivo vetorial gerado, para formato *raster* utilizando a ferramenta *3D Analyst – Convert*. Na ferramenta *ArcToolbox*, menu *Spacial Analyst Tools – Slope*, criou-se um arquivo raster a partir do TIN, com classes de declividade estabelecidas pelo programa. Na ferramenta *3D Analyst – Reclassify*, as classes de declividade foram determinadas conforme pré-estabelecido por De Biase (1992), e apresentadas em porcentagem. Posterior a isso, o arquivo *raster* foi convertido para polígono,

para que fosse possível quantificar as áreas em cada classe de declividade. Essa última etapa foi realizada na ferramenta *3D Analyst – convert – raster to features*.

3.4.3.2 Mapa das áreas de preservação permanente

Para a obtenção das APPs ao longo da rede de drenagem, foi gerado um *Buffer* de 30 metros em ambos os lados da rede de drenagem, conforme a Lei federal N° 4.771 (Código Florestal) determina em seu artigo 2º, que a faixa de áreas de preservação permanente será de 30 metros em rios ou cursos d'água com largura até 10 metros. Um mapa de distância ou “*buffer*” é definido como sendo uma área de extensão regular, que é desenhada ao redor de um ou mais elementos espacialmente definidos (pontos, linhas ou polígonos). Para tal ação, foi utilizado a ferramenta da lista de comandos *Arc ToolBox*, comando *buffer*.

Para gerar as APPs das nascentes, fez-se da mesma metodologia, porém utilizando-se como dado de entrada, as nascentes. Para estas, foram gerados *buffers* de 50 metros, conforme discrimina a mesma legislação federal anteriormente citada. Para o cálculo das áreas, acessou-se a *Tabela de Atributos* destes polígonos criados, onde todas as áreas aparecem quantificadas parcialmente e também como somatório total.

Para a identificação das áreas consideradas APP's de encostas com declividade superior a 47%, foram necessárias as informações de altimetria da região de interesse. Através da manipulação das curvas de nível e da utilização das ferramentas de análise *3D* para a criação do TIN (*Triangulated Irregular Networks*), pode-se ter a conformação do relevo da área a microbacia. Posteriormente, com o auxílio da ferramenta *Spatial Analyst Tools – Slope* pode-se determinar a geração das classes de declividade a serem analisadas, estabelecendo como critério a opção *degree* (graus). Após, estas foram segmentadas, extraíndo as áreas de declividade maiores de 45° e na seqüência transformadas em *shapefiles*, para posterior quantificação através da *Tabela de Atributos*. Como resultado final obtiveram-se os arquivos em formato *shapefile* com as duas categorias de APP, referentes às áreas de córregos e nascentes e às áreas com declividade maior que 45°, devidamente espacializadas e quantificadas.

Para este estudo, não foram computadas as APPs dos reservatórios mapeados.

3.4.3.3 Mapa de uso do solo

Para a confecção do mapa temático de uso do solo, utilizou-se o programa SPRING, desenvolvido pelo INPE. Optou-se por este software para essa etapa do trabalho, por ser indicado para interação de dados de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas, apresentando-se muito versátil e de confiança para análises desta magnitude.

Conforme já descrito anteriormente, para esse estudo proposto foi utilizada a classificação supervisionada, do tipo por região, na qual utilizou-se o algoritmo de *Bhattacharya*.

De acordo com Moreira (2005), na classificação supervisionada, os procedimentos de análise dos *pixels* baseiam-se unicamente nos seus atributos espectrais, seguindo critérios estabelecidos pelo analista, se tornando um procedimento subjetivo. Por isso, o procedimento de segmentação da imagem é adotado antes da fase de classificação, para dividir a imagem em regiões espectralmente homogêneas e serem usadas na fase de treinamento pelo analista.

O resultado final do processo de segmentação constituiu uma imagem rotulada, na qual cada região representa um determinado valor digital (rótulo) e que posteriormente será classificado. No processo de segmentação realizado neste estudo, foram usados os valores de 10 para similaridade e 20 para área de agrupamento de *pixels*.

O processo de classificação digital de imagens constitui na associação de cada *pixel* a uma parte ou a um todo de um objeto do mundo real. Estes devem estar associados à identificação de um tipo qualquer de cobertura da superfície do solo, sendo usada para extração de informações temáticas.

Para a área de estudo adotou-se a coleta de 20 amostras distribuídas para cada classe de uso da terra, de acordo com a interpretação das imagens e visualização na ferramenta Google Earth, onde foram geradas as respectivas assinaturas espectrais para cada classe adotada, que foram as seguintes: *Florestas, Agricultura - Solo exposto, Campo e Lâmina d'água*. Neste estudo, não foi possível diferenciar a classe *agricultura de solo exposto*, pois a composição de cores da imagem não permitia tal feito, mostrando-se com atributos espectrais muito semelhantes. Entende-se que em determinados períodos do ano, uma área em que há o uso para culturas anuais, áreas com rotação de culturas, terras onde já foi efetuada a colheita ou em que esta sendo preparada a terra para o plantio, caracterizando períodos de pousio, podem ser consideradas como áreas de solo exposto, conforme a refletância apresentada na imagem.

Ao final do processo de classificação digital, foram obtidos mapas de uso e cobertura do solo sendo possível a partir destes, quantificar a área de cada uma das classes adotadas.

3.4.3.4 Mapa das áreas de conflito

Inicialmente, para a geração do Mapa de conflitos, foram necessários previamente os mapas de APP e do Mapa de Uso do Solo, com os respectivos shapefiles que fizeram a composição dos mesmos. Para que se obtesse o referido mapa, foram integradas as informações dos arquivos das APPs com os arquivos de cada classe do mapa de Uso do Solo, individualmente. Através do menu *Overlay* na ferramenta *Arc Toolbox*, foram gerados novos shapefiles com os resultados obtidos da integração temática de cada correlação. Posteriormente a isso, estes resultados foram espacializados num único mapa, onde foram inseridas as áreas de APP, de Uso do solo e o resultado da correlação entre ambos, sobrepostas. Para a quantificação de cada classe de conflito, foi utilizada a *Tabela de Atributos*, onde foram acessadas as informações individuais e o somatório geral.

3.4.4 Edição final dos mapas

A edição dos mapas foi realizada no *ArcMap*, no módulo *Layout View*, onde adicionou-se os elementos básicos de um mapa temático: planos de informações, indicação do norte, grade do sistema de coordenada, título, legendas, escala e dados adicionais. Após a confecção dos mapas temáticos, os mesmos foram exportados no formato *.pdf.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Mapas base

4.1.1 Rede hidrográfica

A microbacia de estudo compreende uma área territorial de 80,76 Km², onde 62,21% do total de área desta estão compreendidos no município de Pinhal Grande, correspondendo a 50,24 Km².

A rede hidrográfica em sua extensão total, incluindo ravinas, canais e tributários, apresenta 121,08 Km, sendo que o curso d'água principal, o Arroio Felisberto, apresenta 22,08 Km de extensão. O mapa da rede de drenagem encontra-se no Apêndice A.

4.2 Mapas temáticos

4.2.1 Classes de declividade

Os valores das cotas altimétricas foram agrupados em cinco classes, propostas por De Biase (1992), como descrito anteriormente na metodologia deste trabalho. Na Tabela 3, estão quantificadas as classes de declividade da microbacia do Arroio Felisberto e a respectiva contribuição percentual de cada classe para a área total da microbacia:

Tabela 3- Quantificação das classes de declividades do solo.

Classes (%)	Área (ha)	Área (%)
0 - 5%	1.917,6820	23,74
5 - 12%	780,1594	9,66
12 - 30%	2.656,2800	32,89
30 - 47%	1.623,3199	20,10
> 47%	1.098,7367	13,60
TOTAL	8.076,1780	100,00

Fonte: A autora

A classe de declividade de 0 – 5% compreende uma área de 1.917,6820 ha, correspondendo a 23,74 % do total da área, encontrando-se basicamente ao longo da rede de drenagem. Nessa declividade, caracterizada por relevo plano, encontram-se terras cultiváveis, onde recomenda-se alguns cuidados na conservação dos solos, tais como: rotação de culturas, plantio direto, evitar-se as queimadas, e também evitar a exposição do solo, através de revestimento vegetal nas épocas de preparo do solo para receber outra cultura (DE BIASE, 1992). Previne-se com tais medidas cautelosas, a degradação ambiental, de forma que ao mesmo tempo, cumpre-se a legislação ambiental (Lei Federal nº 4.771 - Código Florestal).

A classe que compreende declividades de 5 – 12% correspondem a 780,1594 ha de área da microbacia, o que representa 9,66 % deste total. É verificada principalmente nos extremos dos limites da microbacia, distribuindo-se pelo rebordo do planalto caracterizando um relevo suave ondulado a ondulado. De Biase (1992) recomenda as mesmas medidas cautelosas para conservação dos solos citadas para a classe de 0 -5%, e define essa faixa como sendo o limite máximo do emprego de mecanização da agricultura, assim como no cultivo do solo, que deve ser de forma amena.

Conforme exposto na tabela, a classe predominante compreende declividades entre 12 – 30%, encontradas ao longo de toda a área de estudo, correspondendo a 2.656,2800 ha, ou 32,89 % do total da área. Caracteriza um relevo ondulado a ondulado médio, bastante comum na região do rebordo do planalto. Conforme De Biase (1992), para essa classe de declividade recomenda-se o controle da erosão em encostas, plantio em curvas de nível com barreiras vegetais, terraceamentos, evitar a compactação do solo e o uso incorreto de equipamentos agrícolas. Não há restrição de culturas permanentes, mas o reflorestamento deve ser bem planejado.

As declividades entre 30 – 47% representam 20,10 % da área da microbacia, equivalente a 1.623,3199 ha. Nessa classe de declividade, caracterizado por relevo fortemente ondulado, é permitido somente o cultivo de vegetação permanente, e reflorestamentos. A declividade de 47% é a máxima permitida para execução de corte raso em vegetação, conforme Lei Federal nº 4.771.

A classe com declividades superiores a 47% é onde ocorrem os maiores problemas ambientais, e por conta disso, as restrições para uso do solo nessas frações são muito severas, mesmo que esta representa apenas 13,60 % do total de área, ou, 1.098,7367 ha. O artigo 10º do código florestal determina que nesta faixa de declividade, não é permitido a derrubada de florestas, com exceção a extração de toras quando em regime de utilização racional, que vise a rendimentos permanentes, de forma a evitar a erosão dos solos.

Pode-se concluir que o relevo da região de estudo varia entre suaves ondulações até fortemente ondulado, mas predominam declividades entre 12-30%, o que caracteriza um relevo montanhoso, bastante comum na região do rebordo do planalto, onde se localiza a área de estudo. As áreas com declividades acima de 47%, consideradas como áreas de preservação permanente pela legislação (Código Florestal), são pouco representativas em comparação com as demais classes de declividades encontradas na área. O mapa das classes de declividade encontra-se no Apêndice B.

4.2.2 Uso do solo

Como já descrito anteriormente, o processo de classificação digital das imagens foi realizado de forma supervisionada através do algoritmo *Bhattacharya* e com o auxílio da técnica de Segmentação. Os padrões de uso e cobertura da terra amostrados e mapeados nas imagens da sub-bacia foram determinados com base somente na imagem, onde foi possível distinguir as seguintes classes temáticas:

- Vegetação arbórea: sendo consideradas todas as formações florestais localizadas nas áreas de encosta, ao longo da rede de drenagem e demais capões de mato nativo encontrados no local;

- Campo: áreas dispersas em toda microbacia, considerados os campos nativos e áreas de pastagens implantadas;

- Agricultura: áreas com cobertura agrícola, áreas cobertas por agricultura irrigada e também, para este estudo, foram consideradas as áreas de solo exposto. Para tanto, considerou-se que estas são áreas de terra preparadas para o cultivo, culturas recentemente implantadas, ou ainda, áreas onde a colheita é recente;

- Lâmina d'água: consideraram-se quaisquer corpos d'água, açudes, barragens e canais fluviais.

O mapa da classificação do uso do solo encontra-se no Apêndice C. Na tabela 4, estão representadas as classes de uso do solo as quais foram possíveis identificar no estudo da imagem do satélite CBERS - 2B, e a porcentagem que representam em relação ao total da área da microbacia:

Tabela 4 – Quantificação das classes de uso do solo.

Classes	Área (ha)	Área (%)
Vegetação arbórea	3.177,2770	39,34
Campo	1.160,4944	13,13
Agricultura	3.836,1097	47,50
Lâmina d'água	2,2970	0,03
TOTAL	8.076,1780	100,00

Fonte: A autora

O uso do solo correspondente à classe das florestas - vegetação arbórea, somam 3.177,2770 ha. Esta cobertura do solo representa 39,34 % do total da área de estudo e encontra-se predominantemente ao longo dos cursos d'água, aparecendo em forma de mata de galeria, e, em áreas com declividades superiores a 30 %, além de manchas dispersas em toda a área. Nas áreas declivosas, a cobertura vegetal ocorre nas encostas de morros do rebordo do Planalto Meridional, ocorrendo de forma mais intensa na região sudeste da microbacia. Justifica-se a ocorrência dessas florestas especificamente em áreas declivosas, devido à dificuldade em se utilizar essas áreas para outros fins aliada à proibição da utilização dessas áreas pela Lei Federal nº 4.771 - Código Florestal, juntamente com maior fiscalização por parte dos órgãos competentes.

A classe correspondente a cobertura do solo por campos, somam 1.160,4944 ha. Percebe-se que essa classe aparece mais freqüentemente nas áreas onde a declividade está entre 0 – 12 %, caracterizadas por relevos planos, suaves ondulados e ondulados, áreas estas últimas, também denominadas de coxilhas. As coxilhas são muitas vezes utilizadas para criação extensiva de gado, constituídas de gramíneas ora esparsas e pouco desenvolvidas, ora com bom grau de desenvolvimento, sendo assim chamados de campos sujos, potencializando de forma distinta a ocupação de animais. Há também a ocorrência de campos em áreas com declividades superiores a 12 %, mais na porção sul e sudoeste da área de estudo, porém, estas frações são de pequena expressividade.

Para a classificação da classe de uso do solo referente à agricultura, foram consideradas áreas de solo exposto e áreas onde era possível a distinção na imagem a ocorrência de cultura anual. Em áreas determinadas como solo exposto, estão inseridas áreas lavradas para a introdução de culturas agrícolas ou em pousio.

A ocupação dos solos pela atividade de agricultura ocorre de forma predominante, representando 47,50% da área da microbacia, que significa um total de 3.836,1097 ha. Essa classe de uso do solo ocorre com maior frequência em áreas onde a declividade é baixa, entre 0 a 12%, caracterizadas por serem áreas de terras cultiváveis, próprias para culturas anuais. No entanto, verificam-se também locais onde há atividade de agricultura em áreas com declividades entre 12 – 30 %. Nesses locais, o cultivo agrícola requer maiores cuidados, utilizando-se de técnicas conservacionistas, conforme já mencionado anteriormente.

A classe corpos d'água somam 2,2970 ha. Estes são predominantemente reservatórios artificiais ou naturais utilizados para o abastecimento e para irrigação das lavouras. Ocorrem em maior frequência na porção norte da microbacia, dispersos próximos aos limites, onde as declividades não são superiores a 12 %.

4.2.3 Áreas de Preservação Permanente

Para a discriminação das APPs este estudo baseou-se na Legislação Federal N° 4.771, de 15 de setembro de 1965 – Código Florestal, o qual em seu artigo 2° determina as faixas de APP conforme a largura dos cursos d'água, ao redor de reservatórios artificiais e naturais, nas nascentes, topos de morro e declividades maiores que 45°. No entanto, foram apenas quantificadas APPs referentes aos cursos d'água, nascentes e conforme a declividade, a qual a lei se refere. O mapa que ilustra esse estudo se encontra no Apêndice D.

A partir da quantificação total das áreas de preservação permanente, estas perfazem um total de 819,2758 ha. Na faixa marginal de 30 metros para os cursos d'água, foram encontradas 695,2766 ha de APP. As APPs das nascentes representam 47,7833 ha enquanto que 76,2160 ha somam as áreas consideradas APPs em áreas declivosas.

O total de APPs representa 10,14 % em relação aos 8.076,1780 ha que a microbacia engloba, percentual de área considerado inadequado para outros fins segundo prevê a lei ambiental (Código Florestal), devendo ser mantido intacto.

4.2.4 Conflitos uso do solo X áreas de preservação permanente

A partir das quantificações das APPs, expostas na tabela 5, foi possível estabelecer os potenciais conflitos existentes de uso do solo onde os usos por agricultura ou campo se encontram em locais qualificados como APPs. O mapa que traz essas informações se encontra no Apêndice E.

Tabela 5 – Quantificação das áreas de conflitos ambientais

Ocupação em APP por:	Área (ha)	Área (%)
Vegetação arbórea	509,7613	62,22
Campo	45,9643	5,61
Agricultura	263,5502	32,17
TOTAL	819,2758	100,00

Fonte: A autora

Analisando a classe de campo, a qual representa 1.160,4944 ha de uso do solo na microbacia, verifica-se que 45,9643 ha se encontram em áreas de APP, representando 5,61 % do total dessas áreas.

A classe de agricultura, representando a cobertura de 3.836,1097 ha na área de estudo, ocupa 263,5502 ha em áreas de preservação, ou seja, 32,17% do total de áreas de APP são usadas indevidamente por essa classe. A ocupação das áreas de preservação permanente por essa classe de uso do solo se acomete ao fator histórico de ocupação e destinação para as terras da região ser de caráter essencialmente agrícola. Aliado a isso, a política do governo nos anos em que se incentivavam a colonização por imigrantes, não tinha preceitos preservacionistas, não havendo a preocupação com os mananciais e as florestas. Com as mudanças da legislação ambiental aliado à fiscalização mais rigorosa por parte dos órgãos competentes, têm-se a esperança que essas áreas de conflitos se reduzam, dando espaço para a floresta se regenerar e fazer sua função ecológica de proteção aos mananciais.

Como pode-se observar, a maior parte das áreas de preservação se encontram em locais de ocorrência de florestas naturais. Somam 509,7613 ha de florestas de APP,

representando 62,22 % do total dessas áreas, encontradas ao longo dos rios, nascentes e em áreas com declividade superior a 45°, que estão em conformidade com a Legislação Federal, responsável pela proteção à essas áreas.

Pode-se concluir que parte da porcentagem das áreas que estão ambientalmente preservadas se encontra em zonas onde a declividade é superior a 30% e 47%, fator que pode ter dificultado a exploração de forma predatória.

Do ponto de vista ecológico, as zonas ripárias ou matas de galeria têm sido consideradas como importantes corredores para o movimento da fauna, assim como para a dispersão de sementes, essencial aos processos de regeneração natural. Além disso, Lima (1989) destaca a importância das zonas ripárias na manutenção da integridade da microbacia hidrográfica, representada por sua ação direta numa série de processos importantes para a estabilidade da microbacia, para a manutenção da qualidade e da quantidade de água, assim como para a manutenção do próprio ecossistema aquático.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de imagem de média resolução espacial (CBERS 2B) permitiu a elaboração do mapeamento através da classificação digital realizada no aplicativo Spring 5.1.3, de 4 classes de uso do solo: *Agricultura*, *Campo*, *Vegetação arbórea* e *Lâmina d'água*, se mostrando eficiente na identificação dos grandes conjuntos de uso do solo.

O aplicativo ArcGis-ArcInfo 9.2 utilizado na elaboração dos mapas temáticos de recursos hídricos, classes de declividade, áreas de preservação permanente e de conflitos ambientais, mostrou-se uma ferramenta de grande potencial para análises dessa natureza, pois permite versatilidade na manipulação e geração de dados.

Conforme a exposição dos dados, a classe de uso do solo *Agricultura* predomina na Microbacia, representando 47,50% do total da área, somando 3.836,1097 ha. A classe *Vegetação arbórea* também tem uma grande cobertura, ocupando 3.177,2770 ha. A partir da quantificação das Áreas de Preservação Permanente, estas perfazem um total de 819,2758 ha, representando 10,14% de área do total da Microbacia. Desses 10,14% de área de APP, 263,5502 ha encontram-se utilizados de forma imprópria, pela *Agricultura*. No entanto, 509,7613 ha de APP encontram-se em áreas onde há cobertura vegetal por florestas, ao longo de rios, nascentes e áreas declivosas, onde as atividades exploratórias respeitaram zonas consideradas de preservação pela legislação ambiental.

Com os resultados das análises, percebe-se que na Microbacia do Arroio Felisberto existe a transformação do meio ambiente pela ação antrópica, resultando em áreas onde a intervenção humana não respeita locais considerados de preservação permanente pela legislação ambiental. No entanto, pode-se considerar que os conflitos existentes nessa Microbacia são de baixo nível de degradação, devido à alta porcentagem de área de APP que se encontra em conformidade com a legislação ambiental, representando essas áreas, mais de 60% do total mapeadas.

As transformações do meio ambiente pela ação antrópica têm como princípio a ocupação territorial desorganizada, em áreas consideradas de risco ou de preservação permanente. No caso da Microbacia do Arroio Felisberto, a ocupação das terras foi impulsionada pela exploração máxima dos recursos naturais juntamente com a implantação de lavouras nas pequenas propriedades, na busca pelo desenvolvimento da região. Como ocorreu na maioria das colônias do País, essa ocupação se deu geralmente próximo aos cursos d'água,

provocando a fragmentação das florestas e sem a consciência conservacionista de proteção às nascentes e aos mananciais.

Mesmo que a ocupação das Áreas de Preservação Permanente não seja um fator crítico nesta área estudada, deve-se ressaltar a importância da manutenção das florestas ciliares para a conservação dos solos e prevenção à erosão do leito do rio. Do mesmo modo, os topos de morro e encostas devem ser mantidos intactos, evitando mesmo as pequenas práticas agrícolas e a extração de madeira nativa. Dessa forma, diminui-se a exposição dos solos à erosão acelerada, que quando não controlada pode resultar em profundos sulcos ou voçorocas com riscos de deslizamentos de terra, e, cumprem-se as restrições que o Código Florestal impõe.

Portanto, afirma-se que o uso de técnicas de Sensoriamento Remoto e de SGI foram bastante satisfatórias na discriminação do uso do solo, assim como a integração dos dados georreferenciados dentro de um banco de dados mostrou ser uma ferramenta fundamental para o planejamento de uso do solo a nível de microbacia. Com a realização da análise do uso e ocupação do solo da Microbacia do Arroio Felisberto, foi possível ter uma visão mais ampla e precisa sobre quais são os elementos que compõem a paisagem da Microbacia, como eles estão dispostos nesta paisagem e o que eles representam em relação à área total. Com a localização das Áreas de Preservação Permanente, foi possível a quantificação e espacialização da atual situação de conservação e proteção destas áreas, bem como a indicação de atividades exploratórias em locais inadequados. Sendo assim, a metodologia proposta aliada as técnicas utilizadas tornou possível a contemplação dos objetivos buscados neste trabalho, de forma satisfatória.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C.; ANDRADE, H. Sistemas de informação geográfica na avaliação de impactos ambientais provenientes de atividades agropecuárias. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 202, ago./set. 2000.

ALVES, S. C. A água como elemento fundamental da paisagem em microbacias. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 9-14, nov./dez. 2000.

ARAÚJO, M.; COSTA, R. D. G. Planejando o Uso da Propriedade Rural: A reserva legal e as áreas de preservação permanente. **Jornal Agora**, Itabuna, abr. 2002. Caderno de Meio Ambiente, nº 8. Disponível em:
<<http://www.iesb.org.br/biblioteca/A%20Reserva%20Legal%20e%20as%20APPs.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2010.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na agricultura**. 2 ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa – SPI/ Embrapa – CPAC, 1998. 434p.

BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: Editora da USP, 2001.

BENEDETTI, A. C. P. **Análise espacial do uso e cobertura da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal, Santa Maria/RS**. 2006. 125f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Santa Maria, RS. 2006.

BOZZA, A. N. et al. Conscientização Sobre a Importância da Mata Ciliar Realizada com Alunos do Ensino Fundamental da Escola Sistema Educacional Realidade. Pontifícia Universidade Católica de Campinas – São Paulo. 2005. **Anais eletrônicos...** São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.enapet.ufsc.br/anais/Conscientizacao_sobre_a_importancia_da_mata_ciliar_realizada_com_alunos_do_ensino_fundamental_da_escola_sistema_educacional_realidade_campinas-sp.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2010.

BRAGA, E. L. et al. Mapeamento de Solos Utilizando Técnicas de Geoprocessamento. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, abr. 2009. Disponível em:
<<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.23.04.21/doc/3605-3611.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2011.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 15 set. 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm>. Acesso em: 13 ago. 2010.

_____. Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 13 out. 2011.

CÂMARA, G. Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas: Visão atual e perspectivas de evolução. In: ASSAD, E. D. & SANO, E. E. **Sistema de informação Geográfica: Aplicações na agricultura**. 2.ed. Brasília: EMBRAPA e CPAC, 1993.

CÂMARA, G; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.V; DAVIS, C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-introducao.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2011.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. de. Princípios básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO E. E. (Org.). **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 274.

CÂMARA, G; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação. In: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V; DAVIS, C. **Introdução à Ciência da Geoinformação** INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2011.

CASTRO, L. I. S. et al. SIG aplicado no conflitos de uso da terra em área de preservação permanente. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, abr. 2009. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.21.46/doc/3651-3656>>. Acesso em: 12 jun. 2011.

CECÍLIO, R. A.; REIS, E. F. **Apostila didática: manejo de bacias hidrográficas**. Desenvolvido por: Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural. Alegre, 2006. 10p. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/16603178/01-NoC3A7C3B5es-introductC3B3rias>>. Acesso em: 08 mar. 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasil. **Resoluções do Conama**: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008. 2. ed. Brasília, 2008. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LivroConama.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2011.

DE BIASE, M. **A Carta Clinográfica: Os métodos de representação e sua confecção.** São Paulo: Instituto de Geografia/ USP, 1992. p. 45-53.

DECIAN, V. S. **Uso de geoprocessamento na determinação de áreas de conflito na microbacia do Arroio Portela - Nova Palma/RS.** 2001. 58f. Monografia (Especialização em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2001.

DUARTE, S. M. A. et al. Levantamento de solo e declividade da microbacia hidrográfica Timbaúba no Brejo do Paraibano, através de técnicas de fotointerpretação e sistema de informações geográficas. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, 2º. Semestre, 2004. Disponível em: <<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=50040204>>. Acesso em: 12 mai. 2010.

FATORGIS, INFORMAÇÃO E NEGÓCIOS EM GEOTECNOLOGIAS. **Geoprocessamento – Definições Técnicas.** 2009. Disponível em: <http://www.fatorgis.com.br/geotecnologias_tecnicas.asp>. Acesso em: 04 out. 2009.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas.** Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FELIPE, J. O. **O código florestal em seus principais tópicos.** São Paulo: Giz Editorial 2007. 63p.

FILHO, L. L. V. D. **Mapeamento de unidades de relevo da sub-bacia hidrográfica do Rio Soturno, RS.** 2007. 64 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

FOGIATO, S.M. **Geotecologias aplicadas à área ambiental: estudo de caso nas microbacias hidrográficas da Sanga da Taquara e do Arroio Inhamanda no município de São Pedro do Sul – RS.** 2006. 69p. Dissertação (Mestrado em Geomática)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006. Disponível em <http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1417>. Acesso em: 12 jul. 2011.

IGNACIO, E.D.; ATTANASIO, C.M.; TONIATO, M.T.Z. Monitoramento de plantios de restauração de florestas ciliares: Microbacia do Ribeirão São João, Mineiros do Tietê, SP. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 137-148, dez. 2007. Disponível em:

<http://www.iflorestal.sp.gov.br/publicacoes/revista_if/rev19-2pdf/137-148.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Brasília, 2007. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br/MME2007/RS/PINHAL%20GRANDE.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2011.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2011a. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>>. Acesso em: 09 jul. 2011.

_____. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2011b. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 22 jul. 2011.

ITAQUI, J. **Quarta Colônia: Inventários Técnicos – Flora e Fauna**. Santa Maria: Condesus Quarta Colônia, 2002. 256 p.: il.

JACOVINE, L. A. G. et al. Quantificação das áreas de preservação permanente e de reserva legal em propriedades da bacia do Rio Pomba-MG. **Revista Digital**. Revista Árvore, Viçosa - MG, v. 32, n. 2, mar./abr., 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622008000200010&script=sci_arttext>. Acesso em: 22 jul. 2010.

KAUANO, E. E.; PASSOS, E. Análise do Uso da Terra em Áreas de Preservação Permanente da Bacia Hidrográfica do Rio da Gama, Tijucas do Sul, Paraná. **Revista Acadêmica Ciência Agrária Ambiente**. Curitiba, v. 6, n. 2, p. 181-190, abr./jun. 2008. Disponível em: <<http://www2.pucpr.br/reol/index.php/ACADEMICA?dd1=2393&dd99=view>>. Acesso em: 15 jul. 2011.

KLEIN, R. M. Síntese Ecológica da Floresta Estacional da Bacia Jacuí e importância do reflorestamento com essências nativas (RS). In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 5., 1984, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata, 1984.

_____. **Mapa fitogeográfico do Estado de Santa Catarina**. Itajaí: SUDESUL/FATMA/Herbário “Barbosa Rodrigues”, 1978. 24p.

LIMA, W. P. 1989. **Função hidrológica da mata ciliar**. Simpósio sobre Mata Ciliar. Fundação Cargill: 25-42.

LIMA, W. P.; ZAQUIA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. 2009. **IPEF- Instituto de Pesquisas Florestais**. Disponível em: <<http://www.ipef.br/hidrologia/mataciliar.asp>>. Acesso em: 17 out. 2010.

LINHARES, C. A. **Influência do desflorestamento na dinâmica da resposta hidrológica na bacia do Rio Ji-Paraná / RO**. 2005. 219p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

MACHADO, C. A. S.; QUINTANILHA J. A. **Apostila Teórica 1: Sensoriamento Remoto**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, 2008. Disponível em: <http://www.poli.usp.br/d/ptr2389/PTR2355_Apostila_SR.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2011.

MACHADO, E. R. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002, 166p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde.../ronalton.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2010.

MADRUGA, P. R. A.; SALBEGO, A. G. **ArcGIS 8.3: Curso Básico**. 2005, 38f. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Santa Maria, RS. 2005.

MARION, F. A. et al. Expansão da Fronteira Agrícola e Reordenação Territorial. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA JORNADA ARIIVALDO UMBELINO DE OLIVEIRA, 2005, Presidente Prudente. **Anais eletrônicos...** São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://repositorio.furg.br:8080/jspui/bitstream/1/1259/1/Expans%C3%A3o%20da%20Fronteira%20Agr%C3%ADcola%20e%20Reordena%C3%A7%C3%A3o%20Territorial.pdf>>. Acesso em 11 ago. 2011.

MARTINS, F. B. et al. Zoneamento Ambiental da sub – bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). Estudo de caso. **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 315-322, jul./set. 2005. Disponível em: <<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=74411310>>. Acesso em: 05 ago. 2010.

MELLO FILHO, J. A. de. **Qualidade de vida na Região da Tijuca, por Geoprocessamento**. 2003. 288 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005. 425p: il.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed. rev. e ampl. Viçosa: Ed. da UFV, 2005. 307p.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42p.

NIMER, E. Clima. In: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil- Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1990. p.151-187.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2008. 362p.

PADILHA, D. G. **Geoprocessamento Aplicado na Caracterização da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica Arroio Grande - RS**. 2008. 87 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

PIOVEZAN, G. et al. Desmatamento em áreas com declive acentuado na localidade Linha Base, no município de Nova Palma – RS. **Disciplinarum Scientia**. Série: Ciências Humanas, v. 5, n. 1, p. 17-25, 2004. Disponível em: <<http://sites.unifra.br/Portals/36/CHUMANAS/2004/desmatamento.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2011.

RESENDE, R. U. **As regras do jogo: legislação florestal e desenvolvimento sustentável no Vale do Ribeira**. 1, ed. São Paulo: Annablume: Fapesp. 2002. 198 p. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=7-8nObTfItIC&printsec=frontcover&dq=as+regras+do+jogo&cd=2#v=onepage&q=&f=false>>. Acesso em: 23 nov. 2010.

RIBEIRO, C. A. A. S. et al. Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Amazônia Legal. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO-OESTE, 2., 2002, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: 2002. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/novo/ii_simp_rec_hidric_centro_oeste_campo_grande25.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2010.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2000. 220p.

ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. de J. M. **Manual de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. 4. ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2001. 282 p.

ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. de J. M. **Manual de fotointerpretação**. 4. ed. rev. e ampl. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2009. 608 p.

RODRIGUES, V. A. **Apostila de microbacias hidrográficas**. Material didático para o 5º ano do curso de Engenharia Florestal. UNESP, FCA, Botucatu, 1998, 85 p. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/microbacias/artigos/A%20Import%C3%A2ncia%20das%20Macro%20e%20Microbacias%20Hidrogr%C3%A1ficas%20no%20Contexto%20Local.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2010.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 2. ed. rev. Uberlândia: Ed. da UFU, 1992. 335p.

ROSA, R; BRITO, J. L. S. Mapa hipsométrico e de declividade do terreno da Bacia hidrográfica do Rio Araguari – MG. In: II SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA- Perspectivas para o cerrado no século XXI. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: nov. 2003. Disponível em: <<http://www2.unemat.br/ppgat/docs/artigos/artigo17.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2011.

ROSSATO, A. **Uso do SIG no suporte ao planejamento no município de Pinhal Grande/RS**. 2004. 150f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2004.

SABANÉS, L. **Manejo sócio-ambiental de recursos naturais e políticas públicas: um estudo comparativo dos projetos “Paraná Rural e Microbacias”**. 2002. 97 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2879/000327727.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 09 mar. 2011.

SILVA, A. de B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Ed. da Unicamp, 2003. 232p.

SILVA, E. P. **Caracterização e mapeamento de problemas ambientais da área urbana do município de Nova Palma - RS**. 2000. 35f. Monografia (Trabalho de Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

SILVA, M. S. **Sistemas de Informações Geográficas: elementos para o desenvolvimento de bibliotecas digitais geográficas distribuídas**. 2006. 167f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Informação) – Faculdade de Filosofia e Ciências, Universidade Estadual Paulista, Marília, 2006. Disponível em: <http://www.enancib.ppgci.ufba.br/premio/UNESP_Santos.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2010.

SILVA, S. S. **Análise das feições do relevo na microbacia hidrográfica do Rio Ferreira no município de Pinhal Grande (RS), referente à suscetibilidade a atuação dos agentes erosivos.** 1996, 49f. Especialização (Especialização em Geociências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1996.

SKORUPA, L. A. Áreas de Preservação Permanente e Desenvolvimento Sustentável. **EMBRAPA MEIO AMBIENTE.** Jaguariúna, Dezembro, 2003. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Skorupa_areasID-GFiPs3p4lp.pdf>. Acesso em: 12 set. 2010.

SPORL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais.** 2007. 113f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-10102007-145640/>>. Acesso em: 25 out. 2010.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2.ed. rev. e ampl. Porto Alegre: EMATER-RS/ASCAR, 2008. 222p.

TREBIEN, R. C; VALENTE, V. A organização socioeconômica e espacial da cidade de Nova Palma – RS. **Disciplinarum Scientia.** Série: Ciências Humanas, v. 5, n. 1, p. 1-16, 2004. Disponível em: <http://sites.unifra.br/Portals/36/CHUMANAS/2004/a_organizacao.pdf>. Acesso em: 15 out. 2011.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. da UFRGS/ABRH, 1993.

UIEDA, W.; PALEARI, L. M. **Flora e fauna: um dossiê ambiental.** São Paulo: Ed. da Universidade/Unesp, 2004. 223p. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=pR02Ut1hTXUC&printsec=frontcover&dq=flora+e+fauna+dossie&cd=1#v=onepage&q=&f=false>>. Acesso em: 23 out. 2010.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. dos. Técnicas de classificação de imagens para análise da cobertura vegetal. In: ASSAD, E. D. & SANO, E. E. (Org.). **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura.** 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 351-371.

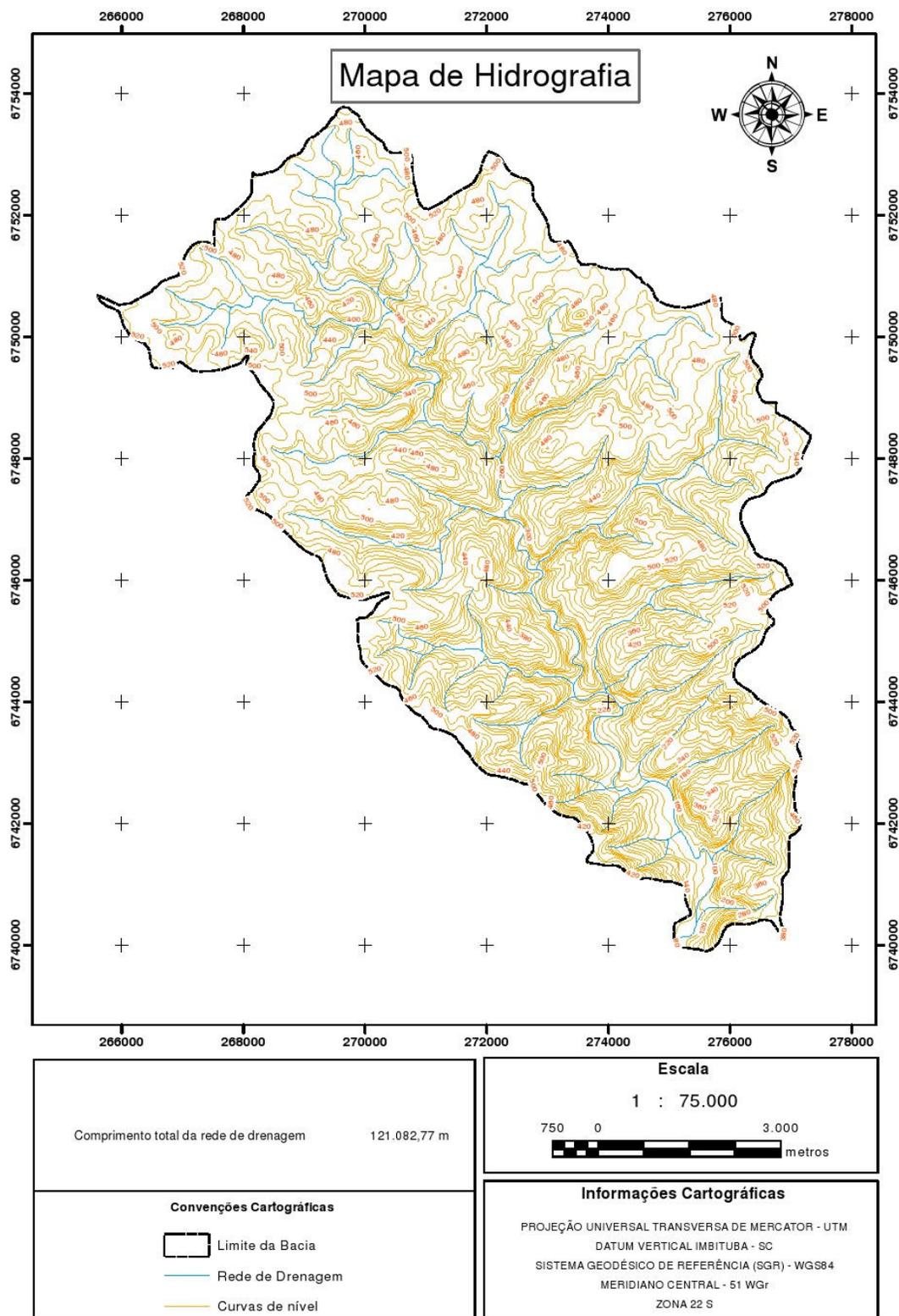
VESTENA, L. R.; THOMAZ, E. L. Avaliação de Conflitos entre Áreas de Preservação Permanente Associadas aos Cursos Fluviais e uso da terra na bacia do Rio das Pedras. **Ambiência - Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais.** v. 2, n. 1, jan./jun. 2006. Disponível em: <<http://www.unicentro.br/editora/revistas/ambiencia/v2n1/6-%20Avalia%E7%E3o%20de%20conflitos.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2010.

XAVIER DA SILVA, J. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. Rio de Janeiro: Ed. da UFRJ, 2001. 228p.

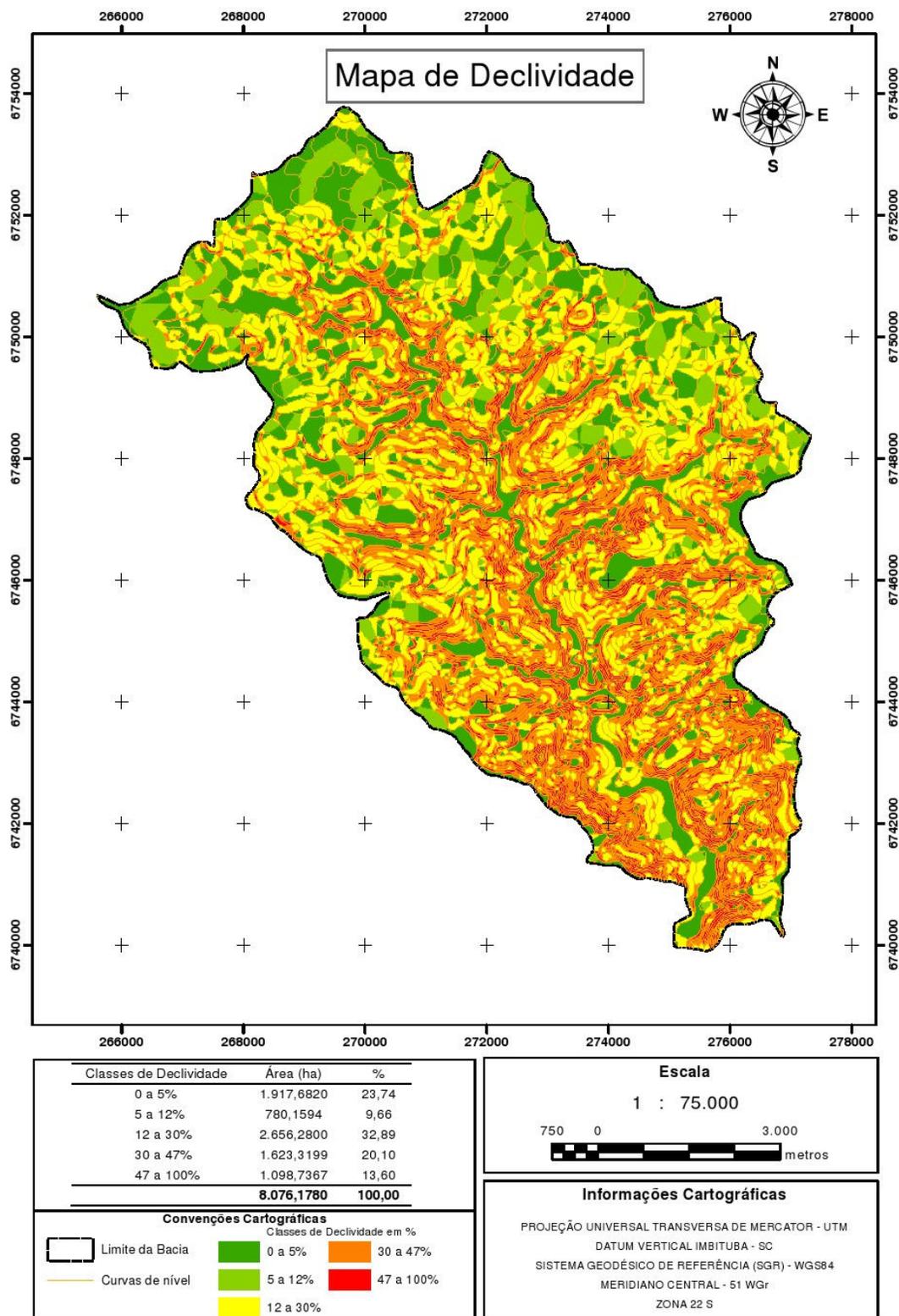
YOUNG, A. F. e CARMO, R. L. Transformações na paisagem, mudanças no uso do solo e planejamento: o sensoriamento remoto como instrumento de análise no caso de Curitiba. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, abr. 2007. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.18.44/doc/5551-5559.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2011.

APÊNDICES

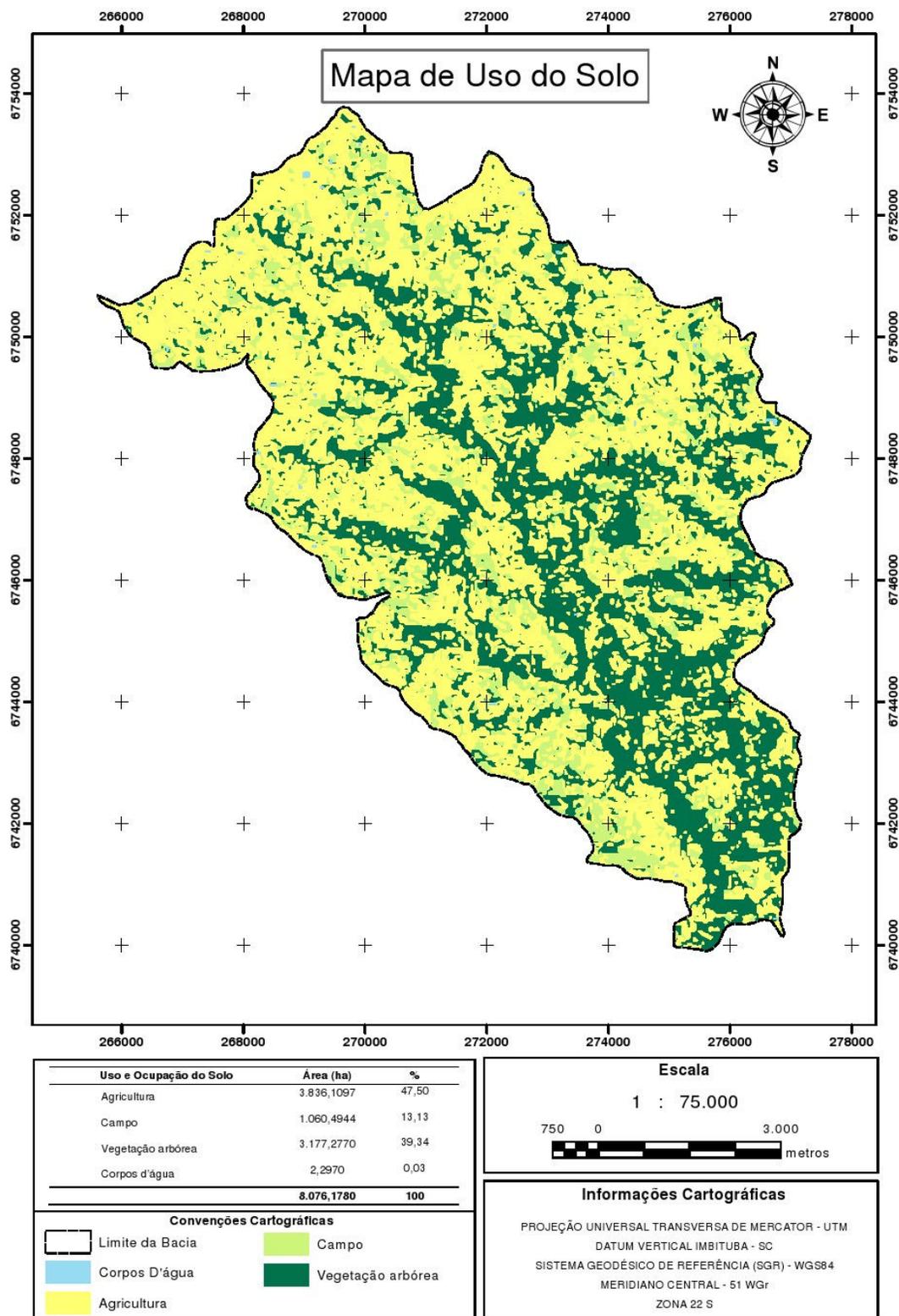
Apêndice A – Mapa de Hidrografia



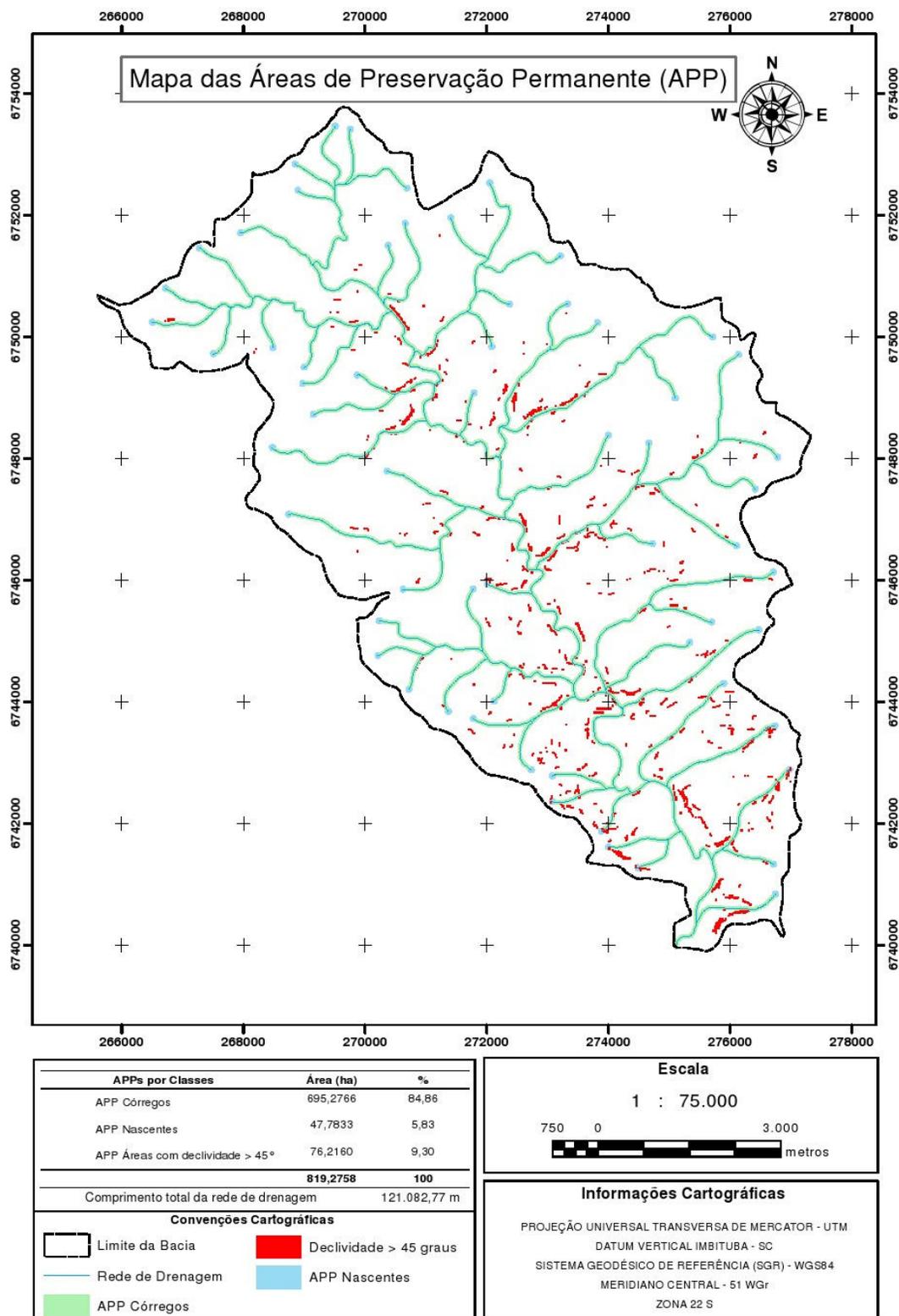
Apêndice B – Mapa de Declividade



Apêndice C – Mapa de Uso do Solo



Apêndice D – Mapa das Áreas de Preservação Permanente



Apêndice E – Conflitos Uso do solo X Áreas de Preservação Permanente

