

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

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO
NA CARACTERIZAÇÃO DA FRAGILIDADE
AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO ARROIO GRANDE, RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Damáris Gonçalves Padilha

Santa Maria, RS, Brasil

2008

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA
CARACTERIZAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO GRANDE, RS**

por

Damáris Gonçalves Padilha

Dissertação apresentada ao Programa de Pós – Graduação em
Geomática, Área de Concentração em Sistema de Informações
Geográficas, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para a obtenção de grau de
Mestre em Geomática.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Roberto de Azambuja Madruga

Santa Maria, RS, Brasil

2008

© 2008

Todos os direitos autorais reservados a Damáris Gonçalves Padilha, A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor. Endereço: Av. Roraima, n. 1000, Prédio INPE, sala 2042, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, 97110-680, Fone (055) 32202063; End. Eletr: damarispadilha@gmail.com

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

Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA
CARACTERIZAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO GRANDE, RS**

elaborada por
Damáris Gonçalves Padilha

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro Roberto de Azambuja Madruga
(Presidente/Orientador)

Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira (UFSM)

Prof. Dr. Elvis Rabuske Hendges (UNIOESTE - PR)

Santa Maria, 16 de outubro de 2008

DEDICATÓRIA

*Aos meus avós **Hilda Neitzel Padilha** (in memoriam) e
Jovino Gonçalves Padilha (in memoriam).*

*Aos meus AMADOS pais **Edmar Gonçalves Padilha**
e **Ana Maria Zaczekski**, pelo seu amor, apoio e por nunca
medirem esforços para que eu pudesse realizar meus estudos,
DEDICO.*

AGRADECIMENTOS

A toda minha família pelo amor, pelos ensinamentos de vida e pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida.

Ao meu namorado Gustavo B.Vieira, pela cumplicidade, compreensão, paciência, amizade, sincero amor e, pela incessante ajuda no decorrer do trabalho principalmente quando as coisas pareciam não ter solução.

Ao grande “amigo-irmão” Carlos Roberto Santos da Silva (cosca), incentivador na realização do mestrado e responsável pela minha vinda para o RS e por diversos momentos de descontração inesquecíveis.

Ao meu professor e orientador Prof. Dr. Pedro Roberto de Azambuja Madruga um agradecimento especial por aceitar-me como orientada, pela amizade, apoio e orientação do meu trabalho.

As queridas amigas Lila Maria Araujo (mamis), “Vó” Neli e a Roberta Madruga (Betinha) que me acolheram nos primeiros meses do mestrado e hoje fazem parte da minha família.

As amigas Mariane Ravanello (pela fundamental ajuda no abstract), Marcela V. Sampaio, Helen R. Camargo e a Geni Jaqueline V. Fontoura, pelos inúmeros momentos de alegria, descontração e companhia que minimizavam a saudade de casa.

A amiga Elisete Stanger pelas conversas alegres e desabafos que renderam momentos fantásticos.

Ao Programa de Pós - Graduação em Geomática e todos os professores do curso de Mestrado, pela oportunidade de realização do mesmo e pelos conhecimentos adquiridos.

A CAPES pela viabilização econômica da bolsa, fundamental para realização do curso.

Aos meus colegas do Laboratório de Geoprocessamento, Sergio Fernandes, Pedro H.Rodrigues, Rosa Elaine e Jordano Zagonel pela amizade, troca de idéias e ajuda nos momentos da correria, sem esquecer do Márcio pela ajuda nos incansáveis pedidos de matérias cartográficos e por nunca deixar faltar aquele mate especial.

A professora Dra. Liane Weber pela amizade e ótimas sugestões para melhoramento do trabalho.

Ao Grupo de Pesquisa Gestão dos Recursos Hídricos (GERHI) do Departamento de Hidráulica e Saneamento na pessoa da professora Dra. Jussara Cabral Cruz e do grande amigo Edner Baumhardt pela ajuda e disponibilidade dos dados pluviométricos da área de estudo, importantes para realização do trabalho.

Ao Luiz Marchiotti Fernandes pelas dicas e correções referentes às normas internas.

A todos os colegas do Mestrado pela amizade e pelas divertidas festas (e surpresas) na pensão sem esquecer os fins da tarde no “pinus”.

Enfim, a todos que de uma forma ou de outra estiveram presente para concretização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

EPÍGRAFES

***Se toda a dificuldade..
todo o esforço..
toda a saudade..
toda a dedicação,
for em benefício do próximo...
então nunca será em vão.***
Damáris G. Padilha

Um dia sem rir é um dia desperdiçado.
Charles Chaplin

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria

GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA CARACTERIZAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO GRANDE, RS

AUTORA: DAMÁRIS GONÇALVES PADILHA

ORIENTADOR: PEDRO ROBERTO DE AZAMBUJA MADRUGA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 16 de outubro de 2008.

As últimas décadas têm sido marcadas por profundas modificações tecnológicas, sociais, econômicas, mas principalmente ambientais o que tem afetado significativamente as estratégias de planejamento. Uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental é o mapa de fragilidade ambiental, pois este tipo de mapeamento permite avaliar as potencialidades dos ambientes de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições. Com objetivo de utilizar as tecnologias de geoprocessamento para identificação das áreas de maior e menor fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, aplicou-se a metodologia proposta por Ross (1994), tendo como finalidade observar a situação real do ambiente de estudo, buscando promover a adequação dos usos às suas características de aptidão. A Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, esta localizada entre as coordenadas geográficas 29° 29' 20" e 29° 43' 20" de latitude sul e 53° 47' 30" e 53° 34' 20" de longitude oeste e apresenta uma área de 27673,77 hectares. Apresenta-se como uma bacia de média a alta fragilidade, em função principalmente do uso e ocupação da terra, bem como das características de relevo e unidades de solos que a compreende. A classe de fragilidade potencial com maior representatividade é a denominada de média fragilidade e ocorre em uma extensão de 12768,12 ha, da qual predominam os solos tipo Associação (RRe1 – Cxe – TXp), com 57,27% dos solos presentes nesta classe e declividade variando entre 12% até valores acima de 30%. A classe de fragilidade ambiental emergente mais representativa é a denominada de média fragilidade, presente em 54,12% do total da bacia apresentando-se em 14977,87 ha. O uso do solo nessa classe apresenta em sua maioria florestas com 43,47% , seguido da classe campos com 36,52%. Apenas 4,42% da área da Bacia apresenta muito forte fragilidade, da qual 89,08% do seu total é compreendido pela classe de solo exposto e apenas 10,86% com a classe de agricultura irrigada. Como existe uma sazonalidade da produção agrícola em função do clima característico da região, no período em que o solo não está exposto a classe de fragilidade ambiental emergente muito forte apresenta diminuição, ocasionando conseqüentemente aumento da classe de fragilidade média e forte. Destaca-se que, além dos dados produzidos neste trabalho, são necessárias outras pesquisas complementares que englobem outros focos de atuação na linha ambiental, pois o que interessa não é uma análise do elemento de forma isolada, mas sim como esse elemento interage com os demais, de forma que possa, no seu conjunto, constituir-se ambientalmente adequado, economicamente viável e socialmente integrado.

Palavras-chave: Planejamento Ambiental, Mapa de fragilidade, Uso e ocupação da terra.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Post-Graduate Program in Geomatic
Federal University of Santa Maria

GEOPROCESSING APPLIED IN CHARACTERIZATION OF ENVIRONMENTAL FRAGILITY IN THE ARROIO GRANDE RIVER BASIN, BRAZIL

AUTHOR: DAMÁRIS GONÇALVES PADILHA

ADVISOR: PEDRO ROBERTO DE AZAMBUJA MADRUGA

Place and Date of Defense: Santa Maria, October 16th, 2008.

The last decades have been marked by profound technological, social and economic changes, but above all, environmental, which have significantly affected the strategies of planning. One of the main tools used by public agencies in preparing the environmental territorial planning is the map of environmental fragility, because this kind of mapping allows to assess the potential of environments in an integrated way, matching its natural characteristics with its restrictions. In order to use geoprocessing technologies to identify areas of bigger and smaller environmental fragility of the Arroio Grande Watershed, it was used the methodology proposed by Ross (1994), with the aim to observe the real situation of the study environment, searching to promote the matching of the uses to their vocation features. The Arroio Grande River Basin is locating between the geographic coordinates 29° 29' 20" and 29° 43' 20" S and 53° 47' 30" and 53° 34' 20" W and has an area of 27,673.77 hectares. It's a medium to high fragility basin, especially as a function of the land use and occupancy as well as its terrain characteristics and soil units. The class of potential fragility with higher representativity is the mean fragility and occurs in an area of 12768.12 hectares, where dominate the Brazilian soil type Association (RRe1 – Cxe – TXp), with 57.27% of the soils belongs to this class and slope ranging from 12% to above 30%. The more representative class of emerging environmental fragility is called the average the mean fragility, present in 54.12% of total basin, presenting itself to 14977.87 hectares. The land use in the class presents the most forests, with 43.47%, followed by class field with 36.52%. Only 4.42% of the area gives strong fragility basin, of which 89.08% of the total understood by the class of exposed soil, and only 10.86% with the class of irrigated agriculture. Since there is a seasonality of agricultural production according to the region typical weather, during the period that the soil is not exposed the very strong emerging environmental fragility class declines, leading consequently increase of mean and strong fragility. Beyond the data produced in this study, other researches are needed to cover additional aims of environmental theme, because what matters is not an analysis of the isolated element but how the element interacts with the others, to be environmentally appropriate, economically viable and socially integrated.

Keywords: Environmental Planning, Fragility map, Land use and occupancy.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Estrutura geral de um Sistema de Informações Geográficas	25
FIGURA 02 - Satélite CBERS 2B.....	29
FIGURA 03 - Localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS), na Bacia Hidrográfica do Vacacaí – Vacacaí Mirim (RS).	37
FIGURA 04 - Layout da classificação supervisionada no aplicativo computacional <i>ERDAS EMAGINE 8.3</i>	52
FIGURA 05 - Modelo esquemático de representação da superposição (cruzamentos) das informações para determinação da Fragilidade Potencial	54
FIGURA 06 - Modelo esquemático de representação da superposição das informações para determinação da Fragilidade Ambiental Emergente	55
FIGURA 07 - (01) Mapa da Rede de Drenagem da Bacia do Arroio Grande (RS), com respectivos ordenamentos; (02) Mapa das Curvas de nível da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande(RS)	57
FIGURA 08 - .(01) Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS), com respectivas cotas altimétricas; (02) Detalhes em 3D do relevo da área de estudo	58
FIGURA 09 - (01) Mapa de declividade da Bacia Hidrografia do Arroio Grande (RS), estabelecidas conforme Ross (1994); (02) Mapa dos graus de fragilidade em relação a declividade, conforme Ross (1994), para determinação da Fragilidade Ambiental.....	60
FIGURA 10 - (01) Mapa de Unidade de solo da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS), baseado no mapa de solos de Streck (2008); (02) Mapa dos graus de fragilidade referente as unidades de solo da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande(RS), proposto por Ross (1994).	63

FIGURA 11 - Volume total precipitado (mm) anualmente, correspondente ao período de 1975-2000 na região da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS)	64
FIGURA 12 - Precipitação média anual (mm) do total precipitado na região da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS)	64
FIGURA 13 - Total precipitado (mm) nos meses correspondentes aos anos de 1975 a 2000 na região da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).....	65
FIGURA 14 - Precipitação média mensal (mm) do total precipitado na região da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS)	65
FIGURA 15 - (01) Mapa de Uso e Ocupação da terra da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS), a partir de imagem CBERS 2B; (02) Mapa dos graus de fragilidade referentes ao Uso e Ocupação da terra da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande(RS), conforme metodologia de Ross (1994)	68
FIGURA 16 - Imagem das áreas que correspondem à classe floresta da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS)	69
FIGURA 17 - Imagens das áreas que correspondem à classe campos da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS)	70
FIGURA 18 - Vista da área urbana do município de Silveira Martins e área utilizada para agricultura em fase de preparo do solo (solo exposto) na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS)	71
FIGURA 19 - Imagem do cultivo de arroz irrigado na região da depressão e cultivo agrícola na região do planalto da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS)	72
FIGURA 20 - Mapa da Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).....	74
FIGURA 21 - Mapa da Fragilidade Ambiental Emergente da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS)	76

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Classes de declividade e suas respectivas categorias de influência.....	47
TABELA 02 - Classes de declividade para determinação a Fragilidade e as áreas correspondentes a cada classe encontrada no interior da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).	59
TABELA 03 - Unidades de solos presentes na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande e respectivas áreas (ha) e classes de fragilidade que as compreendem, baseadas na metodologia de Ross (1994).....	61
TABELA 04 - Classes de Uso e Ocupação da terra e respectivas áreas de abrangência na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).....	67
TABELA 05 - Áreas correspondentes a Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS)	73

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 - Classes de solos e seus significados genéricos.....	40
QUADRO 02 - Principais características das unidades de solos encontradas na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS)	41
QUADRO 03 - Cartas topográficas utilizadas.....	43
QUADRO 04 - Importância dos tipos de solos na ocorrência dos processos erosivos.....	48
QUADRO 05 - Tipos de solos ocorrentes na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS) e sua importância na ocorrência dos processos erosivos.....	49
QUADRO 06 - Níveis hierárquicos das variações pluviométricas	50
QUADRO 07 - Classes de uso e ocupação da terra ocorrentes na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS) e grau de proteção que os compreendem.....	53
QUADRO 08 – Área total das classes de Fragilidade Ambiental Emergente da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS)	77
QUADRO 09 – Áreas correspondentes a Fragilidade Ambiental Emergente da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS), com relação ao uso e cobertura da terra.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA -	Agência Nacional das Águas
APP -	Área de Preservação Permanente
BDG -	Banco de Dados Geográficos
CAPES -	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBERS -	<i>China-Brazil Earth Resources Satellite</i>
CCD -	<i>Charge Coupled Devide</i>
DSG -	Diretoria de Serviços Geográficos
GIS -	<i>Geographic Information System</i>
GPS -	<i>Global Position System</i>
HRC -	<i>High Resolution Camera</i>
IBGE -	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEMET -	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE -	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MMA -	Ministério do Meio Ambiente
MDE -	Modelo Digital de Elevação
MNT -	Modelo Numérico do Terreno
SHP -	<i>Shapfile</i>
SIG -	Sistema de Informação Geográfica
SIVAM -	Sistema de Vigilância da Amazônia
TIFF -	<i>Tagged Image File Format</i>
TIN -	Rede triangular irregular
UFMS -	Universidade Federal de Santa Maria
UNIOESTE -	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
UTM -	<i>Universal Transverse of Mercator</i>
WFI -	<i>Wide Field Imager</i>

SUMÁRIO

1 CAPÍTULO	17
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
1.1 INTRODUÇÃO	17
1.2 OBJETIVOS	19
2 CAPÍTULO	21
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 Geoprocessamento	21
2.1.1 Conceitos e aplicações.....	21
2.1.2 Geoprocessamento nas tomadas de decisões.....	22
2.2 Sistemas de Informações Geográficas	23
2.2.1 SIG por definição.....	23
2.2.2 Componentes Básicos do Sistema de Informação Geográfica.....	25
2.2.3 Importância do SIG no Planejamento Ambiental	25
2.3 Sensoriamento Remoto	26
2.3.1 Princípios e conceitos.....	26
2.3.2 Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS)	27
2.3.3 Classificação Supervisionada.....	29
2.3.4 Importância dos levantamentos de Uso do Solo	30
2.4 Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento	30
2.4.1 Planejamento Ambiental em Bacias Hidrográficas	31
2.5 Estudo da Fragilidade Ambiental	33
2.5.1 Conceitualização	33
2.5.2 Fragilidade Potencial e Fragilidade Emergente.....	35
2.5.3 Álgebra de Mapas	35
3 CAPÍTULO	37
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
3.1 Localização da área em estudo	37
3.2 Clima	38
3.3 Geomorfologia	39
3.4 Solos	40
3.5 Vegetação Original	42

4 CAPÍTULO	43
ASPECTOS METODOLOGICOS	43
4.1 Materiais Utilizados	43
4.2 Aplicativos Computacionais de Apoio	44
4.2.1 ArcGIS 9.2	44
4.2.2 ERDAS IMAGINE 8.3	45
4.3 Metodologia Aplicada	45
4.3.1 Mosaicagem e georreferenciamento das cartas topográficas e imagens orbitais para extração dos dados	45
4.3.2 Mapas Base	46
4.3.3 Modelo Numérico do Terreno	46
4.3.4 Mapa de Declividade	47
4.3.5 Mapa das Unidades de Solos	48
4.3.6 Informações Pluviométricas.....	50
4.3.7 Mapa de Uso e Ocupação da Terra	51
4.3.8 Álgebra de Mapas	53
4.3.9 Mapa da Fragilidade Potencial	54
4.3.10 Mapa da Fragilidade Ambiental Emergente.....	54
5 CAPITULO	56
ANALISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	56
5.1 Mapas Base	56
5.1.1 Mapa da Rede de Drenagem e Mapa Planialtimétrico	56
5.1.2 Modelo Numérico do Terreno.....	56
5.2 Mapa de Declividade	59
5.3 Mapa de Unidades de Solos	61
5.4 Informações Pluviométricas	64
5.5 Mapa de Uso e Ocupação da terra	67
5.5.1 Floresta	69
5.5.2 Campo e Pastagem.....	69
5.5.3 Solo Exposto	70
5.5.4 Agricultura	71
5.6 Mapa de Fragilidade Potencial	73
5.7 Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente	76

6 CAPÍTULO	80
CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
REFERENCIAS.....	82

1 CAPÍTULO

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 INTRODUÇÃO

As últimas décadas têm sido marcadas por profundas modificações tecnológicas, sociais, econômicas, mas principalmente, ambientais, sendo crescente a preocupação com a ordenação do uso dos recursos naturais do planeta e sua preservação.

Isto tem afetado significativamente as estratégias de planejamento, desde o planejamento doméstico, até o planejamento de grandes instituições, indústrias, pequenas e/ou micro-empresas e demais entidades das quais desenvolvem algum tipo de atividade humana.

Ao discutirmos assuntos referentes à ecologia, meio ambiente e/ou manejo sustentável dos recursos naturais renováveis, nota-se, que infelizmente, uma pequena parcela da população possui conhecimentos suficientes para compreender a dinâmica e as inter-relações que ocorrem entre os diferenciados ecossistemas existentes.

Surge então a necessidade de estratégias eficazes, no sentido de que as informações sobre esta dinâmica natural, alcancem as mais diferenciadas classes sociais, na expectativa de que cada indivíduo seja tocado por uma consciência sustentada, na qual possamos reverter este processo de degradação contínua que estamos vivendo.

Para Spori (2007), o homem ao fazer parte do ambiente como um elemento ativo, é capaz de modificar a paisagem. Pois ele possui a capacidade de alterar solos, vegetação, condições hidrológicas e formas de erosão, introduzindo desta forma modificações no sistema que podem propiciar o desequilíbrio [...].

Os sistemas ambientais, diante destas intervenções, têm apresentado maior ou menor fragilidade em função de suas características. Qualquer alteração nos diferentes componentes da natureza (relevo, solo, vegetação, clima e recursos

hídricos) pode acarretar no comprometimento da funcionalidade do sistema, danificando e/ou alterando o seu estado de equilíbrio dinâmico.

Nesse sentido Spori (2007) destaca que 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 [...], e que isto vem a ocorrer em função de que os vários tipos de uso acabam por provocar diferentes processos sobre o meio natural gerando desequilíbrios.

Assim, a importância de se conhecer as formas de uso da terra ocorrentes da região de interesse, o seu monitoramento e o registro das informações permitem a avaliação das potencialidades futuras e dos impactos produzidos por estes usos. Sendo possível o gestor obter informações básicas para o manejo dos recursos naturais, de forma a minimizar estes impactos, sem acarretar em prejuízo econômico e/ou social.

Ao tratarmos todas as variáveis (relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos) de forma integrada, podemos obter um diagnóstico de diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais.

Uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental é o mapa de fragilidade ambiental, pois, ele permite avaliar as potencialidades dos ambientes de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições.

Ross (1994) descreve que a sua metodologia da fragilidade empírica fundamenta-se no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre suas componentes físicas e bióticas.

Nesta metodologia de Ross (1994), os processos operacionais fundamentados na integralização das informações básicas, objetiva gerar um produto síntese que possa expressar os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características "genéticas".

A escolha da área de estudo se justifica pelas características naturais e pelo seu contexto ambiental, uma vez que abriga áreas de remanescentes da Floresta Atlântica em um ambiente ainda preservado.

Estas características naturais conferem à bacia hidrográfica um importante estado de equilíbrio que facilmente pode ser modificado, resultando em conseqüências que podem ser irreversíveis, dependendo do grau que possa atingir.

Cabe destacar, que a bacia em estudo apresenta em determinadas regiões características de produção agrícola intensiva, das quais a cada ano avançam sobre as áreas dos remanescentes florestais.

Kleinpaul (2004) analisou a cobertura florestal existente na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande e concluiu houve um aumento progressivo, porém com déficit de mata ciliar na região da depressão, ocasionado principalmente pelo cultivo do arroz.

Este conflito entre a exploração econômica e a necessidade de se preservar as áreas de remanescentes florestais e de importância ambiental, atenuam ainda mais a necessidade de se estabelecer um plano de gerenciamento não apenas para os critérios de uso e ocupação da bacia, mas também na identificação e delimitação das áreas de maior e menor fragilidade ambiental, afim de subsidiar o planejamento da bacia hidrográfica como um todo.

1.2 OBJETIVOS

Contribuir para estudos ambientais aplicados ao Planejamento Territorial na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, estruturando e definindo uma base de dados georreferenciada para futuros estudos e aplicações nas definições das inúmeras avaliações ambientais.

Utilizar as tecnologias de geoprocessamento para identificação das áreas de maior e menor fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, aplicando a metodologia proposta por Ross (1994), tendo como finalidade observar a situação real do ambiente de estudo, buscando promover a adequação dos usos às suas características de aptidão.

A proposta de planejamento da bacia hidrográfica foi dividida em 06 objetivos específicos que se referem a:

- 1) Gerar os mapas base: limite da bacia hidrográfica, rede de drenagens e curvas de nível;
- 2) Gerar mapa de Uso e Ocupação da terra, através da classificação digital da imagem do satélite CBERS 2B;
- 3) Gerar Modelo Numérico do Terreno e mapa de Declividade;

- 4) Extrair do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Rio Grande do Sul, o mapa das Unidades de Solos da área de estudo;
- 5) Analisar os dados pluviométricos referentes à área de estudo e adicioná-lo como um dos fatores determinante da fragilidade;
- 6) Elaborar os mapas temáticos acima descritos e a partir do cruzamento destes, obter os mapas de fragilidade potencial e fragilidade ambiental emergente da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande.

2 CAPÍTULO

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Geoprocessamento

2.1.1 Conceitos e aplicações

Para Moreira (2005), o geoprocessamento pode ser entendido como a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados e objetos ou fenômenos geograficamente identificados ou, extrair informações destes objetos ou fenômenos quando eles são observados por um sistema sensor.

Câmara; Medeiros (1996) afirmam que o termo geoprocessamento denota uma disciplina do conhecimento que utiliza de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas, ou seja, representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados.

Para Silva (2001) o objetivo principal do Geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas, através do uso do geoprocessamento, tornem disponíveis para as análises ambientais, procedimentos que permitem a investigação detalhada de relacionamentos entre entidades pertencentes a um ambiente.

Na concepção de Câmara; Medeiros (1998), esta tecnologia, denotada por geoprocessamento, tem influenciado de maneira crescente as áreas de *Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicação, Energia e Planejamento Urbano e Regional*.

Pode-se dizer, de forma genérica, “Se **onde** é importante para seu negócio, então Geoprocessamento é sua ferramenta de trabalho”. Sempre que o **onde** aparece, dentre as questões e problemas que precisam ser resolvidos por um sistema informatizado, haverá uma oportunidade para considerar a adoção de um SIG (CAMARA; DAVIS, 2001).

Sendo assim, o geoprocessamento é um termo genérico que se refere a todas as técnicas de correlação entre informações espaciais e cartografia digital. Estando o desenvolvimento da técnica do geoprocessamento, diretamente relacionado à

grande evolução vivenciada pelo sensoriamento remoto, sendo este outro instrumento bastante utilizado pela ciência geográfica.

2.1.2 Geoprocessamento nas tomadas de decisão

Em função dos avanços tecnológicos, existe hoje, uma ampla variedade de dados disponíveis nas mais diversas áreas de conhecimento, das quais ainda não foram devidamente explorados e manipulados a fim de se obter as devidas respostas.

Chaves (2005) destaca que o excesso de dados, no entanto, não significa exatamente um ganho de informação. São necessárias técnicas e uma metodologia adequada para gerenciá-los e manipulá-los, para que as informações geradas sirvam de subsídios para intervenções positivas na realidade espacial.

Portanto, o Geoprocessamento destaca-se como uma ferramenta aliada no desafio de trabalhar com grandes números de variáveis em constante transformação, do qual se caracteriza o planejamento territorial. Possibilitando acima de tudo análises mais complexas de todo o contexto, permitindo não apenas a mera descrição dos principais aspectos, mas também a simulação e o estabelecimento das intervenções possíveis para a escolha das melhores alternativas.

Após a análise sobre alguns autores Decian (2003) destaca que um programa de geoprocessamento deve atingir os objetivos do trabalho, ser de fácil entendimento do operador além de possibilitar um bom gerenciamento e reprodução gráfica dos dados.

Portanto ao adquirir um aplicativo de geoprocessamento, tanto instituições de pesquisas quanto empresas públicas ou privadas devem considerar as características dos trabalhos que serão executados, disponibilidade de pessoal capacitado e retorno do investimento se assim existir.

No entanto a maioria dos aplicativos computacionais de geoprocessamento trabalha associado a outro aplicativo a fim de obter a informação espacial, necessitando o operador conhecer as rotinas de conversão de formatos para aquisição do resultado desejado.

Chaves (2005) descreve em seu trabalho que o Geoprocessamento enquanto instrumento de gestão territorial, apresenta uma gama de possibilidades e utilizações bastante extensa, muitas delas ainda pouco exploradas.

Neste contexto, o mesmo autor salienta que isso permite vislumbrar um futuro repleto de oportunidades, onde é possível explorar as informações em toda a sua potencialidade, podendo auxiliar na solução de inúmeras questões que envolvem a melhor utilização e gestão dos recursos naturais.

2.2 Sistemas de Informações Geográficas

2.2.1 SIG por definição

Com a necessidade de diminuir o custo de elaboração e manutenção de mapas, através da automação do processamento de dados espaciais é que se iniciou uma busca por técnicas que realizasse todo o processo de aquisição, armazenamento, análise e apresentação de dados georreferenciados na superfície terrestre (LEITE, 2006).

Leite (2006) descreve que a técnica denominada de SIG (na língua inglesa, *GIS - Geographic information System*), do qual o Canadá foi o primeiro país a desenvolvê-la, teve como objetivo criar um inventário de todos os recursos naturais desse país.

A evolução dos Sistemas de Informações Geográficas não ocorreu apenas no que diz respeito as suas aplicações, mas também em sua questão conceitual. A medida que sua aplicação ganhou espaço, abrangendo diversas áreas de atuação e principalmente de pesquisas, seu contexto foi evoluindo, não mudando porém o seu objetivo.

Na visão de Pires (2006) desde sua concepção mais simplista [...] os SIG's tem incorporado uma variedade crescente de funções. Apresentando mecanismos sofisticados para manipulação e análise espacial dos dados e, permitindo uma visualização dos dados bem mais intuitiva do que a obtida através de relatórios e gráficos convencionais.

No entanto, a definição de SIG vem sendo controversa devido a sua complexidade; sendo definido por vários autores de acordo com sua utilidade e aplicação. A seguir apresentam-se algumas definições de SIG.

Madruga (1991), conceitua SIG como sendo:

Um banco de dados capaz de armazenar, recuperar e manipular informações digitais, georreferenciadas, provenientes de imagens, mapas e MNT (Modelo Numérico do Terreno) e, estes sistemas devem, além disso, fornecer ferramentas computacionais que permitam analisar e integrar essas informações com o objetivo de se obter soluções rápidas e precisas para os problemas relacionados ao comportamento espacial dos dados contidos no sistema.

Quadros (2004) descreve SIG como um sistema projetado para criar, manipular, analisar e exibir de modo eficaz, todos os tipos de informações com referencial espacial e geográfico.

É a aplicação de referência geográfica da informação em sistemas computacionais, possibilitando uma melhor visualização do problema, facilitando a tomada de decisão, auxiliando o profissional, e atuando como ferramenta eficaz, possibilitado ganho de tempo e economia, principalmente otimizando custos e gastos.

Não o bastante para as diferenças entre definições existentes, Rocha (2000) analisou as mais variadas definições de SIG, de autores nacionais e internacionais definindo – o, “como um sistema com capacidade para aquisição, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, transformação, manipulação, modelagem, atualização, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos”.

A evolução do conceito de SIG varia de acordo com as diferentes áreas de pesquisa que contribuíram para o seu desenvolvimento, como por exemplo, a informática que enfatiza a ferramenta banco de dados ou linguagem de programação, a geografia que relaciona mapas e outros que ainda enfatizam a aplicações como suporte à decisão (MIRANDA, 2005).

2.2.2 Componentes Básicos do Sistema de Informação Geográfica

Numa visão mais abrangente pode-se dizer que um SIG é composto de cinco componentes independentes, porém interligados uns aos outros através de funções específicas. Sendo eles: interface, entrada e integração de dados, função de

consulta e análise espacial, visualização, plotagem e Banco de Dados Geográficos. (MOREIRA, 2005).

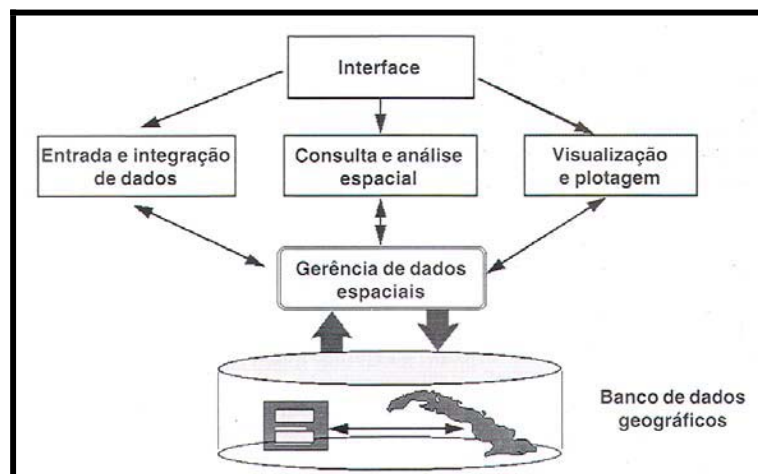


Figura 01 - Estrutura geral de um Sistema de Informações Geográficas

Fonte - Moreira 2005, adaptada de Câmara; Medeiros (1996).

O que distingue um SIG de outros sistemas de informações são as funções que realizam as análises espaciais. Tais funções utilizam os atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais e buscam fazer simulações (modelos) sobre os fenômenos do mundo real, seus aspectos e parâmetros (MENDES, 2002).

2.2.3 Importância do SIG no Planejamento Ambiental

Devido à sua ampla gama de aplicações, onde estão incluídos temas como agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano, rural e análise ambiental/ florestal, há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG: como ferramenta para produção de mapas; como suporte para análise espacial de fenômenos; ou como banco de dados geográficos, com funções de armazenamentos e recuperação da informação espacial.

Atualmente no Brasil, há diversos estudos integrados, com a utilização de SIG's abrangendo os mais variados tamanhos de áreas geográficas e distintos objetos.

Castilho (2004 apud SANTOS, 1994) ao comentar sobre a utilização de SIG no Planejamento Urbano, declara que:

O uso destas tecnologias pode ajudar a trazer um novo olhar sobre a cidade, que é preciso poder generalizar ou individualizar como uma lente fotográfica que aproxima e distancia conforme o foco desejado. A generalização nos dá a listagem das possibilidades; a individualização nos indica como, em cada lugar algumas dessas possibilidades se combinam.

De acordo com Rosa (1995), o SIG é implantado numa região para atender a objetivos específicos, baseados em necessidades locais, sendo "falsa" a idéia da existência de um modelo padrão.

Sendo assim Silva; Santos (2004) afirmam que SIG's são importantes para o planejamento ambiental, visto que manipulam grandes volumes de dados em ambientais e auxiliam nos seus gerenciamentos e integrações, não dispensando a interpretação do meio pelo planejador.

Portanto um SIG pode servir como uma ferramenta de suporte de decisões em todos os níveis de planejamento.

2.3 Sensoriamento Remoto

2.3.1 Princípios e conceitos

O meio ambiente do nosso planeta e todos os seus recursos naturais tem apresentado mudanças contínuas em resposta à evolução natural e às atividades humanas. Com intuito de compreender o complexo de inter-relacionamento dos fenômenos que causam estas mudanças é importante e necessário, observar a grande gama de escalas temporais e espaciais.

A observação da Terra por meio de satélites é a maneira mais efetiva e econômica de coletar os dados necessários para monitorar e/ou modelar estes fenômenos, especialmente em países de grande extensão territorial, e diferentes biomas como o Brasil.

De acordo com Novo (1998) o sensoriamento remoto pode ser definido como a aquisição de informações de objetos na superfície terrestre através de um sensor, sem que este esteja em contato físico com o objeto (alvo).

A evolução do sensoriamento remoto através da criação de sensores cada vez mais potentes que proporcionam imagens (produtos) com resoluções cada vez melhores e, estes aliados às diversas técnicas avançadas de processamento das informações obtidas, ampliaram a aplicabilidade destas informações para diversas áreas de estudos.

Para Menezes; Netto (2001) o sucesso resultante do uso desta tecnologia tem estimulado aperfeiçoamentos crescentes, fazendo com que as aplicações do sensoriamento remoto multipliquem-se. Produtos com elementos adicionais de informações são oferecidos à comunidade de usuários a cada ano, aprimorando-se as resoluções espectrais e espaciais.

Desta forma, Pires (2006) afirma que os produtos gerados a partir das técnicas de sensoriamento remoto, se constituem em importantes ferramentas para elaborar trabalhos, não individualizados, mas integrados, de forma que se possa manusear e atingir os objetivos esperados.

Com isso, o uso do sensoriamento remoto torna-se possível fornecer suporte para planos diretores municipais; promover Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e Relatórios de Impacto sobre Meio Ambiente (RIMA); levantar áreas favoráveis para exploração de mananciais hídricos; estimar área plantada em propriedades rurais, possibilitando também a identificação de áreas potenciais para implantação de pólos industriais, turísticos e de preservação ambiental.

2.3.2 Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS)

Embora aparentemente tímida, a cartografia chinesa desenvolvida distante dos olhos ocidentais tem ainda muito para ser descoberta, bem como a do Brasil.

As bases lançadas e, hoje, aperfeiçoadas e aprimoradas com o desenvolvimento tecnológico fazem da China um país respeitado não somente em virtude do seu avanço econômico, mas também do seu desenvolvimento técnico-científico apesar da existência de grandes contrastes sociais.

O Brasil mesmo sendo um país em desenvolvimento, vem tomando seu espaço e com isso credibilidade, no que se refere a estudos desenvolvidos na área tecnológica e científica.

A partir disto em 06/07/88, nasce o Programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres*), uma

parceria inédita entre Brasil e China no setor técnico-científico espacial. Com isto, o Brasil ingressou no seleto grupo de Países detentores da tecnologia de sensoriamento remoto. E desta forma, obteve uma poderosa ferramenta para monitorar seu imenso território com satélites próprios de sensoriamento remoto, buscando consolidar uma importante autonomia neste segmento.

O CBERS-1 e 2 são idênticos em sua constituição técnica, missão no espaço e em suas cargas úteis (equipamentos que vão a bordo, como câmeras, sensores, computadores entre outros equipamentos voltados para experimentos científicos).

A família de satélites de sensoriamento remoto CBERS trouxe significativos avanços científicos ao Brasil. Suas imagens são usadas desde o controle do desmatamento e queimadas na Amazônia Legal, até o monitoramento de recursos hídricos, áreas agrícolas, crescimento urbano e ocupação do solo. Além de ser fundamental para grandes projetos nacionais estratégicos como o SIVAM e, a ocupação de espaço definitivo em diversos programas ambientais.

Além das duas plataformas já colocadas em órbita, o CBERS-1 em 14/10/99 e o CBERS-2 em 21/10/2003, foi lançado, em 19/09/2007, o CBERS-2B, do qual garantirá que o fornecimento de imagens iniciado com o CBERS-1 não seja interrompido. Com vidas úteis projetadas de dois anos, o CBERS-1 operou até agosto de 2003. O êxito está repetindo - se com o CBERS-2 e os lançamentos do CBERS-3 e o do CBERS-4 estão previstos para 2009 e 2011, respectivamente (SOARES, 2008).

Estes, com novas cargas úteis e uma nova divisão de investimentos de recursos entre o Brasil e a China - 50% para cada país. Porém, em função de o lançamento do CBERS-3 ser viável apenas para 2009 e, diante de um possível final de vida útil do CBERS-2 ocorrer antes de 2009, com grande prejuízo para ambos os países e para os inúmeros usuários do CBERS-2, o Brasil e a China em 2004, decidiram construir o CBERS-2B, já lançado em 2007.

O CBERS-2B possui três câmeras imageadores a bordo: CCD, WFI e a câmera de alta resolução HRC (*High Resolution Camera*), esta com banda pancromática de 2,5 metros de resolução espacial. Esta diversidade de câmeras atende a múltiplas necessidades: do planejamento urbano, que requer alta resolução espacial, às aplicações que precisam de dados freqüentes, mas nem sempre tão detalhados como a agricultura ou desmatamentos (SOARES, 2008).

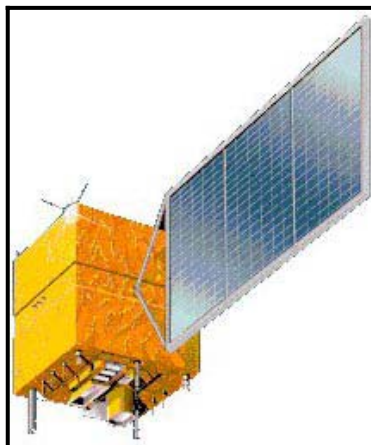


Figura 02 - Satélite CBERS - 2B

Fonte - www.cber.inpe.br (2008)

As atividades de integração e testes do CBERS-2B foram iniciadas no primeiro trimestre de 2006, no Laboratório de Integração e Testes (LIT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), órgão do Ministério da Ciência e Tecnologia, em São José dos Campos.

De acordo com INPE (2008), a vida útil projetada dos satélites CBERS 1, 2 e 2B é de dois anos e a dos satélites CBERS 3 e 4 é de 3 anos.

2.3.3 Classificação Supervisionada

A classificação de imagens apresenta-se como um processo de decisão no qual um grupo de *pixel* é definido como formadores de uma determinada classe (GHEZZI, 2003).

Neste estudo, utilizou-se o método de classificação digital denominado Classificação Supervisionada, segundo Benedetti (2006), assim chamada em função da presença da fase de treinamento, na qual o analista identifica áreas de treinamento representativas dos *pixels* de determinadas classes de uso da terra e, depois cada *pixel* da imagem é classificado de acordo com a classe de uso que ele se assemelha.

Dentre os métodos de classificação mais comuns destaca-se o método por paralelepípedo e, o método de classificação por máxima verossimilhança, sendo este último o método utilizado para elaboração deste trabalho.

Segundo Muratori; Mantovani (2002), esta técnica de classificação leva em conta a covariância na definição das elipses de equi-probabilidade de um *pixel*

desconhecido pertencer a uma classe, e definidos os parâmetros estatísticos, o algoritmo enquadra o *pixel* na classe para a qual apresenta a mais alta probabilidade.

2.3.4 Importância dos levantamentos de Uso do Solo

O Brasil apresenta grande diversidade espaço - temporal na sua ocupação territorial: agricultura, pastagens, reflorestamentos, vegetação natural, urbanização, mineração etc. sendo que cada uma delas apresentam características e dinâmica espaço-temporal específicas.

Sendo assim, a importância dos levantamentos de uso do solo se faz indispensável em todo trabalho de planejamento territorial e ambiental, independente de região do país.

Segundo Azevedo; Mangabeira (2001), para fins de planificação, de monitoramento, de ordenamento, e de zoneamento territorial, é necessário identificar, qualificar, quantificar, analisar, avaliar e caracterizar as diversas variáveis relacionadas ao uso das terras.

Azevedo; Mangabeira (2001) ainda destacam que o processo de levantamento e caracterização do uso das terras, nesse caso, pode ser grandemente facilitado pela utilização de imagens de satélites e outros recursos de sensoriamento remoto, que podem gerar dados passíveis de serem geocodificados.

Os Levantamentos de cobertura/uso do solo também se tornam fundamentais para realização de inventários sobre flora e fauna de regiões desconhecidas e, suas potencialidade e fragilidades, dos quais podem ser obtidos a partir da interpretação das imagens aéreas ou orbitais da região e a correlação dos resultados delas obtidas.

2.4 Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento

A palavra planejamento expressa o significado empreendimento, projeto, intenção. A maioria dos planos é de caráter territorial criados no século XX, dos quais tiveram uma concepção com domínio de visão positivista e progressista. Tais planos foram direcionados à obtenção do desenvolvimento econômico e crescimento ilimitado (SILVA, 2007).

Ao longo do tempo o planejamento desenvolveu e aprimorou inúmeras técnicas de apoio ao tratamento e organização do conhecimento e negociação política, do qual cada unidade seja ela município, bacias hidrográficas ou propriedades rurais têm suas necessidades adaptadas e ajustadas à sua real condição. Para tomar decisões fundamentadas e consistentes, é necessário, antes de tudo, compreender a realidade do município ou localidade (BUARQUE, 1999).

Madruga (1991) salienta que as unidades de planejamento tradicionais que podem ser trabalhadas a fim de corrigir danos à natureza são em nível de: Propriedade Rural, Bacia Hidrográfica e Região Fisiográfica.

As bacias hidrográficas possuem expressividade espacial, constituindo sistemas ambientais complexos em sua estrutura, funcionamento e evolução. As bacias de drenagem são unidades fundamentais para mensuração dos indicadores geomorfológicos, para a análise da sustentabilidade ambiental baseada nas características do geossistema e do elemento socioeconômico (CHISTOFOLLETTI, 1999).

Para Rocha (2007), no planejamento é prevista a tomada de decisões, baseada em análise sócio-ambiental da área de estudo, para poder identificar e apresentar o melhor uso possível dos recursos naturais.

Para o planejamento de uma bacia hidrográfica, muito além dos usos dos seus recursos hídricos, analisamos e planejamos seu potencial hidrológico, geológico, florístico, turístico, de conservação e de produção, ou seja, todo conjunto potencial que a bacia oferece bem como suas fragilidades normalmente advindas dos danos ocorridos pelas ações antrópicas e/ou usos desordenados do solo.

Estes fatores acarretam em danos não apenas a bacia oriunda das ações antrópicas negativas, mas em todas as bacias receptoras, causando um efeito “cascata” de danos e conseqüentemente de fragilidades (SILVA, 2007).

2.4.1 Planejamento Ambiental em Bacias Hidrográficas.

O planejamento do desenvolvimento local nas diversas escalas de pequena dimensão territorial e populacional, representa realidades sócio-ambientais menos complexas e com maior grau de homogeneidade [...]. (BUARQUE, 1999)

Toda atividade humana gera impacto ambiental e, portanto, deve passar a ser orientada através de um planejamento voltado para a sustentabilidade.

Para Silva (2001) o planejamento ambiental é um processo no qual são executados o levantamento e o diagnóstico das condições ambientais com o objetivo de otimizar o uso dos recursos ambientais disponíveis.

Em uma visão mais detalhista Silva; Santos (2004) descrevem planejamento ambiental sendo:

Um processo contínuo que envolve coleta, organização e análise sistematizada das informações, por meio de procedimentos e métodos, para se chegar a decisões ou escolhas acerca das melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos disponíveis em função de suas potencialidades, e com a finalidade de atingir metas específicas no futuro, tanto em relação a recursos naturais quanto à sociedade.

É importante destacar que entender a cultura e as formas específicas com que às populações manejam seus recursos naturais, se torna fundamental quando se objetiva fazer planejamentos ambientais.

Silva; Santos (2004) salientam que também é fundamental uma previsão acurada e integrada dos impactos oriundos das ações, manejos e projetos propostos para área de planejamento, bem como a intensidade de pressão direta ou indireta que eles impõem sobre o local.

Estes sistemas dedicados ao planejamento permitem conforme Silva (2001):

Inspeccionar e analisar, por varredura de toda extensão territorial da base de dados utilizada, localizações e correlações de interesse do usuário, permitindo também o equacionamento de situações ambientais, tais como o levantamento de áreas de riscos e de potenciais, conflitos de utilização do território, estimativas de impactos ambientais, criação de cenários prospectivos, definição de unidades e normas de manejo e zoneamento territoriais para diferentes finalidades, tais como proteção ambiental e planejamento econômico fornecendo conhecimentos indispensáveis para utilização racional dos recursos ambientais disponíveis.

O planejamento ambiental em bacias hidrográficas pode minimizar ou mesmo evitar a ocorrência de impactos ambientais decorrentes da ação antrópica indiscriminada, tendo como objetivo, orientar a ocupação humana para que sejam resguardadas as áreas destinadas à preservação ambiental, tendo em vista a conservação dos recursos naturais, a forte instabilidade, fragilidade ambiental ou a alta suscetibilidade à erosão e movimentos de massa que certas porções da paisagem podem apresentar” Ghezzi (2003 apud GUERRA, 1999).

O planejamento ambiental além do desenvolvimento econômico e social, envolve questões mais amplas relacionadas à natureza, através de suas potencialidades e de suas fragilidades. Um dos pressupostos básicos desse planejamento é na busca de soluções e meios visando obter a convivência harmônica entre natureza e sociedade (SILVA, 2007).

O autor destaca ainda que, para ocorrer essa convivência racional, se faz necessário conhecer as potencialidades e as fragilidades dos ambientes naturais frente às atividades econômicas, que pode variar o nível de degradação de acordo com o nível tecnológico usado (SILVA, 2007).

Na concepção de Ghezzi (2003) a bacia hidrográfica torna-se a unidade ideal para se efetuar trabalhos de planejamento de um modo geral, fornecendo subsídios para que sejam efetuados diversos estudos que se tornem necessários, como por exemplo, o estudo da fragilidade ambiental.

2.5 Estudo da Fragilidade Ambiental

2.5.1 Conceitualização

A Fragilidade ou vulnerabilidade do meio ambiente é descrita por Andreoli; Carneiro (2005 apud VEROCAI, 1997), como a capacidade de uma determinada área sofrer danos quando submetido a uma determinada ação e que a fragilidade pode ser caracterizada como capacidade de suportar determinadas ações sem causar danos.

Os modelos de análise da fragilidade servem como subsídio ao planejamento estratégico ambiental. Os mapeamentos das fragilidades ambientais identificam e analisam as áreas em função de seus diferentes níveis de fragilidade (SPORL; ROSS, 2004).

Sporl; Ross (2004) destacam que através destes documentos torna-se possível apontar as áreas onde os graus de fragilidade são mais baixos, favorecendo então determinados tipos de inserção, assim como áreas mais frágeis onde são necessárias ações tecnicamente mais adequadas a essas condições.

Para estudar a relação entre o espaço geográfico em conjunto com a análise espacial, Ross (1994) propôs uma metodologia para a análise empírica da

fragilidade ambiental. Esta metodologia foi desenvolvida para estudar tanto ambientes em condições naturais quanto sob ação antrópica.

A fragilidade ambiental diz respeito à susceptibilidade de dano que o meio ambiente pode sofrer, sendo que, a poluição também é um atributo para a fragilidade (GHEZZI, 2003). Portanto, a fragilidade ambiental refere-se a áreas sensíveis a impactos ambientais, tendo baixa capacidade de recuperação.

Os trabalhos que abordam os estudos da fragilidade ambiental, para Silveira; Oka-fiori (2007) compõem em síntese, da análise empírica dos constituintes da paisagem organizados em níveis de informações que são superpostos e interpretados na tentativa de um estudo integrado dos componentes físico-naturais e sociais de determinada área.

Estes autores destacam ainda, que tal análise sob a perspectiva qualitativa, visa contribuir com o planejamento ambiental e o apoio na gestão territorial, apresentando seus resultados na forma de cartas temáticas que são organizados e apresentados por classes de fragilidade.

Estes estudos relativos às fragilidades dos ambientes são de extrema importância ao Planejamento Ambiental.

Para Spori; Ross (2004) a identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território.

Santos (2005) destaca que o método desenvolvido por Ross torna possível o conhecimento da fragilidade ambiental da área de estudo, podendo ser acrescentados mais algumas variáveis se assim se fizerem necessárias para o conhecimento da situação real de conservação da bacia hidrográfica.

2.5.2 Fragilidade Potencial e Fragilidade Emergente

No conceito de Santos (2005), a fragilidade ambiental chamada de potencial se caracteriza pela fragilidade natural a que uma determinada área está submetida, ou seja, a partir do tipo de solo, declividade do relevo, índice de pluviosidade, entre outros, este local poderá ou não apresentar um equilíbrio natural [...]. Sendo assim, ao se analisar determinadas áreas sobre o prisma da fragilidade potencial, se consideram apenas aspectos naturais.

No entanto, a fragilidade emergente na concepção do mesmo autor, além de considerar os elementos naturais já constantes na fragilidade potencial (tipo de solo, declividade e pluviosidade) acrescenta o elemento humano, que se caracteriza pela forma com que o ser humano utiliza o solo.

A carta de fragilidade potencial para Ross (1994), indica os graus de fragilidade, sob a ação dos processos morfogenéticos atuantes na paisagem, resultantes da correlação de alguns dos componentes físico-naturais da paisagem: *declividade do terreno, erosividade das chuvas e cobertura pedológica*.

Silveira; Oka-fiori (2007) descrevem que a carta de fragilidade emergente correlaciona às informações resultantes da fragilidade potencial com as informações do uso do solo, indicando os graus de fragilidade das unidades espaciais conforme a proteção do solo, apresentando as áreas em estado de desequilíbrio em função da ação antrópica.

Contudo, Andreoli; Carneiro (2005) salientam que para determinar a fragilidade potencial e emergente de uma determinada área não basta apenas conhecer a relação existente entre as variáveis, mas também saber aplicar a metodologia escolhida e/ou adaptá-la ao sistema.

2.5.3 Álgebra de Mapas

Quando há a necessidade de trabalhar com grande número de mapas, os usuários necessitam combinar as informações neles contidas de forma a obter uma visão mais integrada da realidade.

As operações de Álgebra de Mapas permitem ao usuário modelar diferentes problemas e obter novas informações a partir de um conjunto de dados já existentes.

Diante disto, os sistemas de informações Geográficas tornam-se uma ferramenta fundamental, uma vez que proporcionam diversos processos de sobreposições de mapas.

Meirelles (2007) salienta que, quando se utilizam mapas de múltiplas classes, a cada classe de cada mapa é fornecida uma nota diferente, o que leva a um sistema de análise por pesos, mais flexível.

O mesmo autor descreve ainda que neste caso, cada classe dos mapas de entrada são atribuídos valores ou notas distintas, assim como a cada mapa de acordo com a sua importância no fenômeno estudado, é atribuído um valor ou peso.

Assim cada mapa deve ser associado a uma lista de notas ou pesos correspondente a cada classe. As notas das classes podem ser alocadas em um SIG, formando uma tabela de atributos de todas as classes existentes. Desta forma, as tabelas de atributos compostas em cada mapa, podem ser modificadas sem necessidade de se alterar os procedimentos dos cruzamentos.

Os modelos baseados na sobreposição por pesos permitem uma combinação mais flexível dos mapas do que as operações baseadas somente na lógica *booleana*. As tabelas podem ser ajustadas de forma a refletirem o julgamento dos especialistas no domínio da aplicação em análise (MEIRELLES, 2007).

3 CAPÍTULO

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização da área em estudo.

Na Região Hidrográfica do Atlântico Sul esta inserida a Bacia Hidrográfica do Vacacaí, da qual compreende a área de estudo, a Bacia Hidrográfica do Arroio Grande.

Localizada na região central do Estado do Rio Grande do Sul, denominada microregião geográfica de Santa Maria, a Bacia Hidrográfica do Arroio Grande compreende-se entre as coordenadas geográficas $29^{\circ} 29' 20''$ e $29^{\circ} 43' 20''$ de latitude sul e $53^{\circ} 47' 30''$ e $53^{\circ} 34' 20''$ de longitude oeste. Apresenta uma área de 27673,77 hectares, estando sua maior extensão inserida nos municípios de Itaara e Silveira Martins.

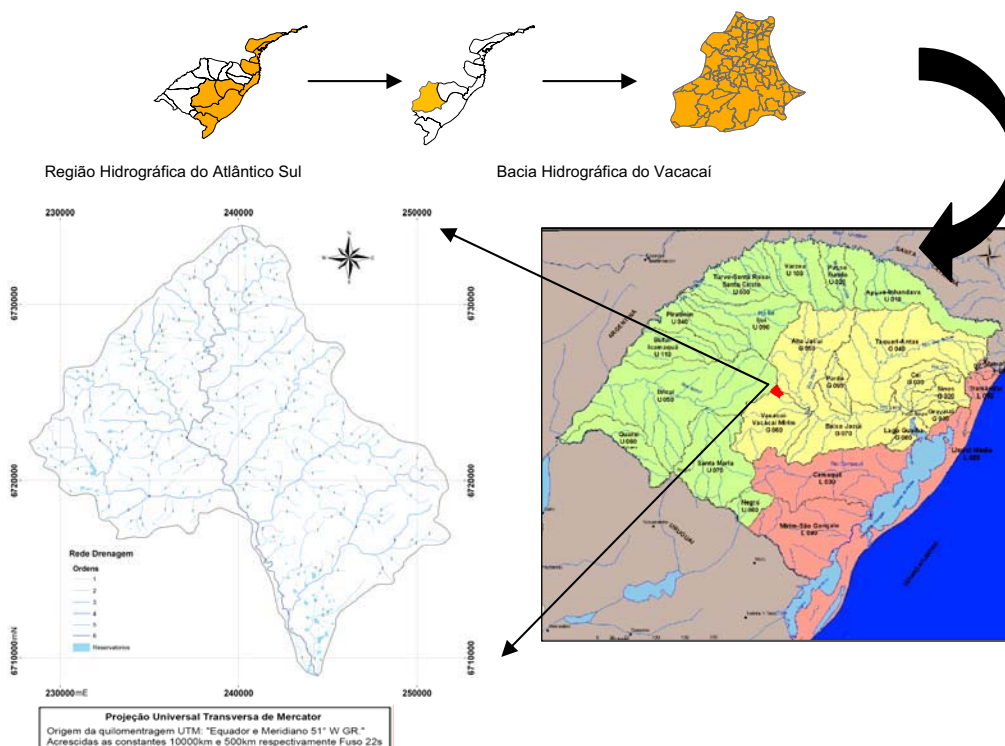


Figura 03 - Localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS), na Bacia Hidrográfica do Vacacaí – Vacacaí Mirim (RS).

Fonte - PADILHA, D.G.(2008)

3.2 Clima

O regime climático é constituído por precipitações basicamente regulares todo ano (não havendo estações de secas definidas). A Bacia Hidrográfica do Arroio Grande esta localizada numa zona de clima temperado úmido, com ocorrência de chuvas todos os meses do ano, alcançando no mês mais quente temperatura superior a 24°C, tendo como temperatura média 17°C.

A temperatura se mantém relativamente baixa nos meses de maio e agosto, quando a região sofre invasões de frentes polares, muitas vezes acompanhadas de chuvas, fazendo a temperatura chegar a níveis próximos de 0°C, ocasionando a formação de geadas.

Segundo BRENA (2008), climaticamente a região da depressão central é, juntamente com a Campanha, a zona mais quente do Estado, sendo predominantes os ventos de Leste; os ventos Norte, apesar de pouco frequentes e de curta duração.

No Rio Grande do Sul o valor de umidade relativa do ar é muito elevado, pois variam de 75% a 85%. Enquanto no verão e primavera os valores giram em torno de 68% a 85%, no outono e inverno estes se encontram entre 76% e 90%, sendo, portanto relativamente estável durante as diferentes estações do ano. (BRENA, 2008).

Conforme dados da estação Meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria, durante o ano todo de 2002 a precipitação foi de 2691,4mm e a média mensal foi de 224,3mm. Os meses com menores índices de precipitação foram fevereiro e Janeiro com 101,1 e 111,8mm respectivamente (RUHOFF, 2004).

Ruhoff (2004) destaca ainda que o clima associado aos fatores litólicos e pedológicos da área cria condições francamente favoráveis à erosão da área. Em solos com pouca cobertura vegetal, as chuvas exercem uma forte ação mecânica na zona do rebordo do planalto.

3.3 Geomorfologia

O relevo apresenta-se bem característico pelos dois conjuntos morfoestruturais denominados topo e rebordo do planalto. As altitudes do topo do planalto situam-se entre 340 a 520 metros.

O Topo do Planalto é composto basicamente por rochas basálticas e areníticas, formado por sucessivos derrames de lavas da Era Mesozóica. Essa formação geológica faz com que tenhamos nessa área um compartimento com topografia suavemente ondulada, isso se deve a ocorrência de vulcanismo fissural ocorrido na Bacia do Paraná. Hendges *et. al* (2003 apud MÜLLER FILHO 1970).

O Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro apresenta um desnível aproximado de 260 m e peculiaridades individuais, sendo testemunho da fase de evolução do Planalto Meridional Brasileiro. (HENDGES *et. al.*, 2003)

Geologicamente os municípios de Itaara e Silveira Martins assentam-se quase todo sobre a formação da Serra Geral, este relevo apresenta-se também formação Caturrita e Formação Arenito Botucatu litologicamente, este complexo vulcânico apresenta em algumas áreas afloramento de rochas.

Alguns autores que analisaram as características da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, registraram que a grande velocidade de escoamento superficial provocado pelas elevadas declividades, permite a água transportar grandes quantidades de materiais erosivos, que se depositam em áreas planas, causando o empobrecimento dos solos e assoreamento dos cursos d'água (RUHOFF, 2004).

3.4 Solos

Ruhoff (2004), em conformidade com outros autores, descreveu que podem ser encontrados na Bacia do Arroio Grande os seguintes solos: 1) *Planossolo Hidromorfo*(SGe1); 2) *Argissolo Vermelho Distrófico Arenico* (PVd2); 3) *Alissolo Hipocronico Argilúvico*(APt2); 4) *Associação Chernossolo Argiluvico Férrico-Neossolo Litólico Eutrófico Chernossólico* (MTf – Rle1); 5) *Argissolo Vermelho Amarelo Aluminico*(PVA a3);e 6) *Argissolo Vermelho Amarelo*(PVAa1).

No entanto Streck (2008) classifica os solos encontrados na Bacia em estudo como: 1) *Argissolo Bruno-Acinzentado Alumínico típico* (PBACa); 2) *Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico úmbrico* (PBACal3); 3) *Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico úmbrico* (PVAa2); 4) *Argissolo Vermelho Distrófico arênico* (PVd2); 5) *Associação Neossolo Regolítico Eutrófico típico - Cambissolo Háptico Eutrófico típico e Luvissole Háptico Pálico plíntico* (RRe1- CXe -TXp); 6) *Planossolo Háptico Eutrófico arênico* (SXe4).

Classes de Solos	Significado Genérico
Argilossolo	Horizonte subsuperficial argiloso
Cambissolo	Horizonte B incipiente
Luvissole	Acumulação subsuperficial de argila
Neossolo	Solos novos em formação
Planossolos	Solos Planos

Quadro 01- Classes de solos e seus significados genéricos

Fonte - Adaptado de Ruhoff (2005).

No quadro 02 apresenta-se uma descrição das características principais, das unidades de solos encontrados na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande conforme descrito por Streck (2008).

ARGISSOLOS	Os Argissolos são geralmente profundos a muito profundos, variando de bem drenados a imperfeitamente drenados, dos quais podem ser originados de diversos tipos de materiais, tais como basaltos, granitos, arenitos, argilitos e siltitos. Estes solos ocorrem em relevo desde suave ondulado a forte ondulado, ocupando em termos percentuais a maior parte do Rio Grande do Sul.
CAMBISSOLOS	Os Cambissolos são solos rasos a profundos, com condições de drenagem variando de bem drenados a imperfeitamente drenados dependendo da posição que ocupam na paisagem. Estes solos em processo de transformação, razão pela qual tem características insuficientes para serem enquadrados em outras classes de solos mais desenvolvidos, podendo ocorrer em qualquer situação de relevo e paisagem.
LUVISSOLOS	Os Luvisolos são solos geralmente pouco profundos, bem a imperfeitamente drenados, tem boa fertilidade química natural, mas apresenta carência de fósforo.
NEOSSOLOS	Os Neossolos são solos rasos ou profundos, sendo de formação muito recente, desenvolvidos a partir dos mais diversos tipos de rochas (material de origem) e encontrados nas mais diversas condições de relevo e drenagem. A utilização dos Neossolos Regolíticos para pastagem sob lotação excessiva de animais por unidade de área resulta na redução da cobertura vegetal do solo, favorecendo a erosão hídrica.
PLANOSSOLOS	Os Planossolos são solos imperfeitamente ou mal drenados, encontrados em áreas de várzea com relevo plano a suave ondulado. Os Planossolos Háplicos Eutróficos arênico ocorrem principalmente na Depressão Central, sendo geralmente aptos para o cultivo de arroz irrigado e, com sistemas de drenagem eficientes, mas também podem ser cultivados milho, soja e pastagem.

Quadro 02 - Principais características das unidades de solos encontradas na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).

3.5 Vegetação Original

A Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, esta incluída no Bioma Mata atlântica, sua formação é de Floresta Estacional Decidual, caracterizada por árvores de 25 a 30 m de altura, com grande diversidade florística, principalmente no rebordo. Podendo ser encontrada na bacia uma considerável ocorrência de epífitas, samambaias e cipós.

Na encosta da Serra Geral, a floresta é constituída por árvores típicas de florestas do Alto Uruguai (REITZ et al., 1989); que são altas, emergentes e a maioria decídua.

Brena; Longhi (2002) destacam que ocorrem na área espécies comuns das formações secundárias, todas especializadas na colonização de clareias. Dentro da área as espécies estão distribuídas conforme a aptidão dos ambientes naturais, três tipos de formações podem ser encontrados: formações aluviais, formações submontanas, que compreendem terrenos ondulados e dissecados e formações montanas, que abrangem áreas com altitude superior a 400 metros.

Caracterizada por sua beleza e biodiversidade, destacam-se nestas formações espécies como: angico-vermelho (*Parapiptadenia rígida*), cabreúva (*Myrocarpus frondosus*), camboatá (*Cupania vernalis*), canjerana (*Cabrela canjerana*), cedro (*Cedrela fissilis*), cerejeira (*Eugenia Involucrata*), pitangueira (*Eugenia uniflora*), guajuvira (*Patagonula americana*), ipê (*Tabebuia sp.*), mamica-de-cadela (*Zanthoxylum rhoifolium*) dentre outros.

Podendo no Topo do Planalto aparecer as formações campestres, caracterizadas pela presença de espécies rasteiras (gramíneas) associadas aos capões e matas de galeria.

4 CAPITULO

ASPECTOS METODOLOGICOS

4.1 Materiais Utilizados

Os materiais utilizados foram divididos em documentos cartográficos e materiais de apoio.

Os documentos cartográficos utilizados no desenvolvimento desta pesquisa foram:

Nome	Nomenclatura	Escala
Camobi	Folha SH 22-V-C-IV-2,MI - 2965/5	1:50.000
Santa Maria	Folha SH 22-V-C-IV-1,M I - 2965/1	1:50.000
Val de Serra	Folha SH 22-V-C-I -4,MI - 2948/4	1:50.000

Quadro 03 - Cartas topográficas utilizadas

Fonte - DSG (Exército Brasileiro)

Os materias de apoio utilizados nesta pesquisa se referem a:

- Imagens do Satélite CBERS 2B, Sensor CCD, Órbita 160, Ponto 133, composição multiespectral, bandas 3-4-2, revolução 1369, com data de passagem 23-12-2007, obtida através do site www.cbbers.inpe.br.
- Aplicativos computacionais ArcGIS 9.2, Erdas Image 8.3, oriundos do Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ciências Rurais, da Universidade Federal de Santa Maria.
- Dados de unidades de solo mapeados através do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Rio Grande do Sul, na escala 1:750.000, elaborado por Streck (2008).
- Dados pluviométricos medidos na estação convencional (código nº 2953017) localizada no município de Santa Maria (RS) sob as coordenadas geográficas 29° 43' 27" - 53° 43' 11", de responsabilidade do INEMET.

4.2 Aplicativos Computacionais de Apoio

4.2.1 ArcGIS 9.2

O software ArcGIS foi criado pela empresa americana ESRI (*Environmental Systems Research Institute, Inc.*) no início da década de 90. Nessa época, o surgimento de computadores pessoais de baixo custo e com capacidade de processamento de dados gráficos, permitiu o desenvolvimento de uma nova geração de softwares para Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Sob o nome *ArcGIS Desktop* são comercializados os sistemas *ArcInfo*, *ArcEditor* e *ArcView*, que compartilham um mesmo núcleo e um número de funções que varia da versão mais completa (*ArcInfo*) até a mais simples (*ArcView*) (SALVADOR; SILVA, 2004).

Comparando-se a primeira versão com a atual, podemos notar uma grande evolução na sua capacidade de processamento, transformando-se hoje em um dos softwares mais completos para geoprocessamento.

O ArcGIS apresenta uma série de ferramentas comuns à operações de um GIS; no entanto ferramentas como *overlays*, *buffer* e gerenciamento de dados, são operações avançadas para processar *rasters*, topologias e definições de estruturas de banco de dados.

Imagem (2008), destaca que a ferramenta *ArcGIS Spatial Analyst* fornece um amplo espectro de funções para modelagem e análise espacial, podendo usuário criar, pesquisar, mapear e analisar dados matriciais; realizar análises integradas com matrizes (imagens) e vetores; pesquisar informações em múltiplas camadas; e integrar totalmente dados matriciais e dados vetoriais.

Com esta ferramenta o usuário é capaz de realizar modelos de aptidão, suscetibilidade, mapas de localização, modelos e análises hidrológicas, mapeamento de áreas comerciais, turísticas e de importância ambiental, uso da terra e análises demográficas.

4.2.2 ERDAS IMAGINE 8.3

Segundo Imagem (2008), o ERDAS IMAGINE é um amplo conjunto de ferramentas desenhadas especificamente para processar e gerenciar imagens de forma simples e eficiente, independente da experiência do usuário.

A empresa criadora do ERDAS IMAGINE tem se preocupado no resultado final que este aplicativo vai apresentar aos seus usuários, de forma que estes obtenham 100% das informações que são fornecidas, através de sistemas automatizados e organizados, objetivando um gerenciamento sistematizado e eficiente.

Acompanhando as tendências do mercado, a família de softwares ERDAS IMAGINE introduz o processamento de imagens no contexto corporativo, permitindo que imagens e informações obtidas sejam armazenadas, processadas e compartilhadas em bancos de dados, via *ArcSDE* da ESRI, *Oracle Spatial*.(IMAGEM, 2008).

Os processos que envolvem processamentos de imagens podem englobar uma grande quantidade de atividades, porém considerando que os usuários muitas vezes trabalham com apenas parte destas atividades, este aplicativo contém pacotes de aplicações específicos para cada necessidade.

4.3 Metodologia Aplicada

4.3.1 Mosaicagem e georreferenciamento das cartas topográficas, e imagens orbitais para extração dos dados.

Inicialmente foi criado o mosaico e georeferenciamento das cartas topográficas para obtenção do limite da bacia hidrográfica, das curvas de nível e suas respectivas cotas altimétricas; como também para extração das redes de drenagens, conforme ordenamento de canais de Horton (1945).

A mosaicagem das cartas topográficas foi realizada no aplicativo computacional Adobe Photoshop e exportado no formato *Tiff*, para posterior georreferenciamento no aplicativo ArcGIS.

A composição das imagens foi realizada no aplicativo computacional ERDAS IMAGINE, salvos em formato *raster* e georreferenciadas no aplicativo ArcGIS para elaboração dos mapas base.

4.3.2 Mapas Base

O mapa planialtimétrico e o mapa da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande foram obtidos através da digitalização do mosaico das cartas topográficas (do Ministério do Exército); após a delimitação manual de toda a bacia hidrográfica pelos pontos mais altos que identificam os divisores de água das chuvas.

A digitalização foi realizada no aplicativo computacional ArcGIS, sendo extraídas informações da rede de drenagem e das curvas de nível, com cotas correspondentes às cotas da carta topográfica, das quais variam de 80 a 500 metros de altitude.

A partir destas informações pôde-se elaborar o modelo numérico do terreno (MNT) da área de estudo.

4.3.3. Modelo Numérico do Terreno

O modelo numérico do terreno ou modelo digital de elevação (MDE), nada mais é do que uma imagem onde cada *pixel* possui o valor *Z* de altitude correspondente as suas coordenadas *X* e *Y*. Estes modelos são gerados automaticamente a partir da interpolação das curvas de nível e, neste caso, a interpolação utilizada foi uma Rede Triangular Irregular (TIN) onde a elevação digital é convertida em um modelo de terreno no qual a superfície é coberta por triângulos continuamente conectados. A partir do modelo numérico do terreno podem ser geradas imagens para interpretação dos mapas de hipsometria e declividade. Os intervalos adotados foram de 20 em 20 metros de equidistância entre as curvas de nível.

A partir do MNT é possível obtermos uma representação muito próxima da topografia existente na bacia, sendo possível obter também, uma visão tridimensional de toda formação do relevo da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande.

4.3.4 Mapa de Declividade.

As classes de declividade apresentam-se como um ótimo indicativo dos processos erosivos existentes em uma bacia hidrográfica, bem como os riscos que a compreendem (deslizamentos, inundações e alagamentos).

O processo de classificação e mapeamento da declividade de uma bacia hidrográfica constituir-se em um elemento de grande importância na determinação das potencialidades de utilização, sendo considerada como variável reveladora de aptidões e limitações de uso da terra.

Para se estabelecer os intervalos das classes de declividade foram utilizados os intervalos já consagrados nos estudos de aptidão agrícola associados aos valores já conhecidos dos limites considerados críticos para geotecnia. Desta forma, as classes de declividade foram hierarquizadas em cinco categorias, conforme descritas por Ross (1994) e apresentadas na tabela a seguir:

Tabela 01 - Classes de declividade e suas respectivas categorias de influências

<i>Classes de Declividade</i>	Categorias de Influência
Até 6%	Muito Fraca
De 6 a 12%	Fraca
De 12 a 20%	Média
De 20 a 30%	Forte
Acima de 30%	Muito Forte

Fonte - Adaptado de Ross (1994)

Para obtenção dos valores das classes, foi realizada a reclassificação do TIN, de forma a gerar as classes de declividades descritas na tabela 01.

Sporl (2007) salienta que estas classes descritas por Ross (1994) são usadas internacionalmente nos mapeamentos dos tipos de solos, normatizados e aplicados no Brasil pela EMBRAPA, IBGE, RADAMBRASIL e outros. [...], e também por se apresentarem compatíveis para análise dinâmica do relevo, além de possibilitarem a identificação das áreas de maior ou menor risco de erosão de acordo com a

característica de fragilidade potencial que são inerentes a cada classe de declividade.

4.3.5 Mapa de Unidades de Solos.

Na região Sul Carvalho; Câmara (2002), destacam a predominância de solos com alta e muito alta suscetibilidade à erosão, condicionados pela presença significativa de solos rasos, como os Cambissolos e Neossolos Litólicos, ou mesmo mais profundos como os Argissolos, todos localizados em relevos acidentados das serras e planaltos sulinos.

Os solos com suscetibilidade muito baixa e baixa, perfazem 29% da região, geralmente associados aos planaltos e planícies sedimentares de relevos aplainados [...] (CARVALHO; CÂMARA, 2002).

O mapa de unidades de solos da área correspondente à Bacia Hidrográfica do Arroio Grande foi obtido através da digitalização dos dados do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Rio Grande do Sul na escala 1:750.000 atualizado por Streck (2008).

A delimitação dos diferentes tipos de solos presentes na área da bacia em estudo foi feita apenas na fase de escritório, sem identificação de campo, utilizando a nomenclatura da legenda de identificação do Mapa de Solos do Rio Grande do Sul, apresentado por Streck (2008).

Para hierarquização desta variável, foram considerados os solos encontrados no mapeamento da área de estudo e classificados conforme o grau de fragilidade propostos por Ross (1994).

<i>Classes de Fragilidade</i>	<i>Classes de solo</i>
Muito Fraco	Latossolo Bruno, Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho amarelo de textura argilosa.
Fraco	Latossolo Amarelo e Vermelho Amarelo de textura média/argilosa
Médio	Latossolo Vermelho Amarelo, Alissolos, Argissolos textura média/argilosa.
Forte	Argissolos textura média-arenosa; Cambissolos
Muito Forte	Neossolos, Organossolos, Planossolos

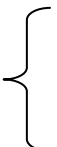
Quadro 04 - Importância dos tipos de solos na ocorrência dos processos erosivos.

Fonte - Adaptado de Spori (2007)

Ao apresentar este quadro, Sporn (2007) destaca que foram levadas em consideração as características de textura, estrutura, plasticidade, graus de coesão das partículas e profundidade/espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais.

Assim, os vários tipos de solos são classificados conforme sua fragilidade, de acordo com as cinco classes apresentadas, sendo possível estabelecer uma relação entre as unidades de solos encontradas na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande e o grau de fragilidade que os compreendem.

O quadro 05 apresenta os solos encontrados na bacia e classificados de acordo com Ross (1994), nas classes de fragilidade que os compreende.

Classes de solo	<i>Classes de Fragilidade</i>
Argissolo Bruno Acinzentado Alumínico típico (PBACa)	Médio
Argissolo Bruno Acinzentado Álico úmbrico (PBACal)	Médio
Argissolo Vermelho- Amarelo Alumínico-úmbrico (PVAa2)	Médio
Argissolo Vermelho Distrófico arênico(PVd2)	Forte
Planossolo Háptico Eutrófico arênico (SXe4)	Muito Forte
Associação (RRe1- CXe -TXp)	Muito Forte
-----	-----
 Cambissolo Háptico Eutrófico	Forte
Luvissolo Háptico Pálico	Muito Forte
Nessolo Regoítico Eutrófico típico	Muito Forte

Quadro 05 - Tipos de solos ocorrentes na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS) e sua importância na ocorrência dos processos erosivos.

Fonte - PADILHA, D.G. (2008)

Para Penteadó *et. al.* (2008) os solos hidromórficos são classificados como fragilidade muito alta por desenvolvem-se em zonas saturadas pela água, próximos ao lençol freático, que em algumas épocas mais chuvosas do ano chega a aflorar. Podem possuir um horizonte A com camadas arenosas (aluviais) ou horizonte hístico e um horizonte B fortemente cimentado (alto teor de argila).

4.3.6 Informações Pluviométricas

A precipitação pode variar temporal e espacialmente, tanto em relação ao tempo como no espaço, o conhecimento da distribuição e variação da precipitação é imprescindível para estudos hidrológicos. Para que possamos calcular a precipitação média de uma superfície qualquer, é necessário utilizar as observações dos postos dentro dessa superfície e/ou nas suas vizinhanças.

Os dados referentes aos volumes da chuva precipitada na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, foram obtidos da Estação pluviométrica localizada no município de Santa Maria (RS), sob responsabilidade do INEMET.

Para determinação do volume médio precipitado na área de estudo, utilizou-se os dados referentes ao volume total de chuva precipitada (mm) em um período de 25 anos, a iniciar em 1975 com término no ano de 2000.

Sporl (2007) descreve que os comportamentos pluviométricos obedecem a uma hierarquização de ordem crescente quanto á capacidade de interferência da estabilidade do ambiente, sendo estas classificadas em graus de fragilidade que variam de muito baixo a muito forte, como demonstra o quadro 06.

<i>Níveis Hierárquicos</i>	<i>Características pluviométricas</i>
1 - Muito baixo	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não superiores a 1000 mm/ano.
2 - Baixa	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 2000 mm/ano.
3 - Média	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno, e no verão com maiores intensidades de dezembro a março.
4 - Forte	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com período seco entre 3 e 6 meses, e alta concentração das chuvas no verão entre novembro e abril quando ocorrem de 70 a 80% do total das chuvas.
5 - Muito Forte	Situação pluviométrica com distribuição regular, ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2500 mm/ano; ou ainda, comportamentos pluviométricos irregulares ao longo do ano, com episódios de chuvas de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900 mm/ano (semi-árido).

Quadro 06 - Níveis hierárquicos das variações pluviométricas

Fonte - Sporl (2007), elaborado com base em Ross (1994).

Os valores de intensidade pluviométrica podem ser considerados representantes da erosividade da chuva, sendo assim, pode-se dizer que quanto maiores os valores da intensidade pluviométrica, maior é a erosividade da chuva (SPORL, 2007).

4.3.7 Mapa de Uso e Ocupação da terra.

A cobertura do solo também exerce uma grande influencia na determinação da fragilidade ambiental. Na concepção de Souza *et. al* (2005) ela pode fornecer o grau de proteção do solo maior ou menor em função do porte da planta, do período de exposição do solo, grau de cobertura e conseqüentemente a redução ou aumento dos processos erosivos. Portanto, a identificação do uso atual como também temporal, pode dar uma boa visão das ações antrópica nestas áreas.

As informações para elaboração do mapa de uso e ocupação da terra foram extraídas através da classificação digital supervisionada da imagem CBERS 2B, Sensor CCD, composição multiespectral 3-4-2. Este tipo de classificação consiste no reconhecimento da área de estudo, onde foram relacionadas as áreas da imagem com as classes que se objetivava analisar.

Em todas as áreas foram selecionadas amostras de treinamento, ou seja, conjuntos de pixels considerados mais representativos das classes de interesse, sendo estas definidas como: florestas, campo, agricultura, solo exposto, agricultura irrigada e lâmina d'água; visando com este processo, determinar para cada *pixel* amostrado na imagem uma das respectivas classes de uso.

De acordo com Muratori; Mantovani (2002) todos os pixels das amostras de treinamento de cada uma das classes constituem o conjunto de treinamento para aquela classe, o qual define o padrão de comportamento espectral da mesma.

Para a classificação das amostras coletadas, foi efetuado no aplicativo computacional ERDAS IMAGINE o método da máxima verossimilhança ou *maximum likelihood (ML)*. Na opção *Classifier – Signature Editor*, foi realizado a coleta das amostras dos *pixels* da imagem referentes aos diferentes usos da terra e, a opção *Classifier – Supervised Classification*, para realização da classificação da imagem com base nas amostras coletadas.

Após a classificação digital foram atribuídos ao banco de dados, os valores referentes a cada grau de fragilidade correspondente as classes de uso

encontradas, sendo a imagem posteriormente exportada em formato *raster* e inserida no ArcGIS, para realização dos cruzamentos das informações adquiridas.

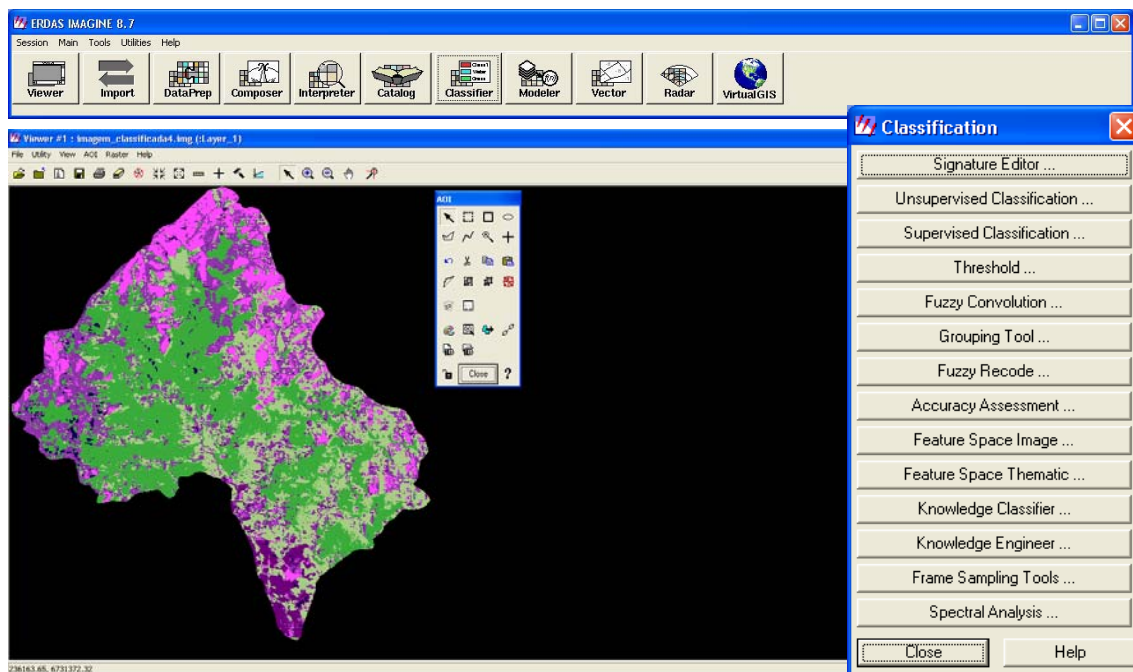


Figura 04 - Layout da classificação supervisionada no aplicativo computacional *ERDAS EMAGINE*.

Fonte - PADILHA, D.G. (2008)

As classes de fragilidade referentes ao uso e ocupação da terra foram determinadas com base em Ross (1994), com algumas adaptações consideradas relevantes para a área de estudo.

As classes correspondentes às áreas urbanas foram amostradas e classificadas juntamente com solo exposto como área de baixa proteção do solo, pois apresentam grau elevado de escoamento superficial e de desagregação do solo.

Na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande pode-se determinar a classe da agricultura irrigada como uma classe separada das demais formas de cultivo agrícola, justo que o solo permanece saturado por um longo período do ano e por apresentar um sistema de cultivo intensivo. Com isso, a classe agricultura corresponde as demais formas de cultivo agrícola ocorrentes na bacia e juntamente com as áreas de pastagem foram classificadas como de média proteção, como demonstra o quadro 06.

Classes de Fragilidade	Uso e Ocupação do Solo
Muito Alta	Solo Exposto e Áreas urbanizadas
Alta	Agricultura irrigada e Áreas desmatadas.
Média	Agricultura de ciclo curto e Pastagens
Baixa	Campos naturais
Muito Baixa	Cobertura Florestal Densa / Floresta Nativa

Quadro 07 - Classes de uso e ocupação da terra ocorrentes na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS) e grau de proteção que os compreendem.

Fonte - Adaptado de Ross (1994)

4.3.8 Álgebra de mapas

Baseando na metodologia de Ross (1994) foram elaborados os mapas base, mapa de declividade, mapa das unidades de solos e mapa de uso e ocupação da terra, referentes à área de estudo.

Através da álgebra de mapas foi possível executar os cruzamentos destes, obtendo assim os mapas de fragilidade potencial e fragilidade ambiental emergente da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande.

Para execução dos cruzamentos entre os diferentes planos de informação bem como sua representação nos respectivos mapas, foi realizada a hierarquização das suas classes e atribuído a elas valores (pesos) de fragilidade como descrito anteriormente.

Tal hierarquização foi definida segundo a proposta de Ross (1994), em cinco classes de fragilidade sendo elas: muito baixa - peso 1, baixa - peso 2, média- peso 3, alta - peso 4 e muito alta - peso 5.

A álgebra ou cruzamentos dos referidos mapas foi realizada no aplicativo computacional ArcGIS, na opção *Spatial Analyst- Overlay- Weighted Overlay*, que consiste em realizar sobreposições de vários mapas utilizando uma escala comum e pesos para cada classe conforme sua importância.

4.3.9 Mapa de Fragilidade Potencial

O mapa de fragilidade potencial foi elaborado por meio do cruzamento das informações relativas às classes de fragilidade do mapa de declividade, das informações pluviométricas e do mapa de unidades de solos, ocorrentes na bacia como demonstra a figura 05.

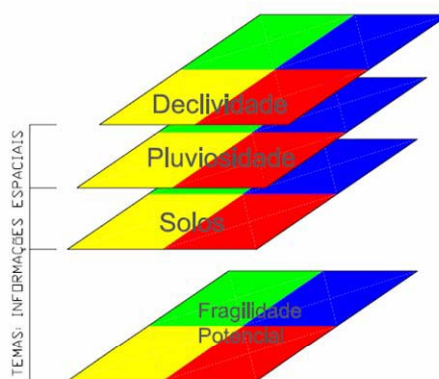


Figura 05 - Modelo esquemático de representação da superposição (cruzamentos) das informações para determinação da Fragilidade Potencial.

Fonte – Adaptado de Silveira (2005).

Portanto a primeira etapa para obter as unidades de fragilidade potencial, foi realizar o levantamento dos níveis de informações e organizar os mapas temáticos acima descritos conforme suas características e respectivos graus de fragilidade previamente definidos.

Determinados os valores (classes de fragilidade e/ou pesos), referentes às informações de cada mapa, estes foram convertidos em formato *raster* para realização dos cruzamentos das suas informações no aplicativo ArcGIS.

4.3.10 Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente

Ross (1994) propôs uma metodologia para a análise empírica da fragilidade ambiental, com objetivo de estudar a relação entre o espaço geográfico em conjunto com a análise espacial, tanto ambiente em condições naturais quanto sob ação antrópica.

Pela determinação das classes de fragilidade procurou-se compreender as interações dinâmicas que atuam sobre o sistema natural da bacia, permitindo o reconhecimento das limitações presentes para o uso do solo como também das alternativas de uso, visando à proteção do ambiente natural principalmente no que diz respeito às áreas de preservação permanente (APP).

O mapa de fragilidade emergente foi elaborado através da relação feita entre as informações resultantes da fragilidade potencial com as informações das classes de fragilidade do uso e ocupação da terra da área de estudo, conforme o modelo a seguir (figura 06).

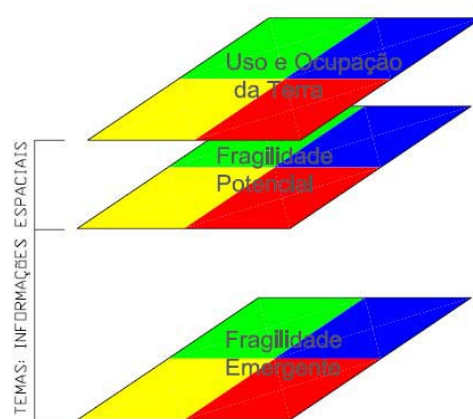


Figura 06 - Modelo esquemático de representação da superposição das informações para determinação da Fragilidade Ambiental Emergente

Fonte – Adaptado de Silveira (2005).

Para elaboração deste mapa, foi realizada a hierarquização das classes e atribuídos os valores correspondentes aos graus de fragilidade do uso e ocupação da terra juntamente com o mapa de Fragilidade Potencial obtido.

Atribuídos os valores de fragilidade, os mapas foram convertidos em formato raster para o posterior cruzamento das informações no ArcGIS. Na metodologia proposta por Ross (1994) este cruzamento objetiva a obtenção do mapa de Fragilidade Ambiental Emergente referente a área de estudo.

5 CAPITULO

ANALISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Mapas Base

5.1.1 Mapa da Rede de Drenagem e Mapa Planialtimétrico

A rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande apresenta-se bem ramificada, sendo o Rio Arroio Grande classificado como de 6^o (sexta) ordem conforme ordenamento de Horton (1945), apresentando mais de 74% das drenagens correspondentes a 1^o ordem, conforme figura 07, item (01).

A área total da bacia é da ordem de 276,73 Km², sendo o perímetro da mesma de 83,93 km. O canal principal possui uma extensão de 37,42km e em média os canais tributários possuem uma extensão de 1800 metros.

Com o mapa planialtimétrico (figura 07, item 02) foi possível a obtenção do MNT (figura 08), servindo de base para a obtenção do mapa de declividade e da fragilidade deste tema.

5.1.2 Modelo Numérico do Terreno

Com o MNT foi possível elaborar o mapa hipsométrico e o mapa de declividade, bases para obtenção da fragilidade potencial da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande. Os intervalos entre as cotas das curvas de nível da bacia apresentam-se de 20 m em 20 m de equidistâncias, variando entre 80 m e 500 m de altitude.

Este modelo proporcionou uma visão mais realista da formação o relevo presente na bacia, observamos na figura 08, item 02 os detalhes em 3D da área de estudo com as referidas cotas altimétricas.

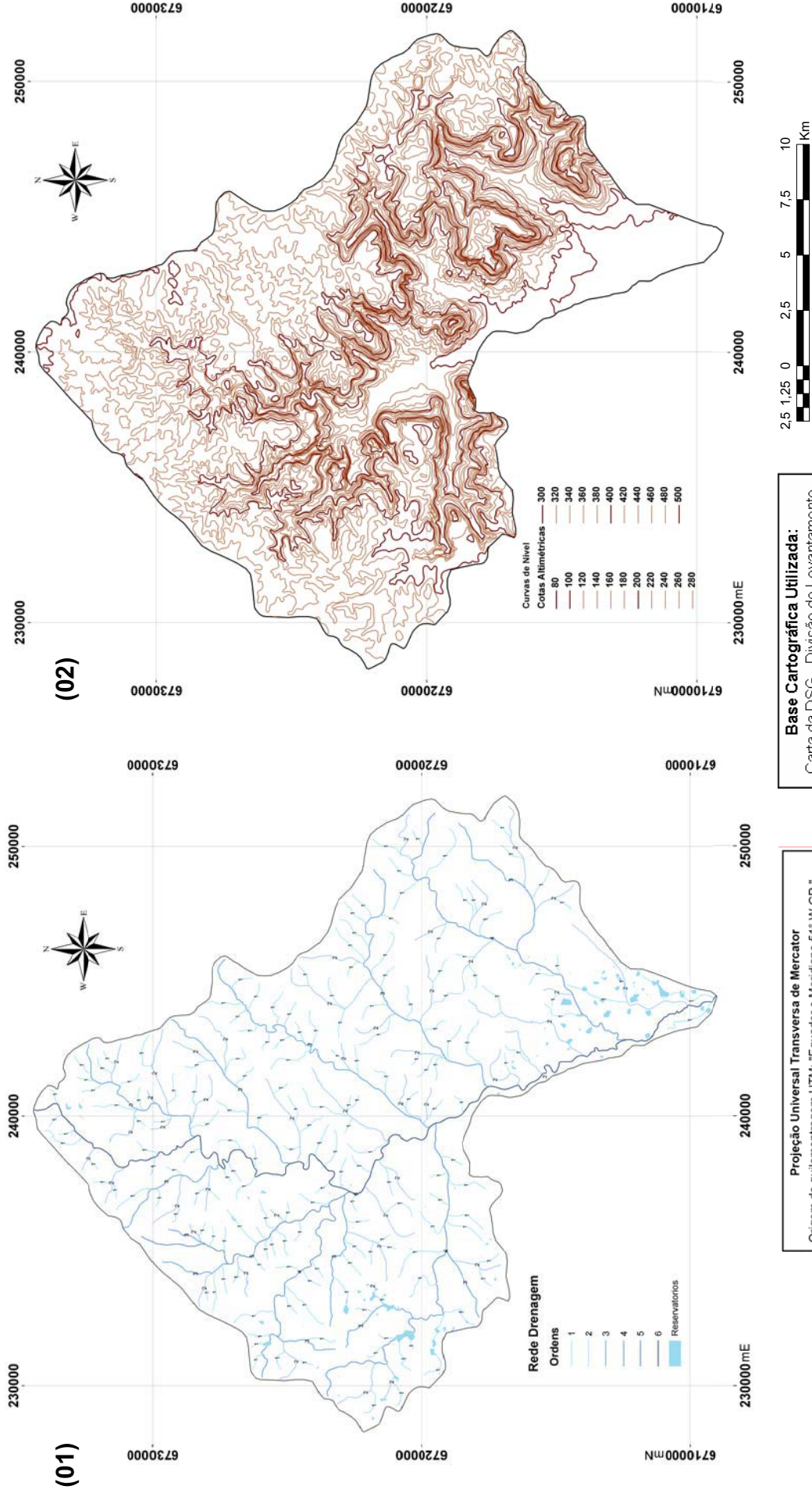


Figura 07 – (01) Mapa da Rede de Drenagem da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS), com respectivos ordenamentos; (02) Mapa das Curvas de nível da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).

Fonte. – PADILHA, D.G. (2008)

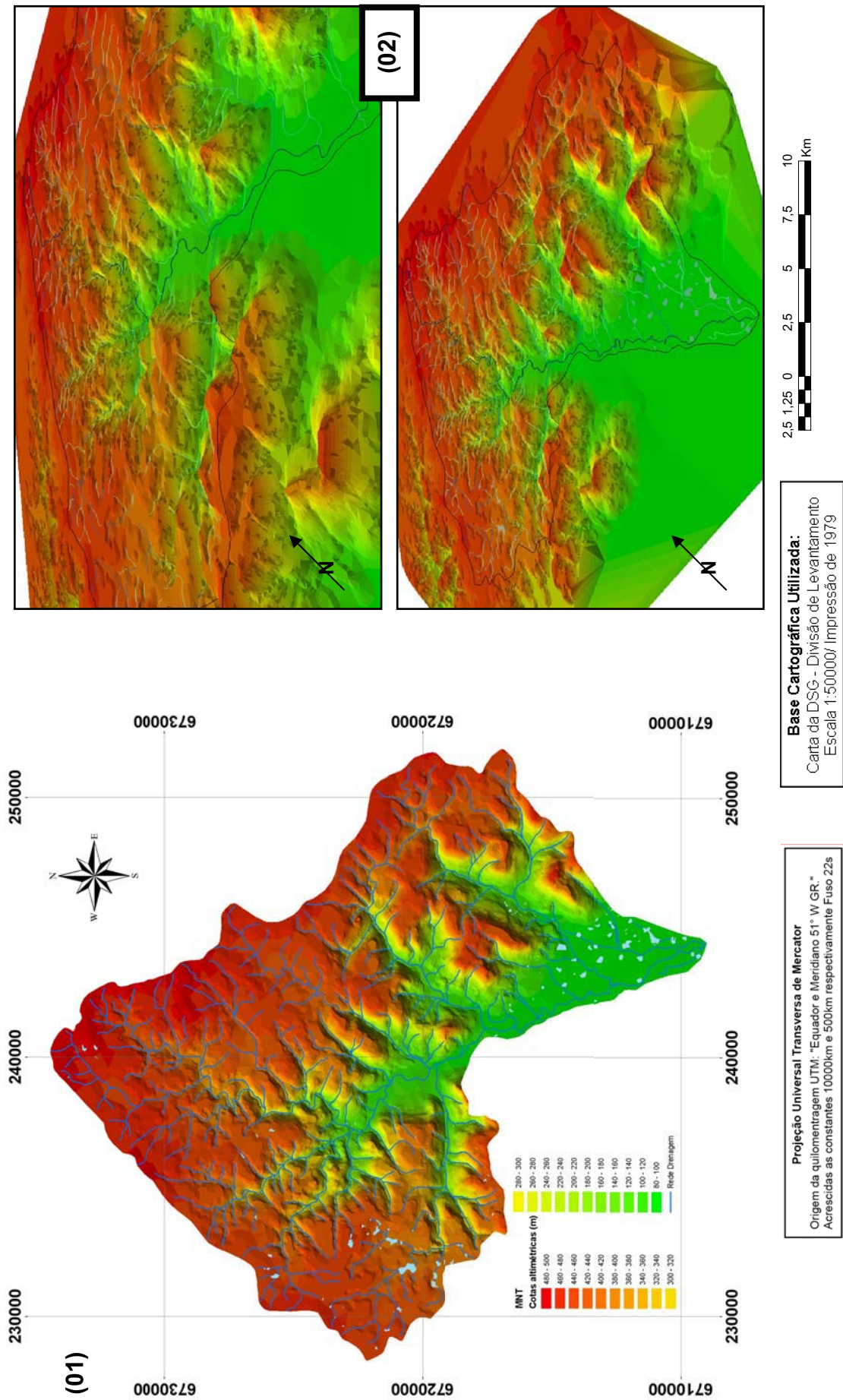


Figura 08 - (01) Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS), com respectivas cotas altimétricas; **(02)** Detalhes em 3D do relevo da área de estudo.

Fonte. – PADILHA, D. G (2008)

5.2 Mapa de Declividade

Para o mapeamento da Fragilidade Ambiental, a declividade apresenta-se como um importante de fator de análise, justo que os processos erosivos que a Bacia Hidrográfica venha a sofrer, podem ser acelerados conforme o grau de inclinação que apresenta. É claro que este fator não pode ser analisado de forma isolada, mas sim combinada com demais fatores como, por exemplo, tipo e cobertura de solo, dentre outros também importantes para análise erosiva da bacia como um todo.

Na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande observou-se que 59,98% do total da sua área possui declividades abaixo de 12%, o que resulta segundo metodologia Ross (1994) em uma categoria de fragilidade fraca e muito fraca conforme tabela 02.

É notório também que as classes de fragilidade forte a muito forte perfazem um total de 40,02% da área total da bacia como demonstra a figura 09, destacando a importância deste modelo de análise para a referida área de estudo.

Tabela 02 - Classes de declividade para determinação a Fragilidade e as áreas correspondentes a cada classe encontrada no interior da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).

Classes Fragilidade	Classes de Declividade (%)	Área na Bacia (ha)	(%)
1- Muito Fraca	0 - 6	12778,41	46,18
2- Fraca	6 -12	3819,00	13,80
3- Média	12 - 20	3726,63	13,47
4- Forte	20 - 30	2811,74	10,16
5- Muito Forte	< 30	4538,00	16,40
	Σ	27673,77	100

Fonte - PADILHA, D.G. (2008)

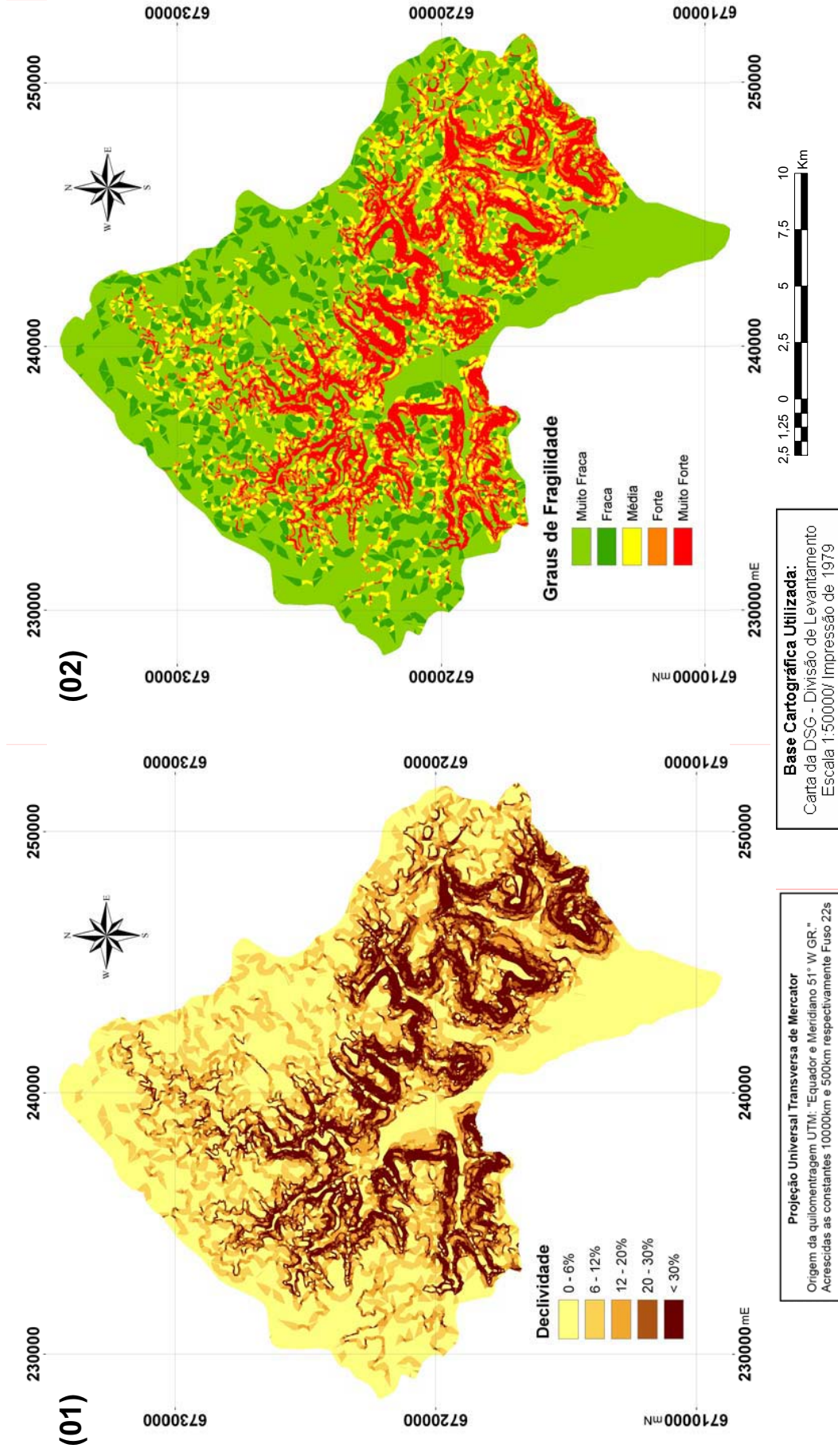


Figura 09 - (01) Mapa de declividade da Bacia Hidrografia do Arroio Grande (RS), estabelecidas conforme Ross (1994); (02) Mapa dos graus de fragilidade em relação à declividade, conforme Ross (1994), para determinação da Fragilidade Ambiental.

Fonte - PADILHA, D.G. (2008)

5.3 Mapa de Unidade de Solos

Com relação aos solos ocorrentes na bacia, destacam-se a Associação Neossolo-Cambissolo-Luvisolo (RRe1 – CXe – TXp) por se apresentar em 44,95% da área total da bacia, predominando na região do planalto.

Os Argissolos ocorrem de forma significativa na bacia, correspondendo a 30% da área total, com 8302,07 ha e apresentam-se desde o planalto até a depressão, com as referidas subordens descritas na tabela 03.

Tabela 03 - Unidades de solos presentes na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande e respectivas áreas (ha) e classes de fragilidade que as compreendem, baseadas na metodologia de Ross (1994).

<i>Sigla</i>	<i>Unidade de Solo</i>	<i>Área na Bacia(ha)</i>	<i>%</i>	<i>Classes de Fragilidade</i>
PBACa	Argissolo Bruno-Acinzentado Alumínico típico	226,64	0,82	Médio
PBACal3	Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico úmbrico	1022,12	3,69	Médio
PVAa2	Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico úmbrico	4850,28	17,53	Médio
PVd2	Argissolo Vermelho Distrófico arênico	2203,03	7,96	Forte
RRe-CXe-TXp (Associações)	Neossolo Regolítico Eutrófico típico Cambissolo Háplico Eutrófico Luvisolo Háplico Pálico	12440,52	44,95	Muito Forte
SXe4	Planossolo Háplico Eutrófico arênico	6931,18	25,05	Muito Forte

Fonte – PADILHA, D.G. (2008)

Os Planossolos também se apresentam de forma expressiva, ocorrendo em 6931,18 ha que corresponde a 25,05% da área total da bacia como demonstra a figura 10, item 01.

A Bacia Hidrográfica do Arroio Grande apresenta três graus de fragilidade referentes à classificação das unidades de solo. A classe que engloba a maioria dos solos presentes na bacia é de fragilidade muito forte, com uma área de 19371,70 ha representando 70% do total da área de estudo, encontrando-se desde o planalto até a região da depressão.

A segunda classe de fragilidade mais representativa na bacia é a de média fragilidade com uma porção expressiva de 22,04%, da qual ocupa 6099,02ha. No entanto, concentra-se em uma porção do planalto com a classe PVAa2 e no rebordo com as classes PBACa e PBACa13.

Outra classe de fragilidade presente na bacia é a caracterizada como de forte fragilidade. Apresentando apenas a classe *Argissolo Vermelho Distrófico arênico* (PVd2), que corresponde a 2203,03 ha e 7,96% da área total da bacia. Esta classe é encontrada em uma pequena região do planalto e de forma mais expressiva na região da depressão como demonstra a figura 10 item 01.

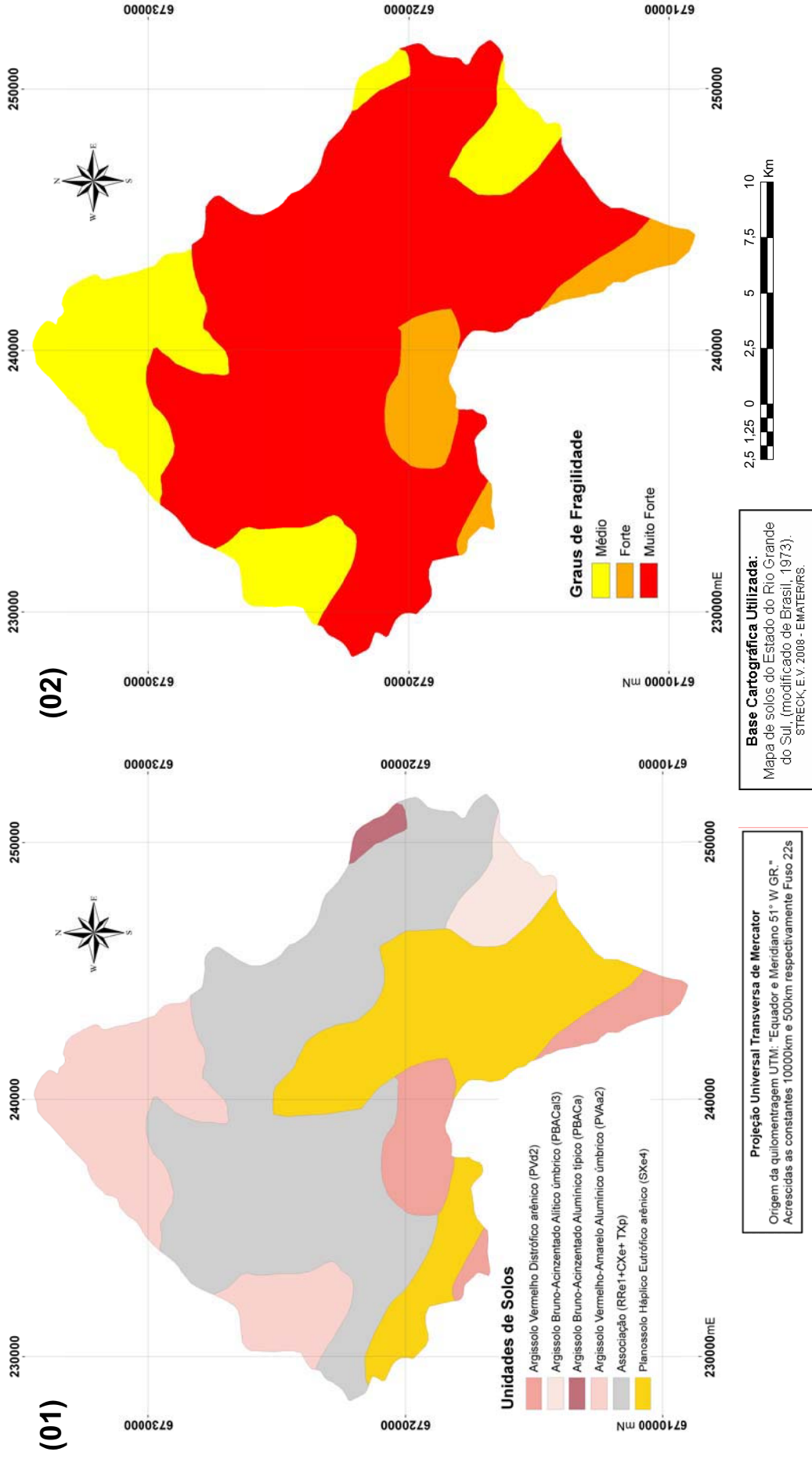


Figura 10 - (01) Mapa de Unidade de solo da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS), baseado no mapa de solos de Streck (2008); **(02)** Mapa dos graus de fragilidade referente às unidades de solo da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS), proposto por Ross (1994).

Fonte – PADILHA, D.G. (2008)

5.4 Informações Pluviométricas

Com os dados pluviométricos referentes aos volumes da chuva precipitada na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, obtidos da estação pluviométrica nº 53017, localizada no município de Santa Maria (RS), sob responsabilidade do INEMET, foi possível obter o volume total anual e mensal (em mm) precipitado no período de 25 anos (1975 a 2000), como apresentado nas figuras 11 e 12.

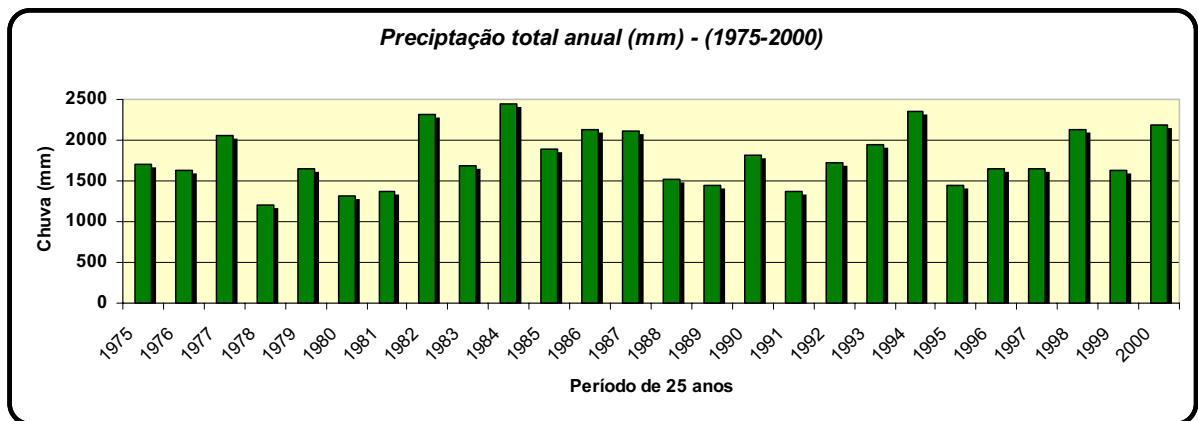


Figura 11 - Volume total precipitado (mm) anualmente, correspondente ao período de 1975-2000 na região da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).

Fonte - PADILHA, D.G. (2008)

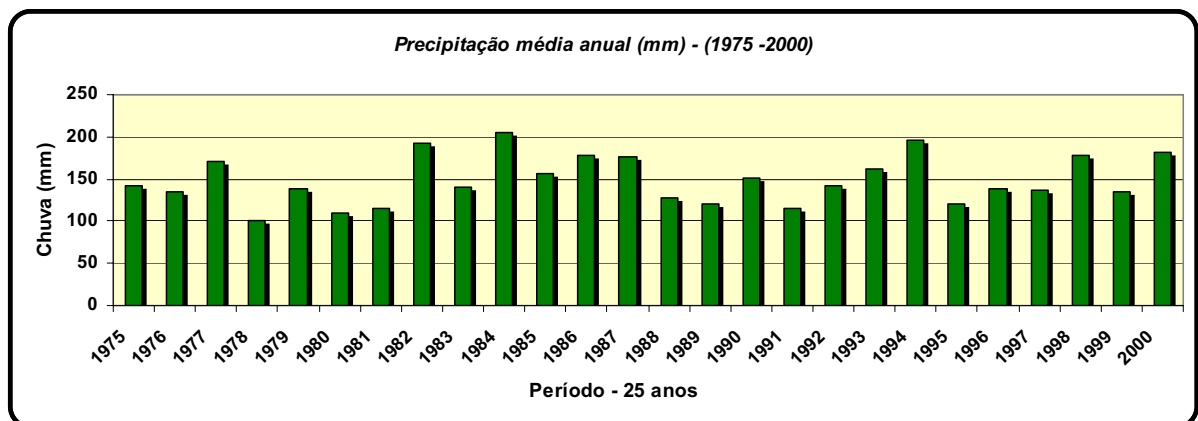


Figura 12 - Precipitação média anual (mm) do total precipitado na região da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).

Fonte - PADILHA, D.G. (2008)

A partir da soma do total das precipitações de cada ano, obteve-se a precipitação média anual e as precipitações médias mensais da estação pluviométrica durante o período analisado, como apresentado nas figuras 13 e 14.

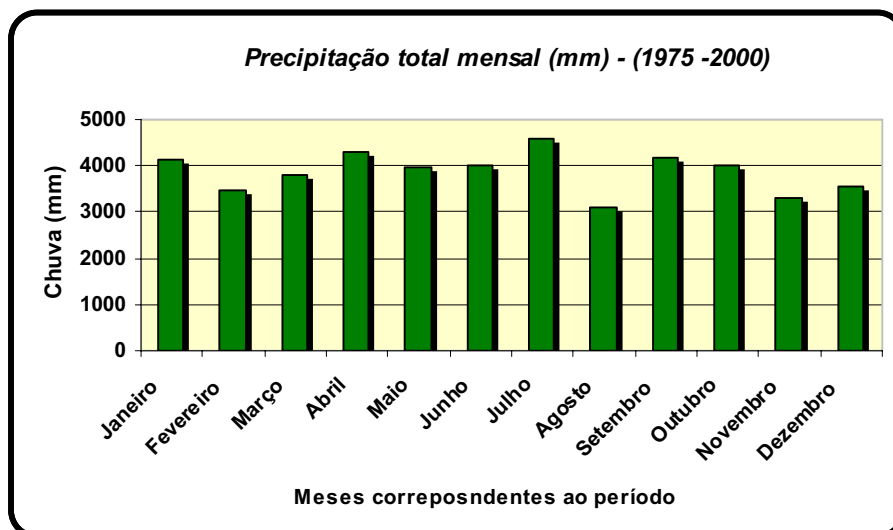


Figura 13 - Total precipitado (mm) nos meses correspondentes aos anos de 1975 a 2000 na região da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).

Fonte – PADILHA, D.G. (2008)

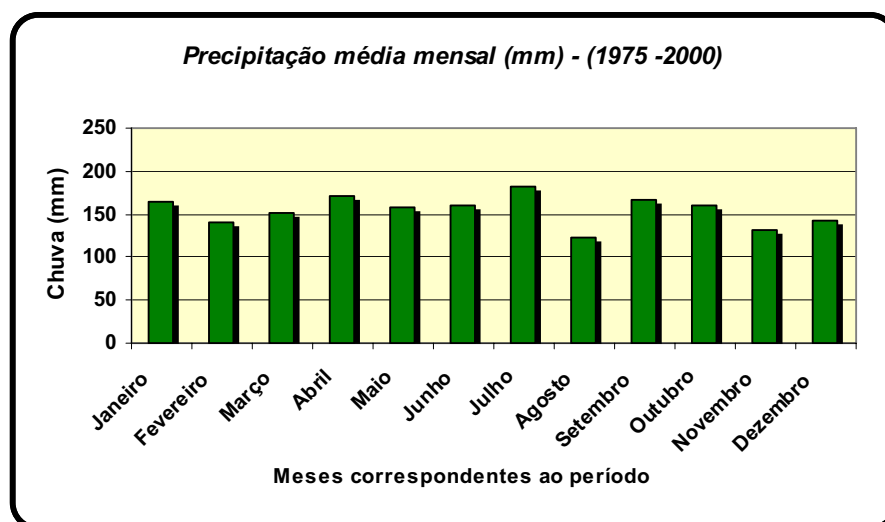


Figura 14 - Precipitação média mensal (mm) do total precipitado na região da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).

Fonte - PADILHA, D.G. (2008)

No que se refere às informações pluviométricas da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, observa-se que o ano que apresentou maior índice pluviométrico foi 1984 atingindo 2453,70 mm, seguido do ano de 1994 com precipitação total de 2343,80mm e 1982 com 2311,70 mm de volume precipitado.

No entanto o ano que apresentou a menor precipitação foi o ano de 1978 com volume de 1207,20 mm, posteriormente o ano de 1980 com 1308,00 mm e o ano de 1981 onde atingiu 1376,70mm de chuva.

Em uma análise mensal podemos destacar que o mês com maior índice pluviométrico ocorrido na bacia é o mês de outubro de 1997, onde atingiu um volume de 476,80mm, destacando também o mês de maio de 1984 que atingiu 471,20mm precipitados.

Já o mês de menor ocorrência de chuva foi o mês de maio de 1996 com apenas 3,70mm, seguido do mês de fevereiro de 1989 com 9,30mm e novembro de 1995 com apenas 10,30mm ocorridos.

Os índices referentes ao total da chuva precipitada nos meses correspondentes ao período de análise (25 anos), destaca-se o mês de agosto como o de menor ocorrência de precipitação, apresentando um total de 3095,20mm e uma média de 123,00mm anual, seguido do mês de novembro com um total de 3294,40mm e média de 131,77mm precipitados anualmente. Entretanto, o mês que apresentou maior volume de chuva ocorreu em julho com 4566,35mm e uma média de 182,65mm, seguido do o mês de abril com 4288,85mm precipitado no total do período de análise e uma média de 171,55mm.

Com base nestes dados foi possível determinar a precipitação média no período de 1975 a 2000 na região em que pertence a Bacia Hidrográfica do Arroio Grande. Este período apresentou um volume médio de 1855,31mm/aa, para o qual Ross (1994) classifica como de baixa fragilidade ambiental no que se refere ao índice pluviométrico.

5.5 Mapa de Uso e Ocupação da terra

A descrição do uso e ocupação dos solos da bacia nos reflete claramente a aptidão e conseqüentemente sua economia produtiva, assim como sua potencialidade ambiental e turística.

Referente ao uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande pode-se distingui-la nas duas formas de ocupação mais relevantes: a ocupação natural, composto pelas florestas e campos e a ocupação agrícola composta exclusivamente pelas áreas destinadas para agricultura, tanto pequena quanto de média escala.

A ocupação natural (florestas) ocorre de maneira predominante em toda área do rebordo do planalto onde se encontram as áreas com grau mais elevado de declividade da bacia, caracterizando áreas de difícil acesso e em sua maioria não agricultáveis.

A ocupação do solo para uso agrícola está presente em grande parte da bacia, apresentando na região da depressão o cultivo da agricultura irrigada e no planalto, com mais representatividade, as demais culturas agrícolas (soja, milho, feijão, etc.). Sendo que essa atividade econômica desenvolve-se ao longo de todo o alto e baixo curso da bacia, caracterizando cultivos e criações variadas.

Na tabela a seguir destacam-se as classes de uso e ocupação encontrados na Bacia do Arroio Grande bem como a área que as compreendem.

Tabela 04 - Classes de Uso e Ocupação da terra e respectivas áreas de abrangência na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).

<i>Uso da Terra</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>Área (%)</i>
Floresta	10247,87	37,03
Campo	6827,85	24,67
Solo Exposto	6061,77	21,90
Agricultura	3131,96	11,32
Agricultura Irrigada	1156,96	4,18
Lamina d'água	247,36	0,89
TOTAL	27673,77	100

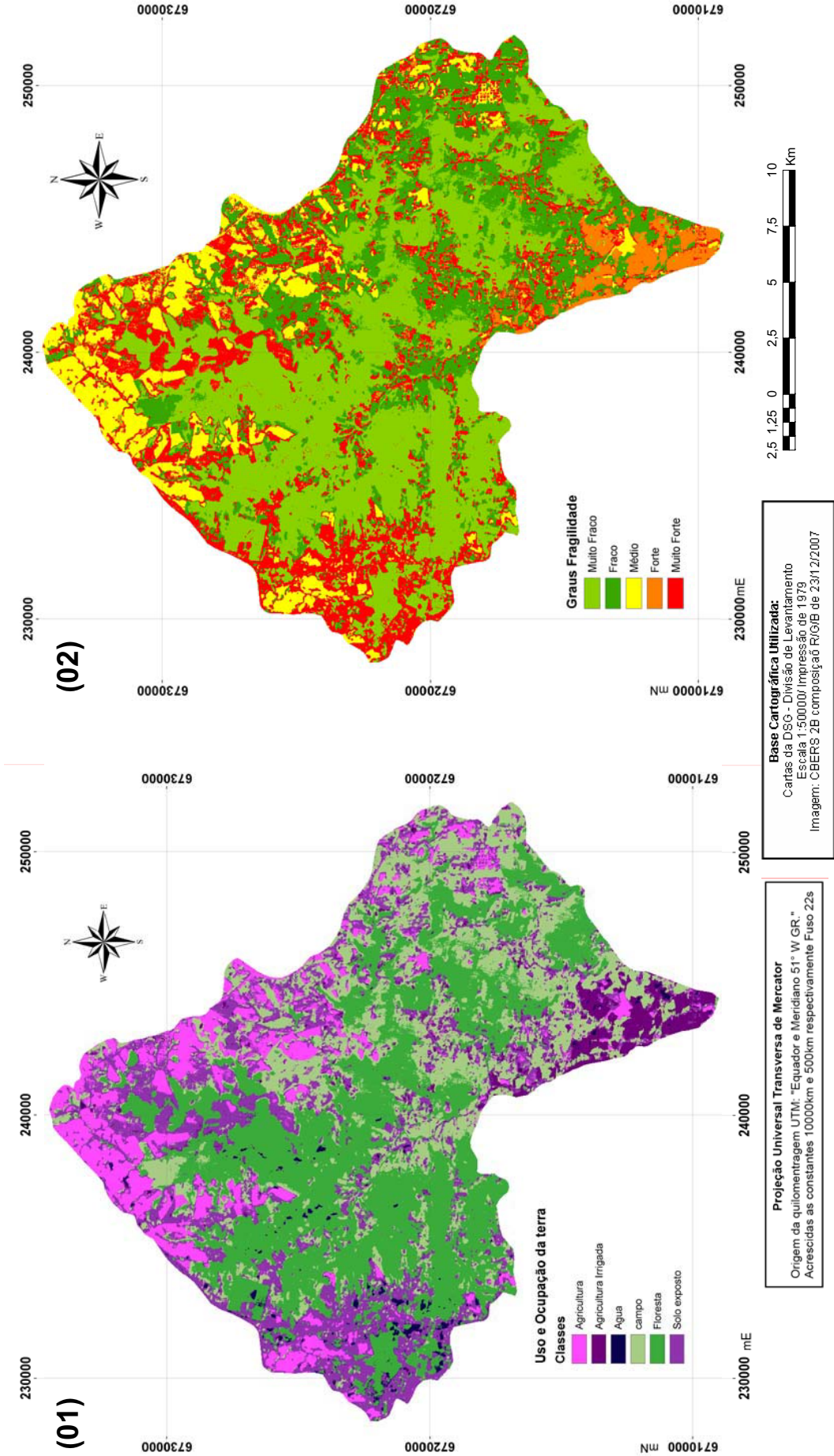


Figura 15 - (01) Mapa de Uso e Ocupação da terra da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS), a partir de imagem CBERS 2B; **(02)** Mapa dos graus de fragilidade referentes ao Uso e Ocupação da terra da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS), conforme metodologia de Ross (1994).

Fonte - PADILHA, D.G. (2008).

5.5.1 Florestas

Foram consideradas nesta categoria as formações florestais naturais de porte arbóreo representados pelos tipos fitofisionômicos característicos da região, como a floresta tropical decidual, a semi-decidual e as formações mistas com presenças de araucária, juntamente com as formações florestais artificiais homogêneas, das quais apresentam as espécies *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.*

Esta categoria apresenta um grau alto de proteção aos solos, pois na primeira formação apresentam um dossel contínuo, estratos inferiores e uma camada de matéria orgânica muito expressiva. A segunda formação apresenta um dossel mais homogêneo sem presença de estratos inferiores, mas também apresenta camada orgânica de importância.

Conforme indica a tabela 04, esta é a classe mais representativa na bacia hidrográfica, pois aparece em 37,03% de sua área perfazendo um total de 10247,87ha.



Figura 16 - Imagem das áreas que correspondem à classe floresta da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).

Fonte – PADILHA, D.G. (2008)

5.5.2 Campo e Pastagem

Nesta categoria estão incluídos as áreas de vegetação natural constituídas de campos e áreas de poteiros destinadas a pastoreio de gado ou mesmo áreas denominadas de campo sujo, oriundas de lavouras abandonadas.

A proteção do solo que esta classe apresenta é baixa em relação à classe de florestas, no entanto em relação às áreas agrícolas apresentam um grau de proteção maior justo que não há remoção ou utilização do mesmo, e em determinados locais há presença de indivíduos arbóreos esparsos.

Os campos ocupam uma área de 6827,85 ha, correspondendo 24,77% da área total da bacia e concentram - se próximas as áreas de florestas tanto na região do rebordo quanto no planalto, de acordo com o apresentado na figura 15, item 01.

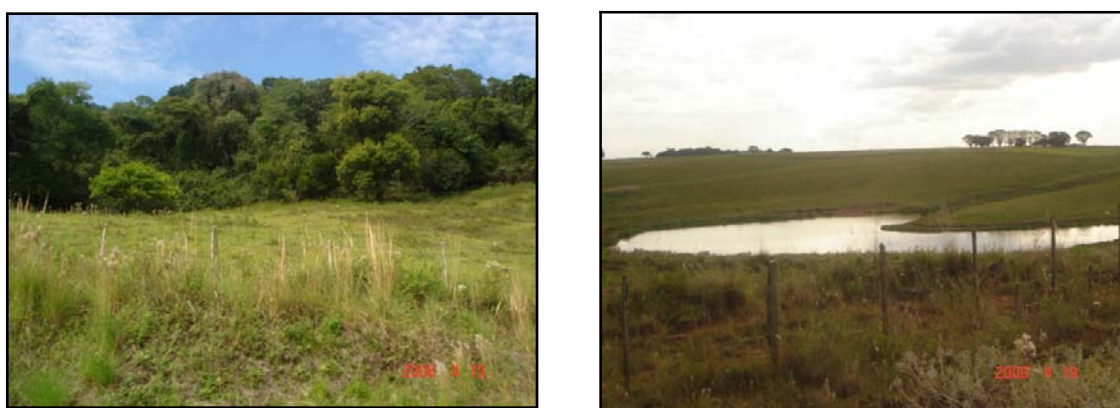


Figura 17 – Imagens das áreas que correspondem à classe campos da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).

Fonte – PADILHA, D.G. (2008)

5.5.3 Solo exposto

A categoria de solo exposto encontra-se em 6061,77ha perfazendo 21,90% do total da área bacia. Foram consideradas nesta categoria as áreas correspondentes à ocupação urbana, normalmente as áreas correspondentes às sedes dos municípios presentes na área de estudo, as estradas e áreas utilizadas para agricultura que se encontravam em preparo do solo para plantio.

A metodologia de Ross (1994) não apresenta uma classificação para as áreas de uso urbano. No entanto, Pachechenik (2004 apud THOMAZ, 2002) considera que as estradas são agentes erosivos que cortam o leito de rios, vertentes e canais escoadouros das águas das chuvas. Como as áreas urbanas são interligadas por varias vias e ruas, pode-se esperar que o grau de proteção do solo nestes locais seja baixo.

Assim esta classe apresenta grau de proteção mais baixo com relação às demais classes de uso da terra da bacia, considerando que permanecem por um período durante o ano com pouca proteção do solo, diminuindo assim a infiltração de água da chuva, resultando em maior escoamento superficial e transporte de sedimentos.



Figura 18 - Vista da área urbana do município de Silveira Martins e área utilizada para agricultura em fase de preparo do solo (solo exposto) na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).

Fonte – PADILHA, D.G. (2008)

5.5.4 Agricultura

As áreas dessa classe apresentam em partes áreas destinadas à agricultura familiar características de pequenas propriedades com finalidade de subsistência e/ou comércio local, sendo cultivado principalmente milho, feijão, aveia e hortaliças.

No entanto a bacia apresenta principalmente na região do planalto, em função das características do relevo, áreas de produção agrícola extensiva destacando-se o cultivo de soja, trigo, milho e aveia, esta última servindo de base para a alimentação de bovinos.

Na região da depressão é muito característico o cultivo de arroz irrigado, sendo que esta classe apresenta grau de proteção muito baixa em função da sua característica de produção. A categoria de agricultura irrigada está presente em 1156,96 ha representando 4,18% da área total da bacia.

As demais categorias de produção agrícola estão presentes em 3131,96 ha representando 11,32 % respectivamente, de acordo com apresentado na tabela 04.

Na área da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande as atividades agrícolas são classificadas como de ciclo curto, ou seja, que possuem um período de plantio, desenvolvimento e colheita, inferior a 365 dias.



Figura 19 - Imagem do cultivo de arroz irrigado na região da depressão e cultivo agrícola na região do planalto da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).

Org. – PADILHA, D.G. (2008)

Desta maneira, percebe-se a importância da atividade agrícola no contexto geral da bacia hidrográfica. Esta importância é mais notória ainda se somarem-se as classes de solo exposto, que se encontram eminentemente na área rural, e que acaba englobando áreas normalmente utilizadas para agricultura das quais se encontram em fase de preparo do solo. Considerando essa classe, chega-se a 37,40% da área da bacia sendo ocupada por atividades ligadas a agricultura.

5.6 Mapa da Fragilidade Potencial

A fragilidade potencial foi determinada a partir da relação entre as informações da declividade, unidades de solo juntamente com as informações pluviométricas ocorrentes na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, obtidas através das atividades de laboratório.

Para elaboração do mapa de fragilidade potencial da área de estudo, as classes foram hierarquizadas em cinco diferentes níveis que são: fragilidade muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, conforme o tabela 05. Essa apresenta o percentual e as respectivas áreas de cada classe da fragilidade potencial, destacando que a classe de fragilidade muito baixa não foi encontrada na área de estudo.

Tabela 05 - Áreas correspondentes a Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).

<i>Fragilidade Potencial</i>	<i>Área</i>	<i>%</i>
Muito Baixa	00	00
Baixa	4701,02	16,99
Média	12768,12	46,14
Alta	6604,32	23,86
Muito Alta	3600,30	13,01

Fonte - PADILHA, D.G. (2008)

A seguir, observa-se na figura 20 que a fragilidade manteve-se integralmente alta nas áreas de declividade superior a 30 %. É notório também o predomínio da classe de média fragilidade potencial com 46,14%. Isso ocorre devido aos níveis baixos de declividade (0 – 6%) que se destacam na bacia, associados aos tipos de solos caracterizados de média fragilidade do qual perfazem um total de 22,04%.

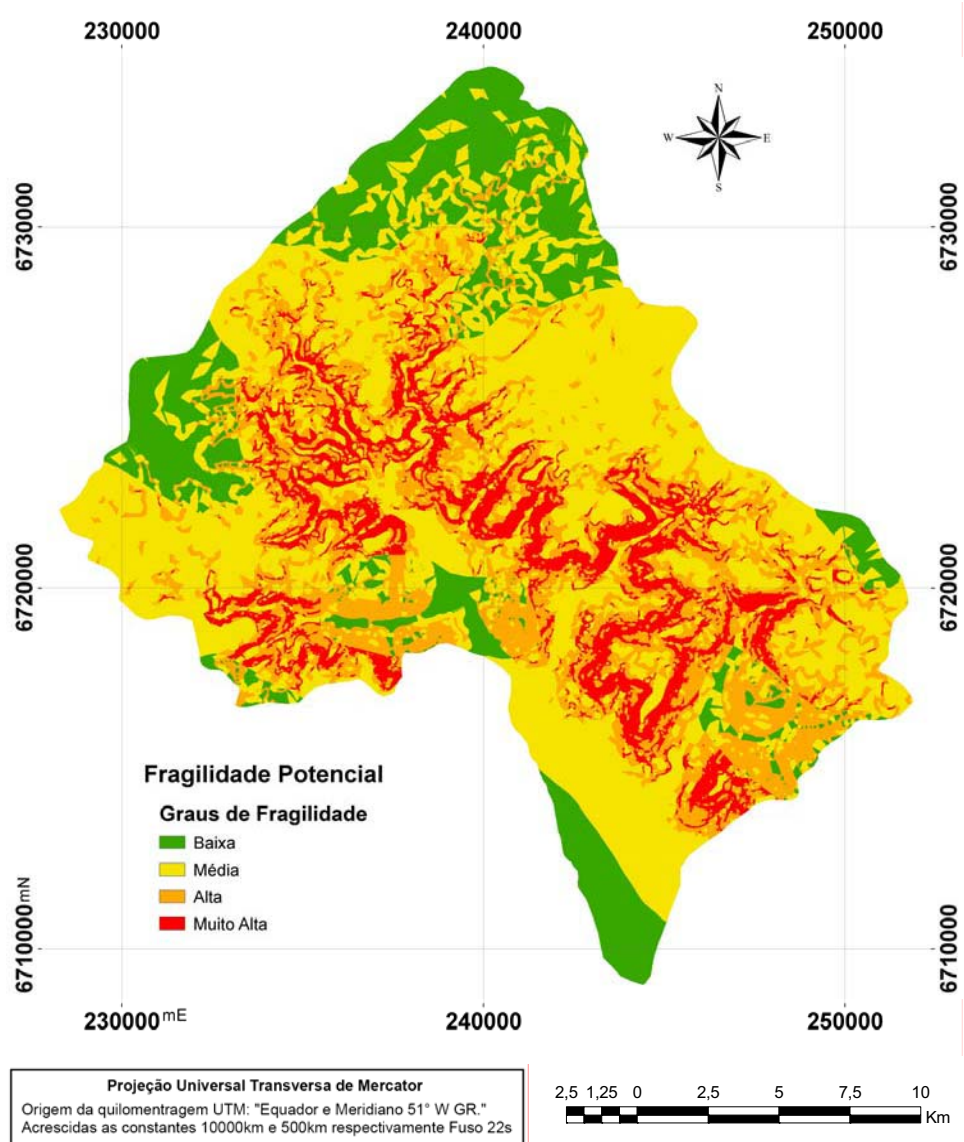


Figura 20 – Mapa da Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).

Fonte – PADILHA, D.G. (2008)

A Classe de fragilidade potencial com maior representatividade é a denominada de média fragilidade, estando distribuída desde a região do planalto até a depressão. Ocorre em uma extensão de 12768,12 ha da qual predominam os solos classificados como Associação (RRe1 – Cxe – TXp) com 7312,07 ha representando 57,27% dos solos presentes nesta classe, seguido dos Planossolos (SXe4) com 3414,24 ha e 26,74% respectivamente. O gradiente de declividade nesta classe varia de entre 12% até valores acima de 30%.

A classe expressa como de fragilidade baixa representa 16,99% da área total da bacia, perfazendo 4701,02 ha sendo predominante as declividades entre 0 a 6%, e solos do tipo PVAa2 com 3202,42 ha, representando 68,12% dos solos ocorrentes nesta classe, que se apresenta principalmente nas regiões do planalto como demonstra a figura 20.

No entanto, em uma pequena porção da depressão encontra-se 1149,37 ha dos solos tipo PVD2 correspondendo 24,45% do total encontrado na bacia. A combinação desses solos classificados como de média e forte fragilidade e declividades que atingem no máximo 6%, fazem com que esta classe seja caracterizada como de baixa fragilidade.

A segunda classe de fragilidade potencial mais expressiva na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande é a de fragilidade Alta, ocorrendo em 23,86% da sua área total, que abrange 6604,32 ha de acordo com a tabela 05.

Esta classe apresenta declividades entre 20 e 30% e principalmente solos do tipo Associação (RRe1 – CXe – TXp) dos quais, de maneira geral apresentam-se de mal a imperfeitamente drenados, novos em sua formação, podendo apresentar-se moderadamente rasos. Esta tipologia de solos combinadas com declividades altas são determinantes para a classificação de uma fragilidade forte, da qual na área de estudo se distribui uniformemente em toda a região da encosta e rebordo do planalto.

A classe de fragilidade muito alta também apresenta um percentual expressivo na bacia hidrográfica apesar de ser a classe com menor ocorrência, pois apresenta - se em 3600,30 ha que corresponde a 13,01% da área total da bacia. Essa classe apresenta declividades superiores a 30% e tem a ocorrência de solos tipo Associação (RRe1 – Cxe – TXp), dos quais adicionados a característica pluviométrica da área de estudo, resultam em uma classe de fragilidade muito alta.

Esta classe esta localizada na região do rebordo do planalto juntamente com a classe de alta fragilidade, onde se encontram as áreas de maior declividade da bacia. Somadas estas classes totalizam 10204,62 ha, representando 36,87% da área de estudo, o que torna ainda mais significativa a presença das classes com maior fragilidade, merecendo estas áreas um cuidado especial no que refere - se à utilização econômica do solo.

5.7 Mapa da Fragilidade Ambiental Emergente

Para análise da fragilidade emergente da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, além de considerarmos os elementos naturais constantes na fragilidade potencial como tipo de solo, declividade e pluviosidade, acrescenta - se nesta análise o elemento humano. Esse caracteriza-se pela forma que o ser humano utiliza o solo, mas principalmente a interferência que este exerce sobre o meio natural e as conseqüências resultantes desta interferência.

A figura 21 apresenta o mapa da fragilidade ambiental emergente da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS).

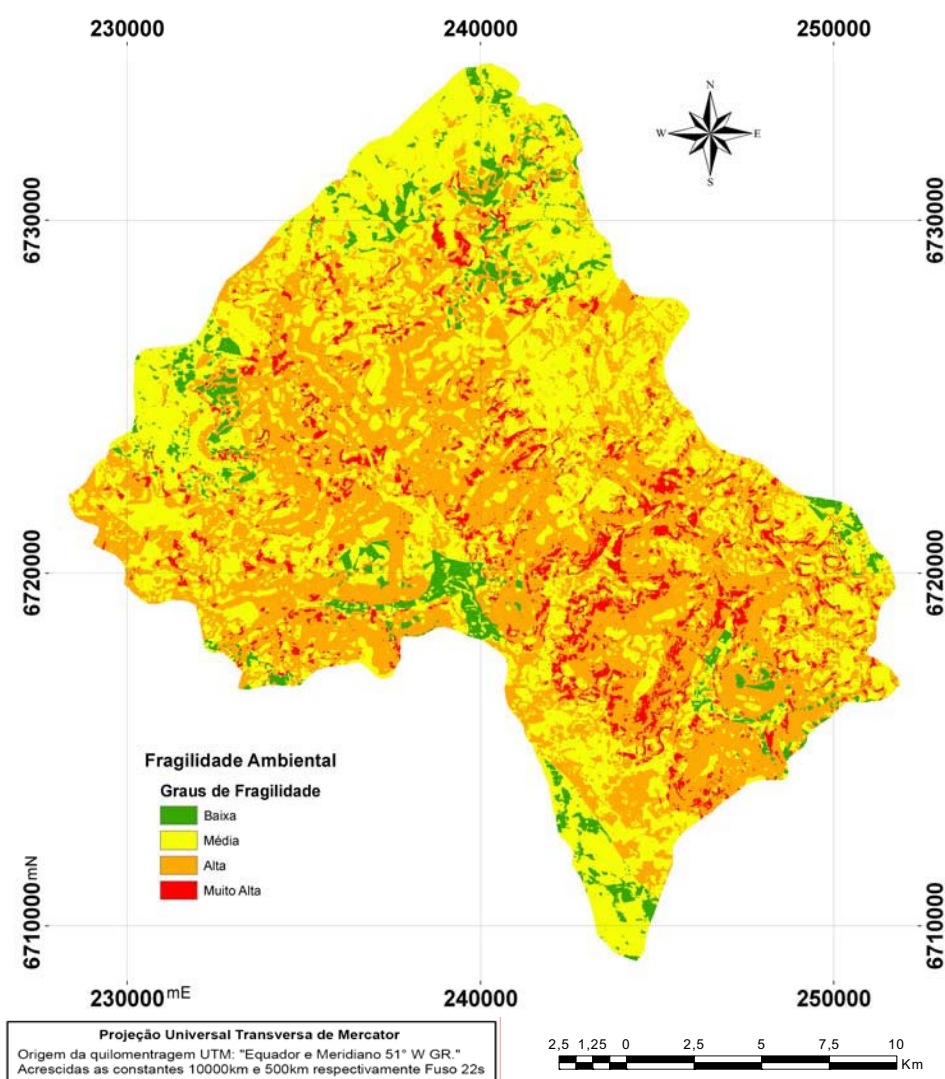


Figura 21 - Mapa da Fragilidade Ambiental Emergente da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS)

Fonte – PADILHA, D.G. (2008)

O quadro 08 apresenta as classes de fragilidade ambiental emergente da área de estudo, onde a classe mais representativa é a denominada de média fragilidade, presente em 54,12% da área total da bacia, correspondendo a 14977,87 ha

Classes de Fragilidade Ambiental Emergente	Área Total (ha)	Área total (%)
Fraca	4783,23	17,29
Média	14977,87	54,12
Forte	6688,65	24,17
Muito Forte	1224,02	4,42
Área total Bacia	27673,77	100

Quadro 08 – Área total das classes de Fragilidade Ambiental Emergente da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS)

Fonte - PADILHA, D. G. (2008)

O uso do solo na classe de média fragilidade é formado em sua maioria por florestas, com 43,47% e campos com 36,52% respectivamente, conforme quadro 09. Porém, é representativa a presença de atividades agrícolas, ocupando 2959,44 ha, significando 19,76% do seu total.

Usos da terra	Classes de Fragilidade Ambiental Emergente							
	Fraca		Média		Forte		Muito Forte	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Floresta	3733,78	78,06	6510,37	43,47	2,96	0,04	0,76	0,06
Campo	839,39	17,55	5470,40	36,52	518,06	7,75	—	—
Solo Exposto	—	—	—	—	4971,47	74,33	1090,3	89,08
Agricultura	—	—	2959,44	19,76	172,52	2,58	—	—
Agri. Irrigada	0,20	0,004	0,16	—	1023,64	15,30	132,96	10,86
Lamina d'água	209,86	4,39	37,5	0,25	—	—	—	—
Total (ha)	4783,23	100	14977,87	100	6688,65	100	1224,02	100

Quadro 09 – Áreas correspondentes a Fragilidade Ambiental Emergente da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande (RS), com relação ao seu uso e cobertura da terra.

Fonte - PADILHA, D. G. (2008)

Como esta classe de fragilidade constitui a maior área da bacia, ela contém todos os tipos de solos identificados. Embora seja classificada como de média fragilidade ambiental emergente, deve-se tomar alguns cuidados com relação ao uso do solo nesta classe, visto que a fragilidade potencial identificada apresentou-se entre as classes média e alta.

A classe determinada como de forte fragilidade ambiental emergente destaca-se como a segunda classe mais representativa na Bacia Hidrográfica com 24,17 % da área total, sendo o uso e cobertura atual composto principalmente por solo exposto (ocupação humana e áreas agrícolas em pousio) com 74,33% e áreas destinadas a agricultura irrigada com 1023,64ha, representando 15,30% respectivamente.

Estas áreas são consideradas de forte fragilidade em virtude que se concentram em locais com solos classificados como de forte (PVd2) e muito forte fragilidade (Associação e SXe4), requerendo nessa região a adoção de práticas conservacionistas e a implantação de reflorestamentos possibilitando uma maior preservação dos solos da região.

Com 17,29% do total da bacia hidrográfica, a classe de baixa fragilidade ambiental emergente apresenta quase que exclusivamente o uso e cobertura florestas com 3733,78 ha, representando 78,06% seguido dos campos com 17,55%, não apresentando nesta classe áreas com atividades agrícolas.

No entanto os solos presentes nesta classe foram identificados como de fragilidade forte e muito forte, merecendo atenção especial, pois apresentam restrições quanto ao uso para fins agropecuários, podendo ser destinado para uso de reflorestamento mediante praticas adequadas de manejo.

Apenas 4,42% da área total da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande apresentam - se como de muito forte fragilidade ambiental emergente. Esta classe compreende 89,08% do seu total com o uso da terra classificado como solo exposto e apenas 10,86% compreendendo o uso classificado como agricultura irrigada.

Os solos presentes nesta classe segundo Ross (1994), são classificados como de fragilidade muito forte e estão presentes justamente nas áreas com fragilidade potencial forte e muito forte por apresentar declividade acima de 20% em determinadas regiões.

Como existe uma sazonalidade da produção agrícola em função do clima característico da região, no período em que o solo não está exposto, ou seja, quando o mesmo é ocupado por culturas como milho, soja e demais atividades; a classe de fragilidade ambiental emergente muito forte apresenta diminuição, ocasionando conseqüentemente aumento da classe de fragilidade média e forte correspondente às áreas de maior ocorrência de atividades agrícolas.

6 CAPITULO

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Bacia Hidrográfica do Arroio Grande vem sofrendo as conseqüências da falta de planejamento. Apresentando-se como uma bacia de média a alta fragilidade em função principalmente do uso e ocupação da terra, bem como das características de relevo e unidades de solos que a compreende.

A fragilidade potencial da área de estudo classifica-se entre média e alta, pois 41,67% da área total encontram-se na classe de fragilidade média e 32,27% encontram-se na classe de fragilidade alta das quais apresentam restrições para o uso agrícola.

A bacia apresenta 37,03% da sua área total utilizada com floresta nativa e reflorestamentos, no entanto as classes de uso da terra combinados com a fragilidade potencial existente na bacia, classificam-na como fragilidade ambiental emergente de classe média (54,12%) a forte (24,17%) das quais somadas, totalizam 78,29% da sua área total. Estas áreas apresentam grandes restrições em relação à utilização econômica do solo, merecendo a aplicação de práticas conservacionistas e implantação de florestas nas áreas impróprias para utilização agrícola.

A determinação de fragilidade alta deu-se pelo fato de que a classe solo exposto apresenta-se de forma expressiva na bacia com 21,90% da área total, pois foram incluídas nesta classe as áreas urbanizadas das quais apresentam alto grau de fragilidade.

No entanto, a classe de fragilidade ambiental média apresenta maior variação também em função da sazonalidade das culturas o solo, o qual se apresenta exposto no período de inverno, aumentando a fragilidade emergente nas áreas que apresentam esta classe de uso.

Cabe destacar que os resultados encontrados com aplicação da metodologia proposta, ocorreram em função do conjunto de características naturais e antrópicas que área de estudo apresentou (declividade, pluviosidade, unidades de solo, e uso e ocupação da terra), podendo a mesma metodologia apresentar resultados

diferentes, ou insuficientes para áreas com características diferentes da área de estudo.

Cada situação analisada mostrou a importância de trabalhos com estas metodologias serem aplicadas em ambientes de bacias hidrográficas, destacando que os aplicativos computacionais utilizados nesta pesquisa mostraram-se práticos, pois conseguem trabalhar com grande número de informações e modelos diferenciados de análises.

Neste estudo da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande procura-se contribuir para o conhecimento da realidade ambiental em que área se apresenta, proporcionando dados atualizados da região com finalidade de auxiliar uma implantação futura de política públicas compatíveis com a sua realidade, justo que apresenta algumas restrições no que refere-se a utilização do solo, gerando alternativas mais adequadas de utilização

No entanto, vale destacar que esta análise e caracterização servirão de base para as questões de planejamento ambiental que visam o manejo adequado dos recursos existentes, pois o gerenciamento ambiental em todo seu contexto tanto municipal quanto em nível de bacia hidrográfica, engloba questões muito mais complexas, devendo levar em conta aspectos socioeconômicos, culturais e educacionais, visto que estes aspectos apresentam relação direta com o ambiente natural e as formas com que este é utilizado.

Assim, destaca-se que além dos dados produzidos neste trabalho são necessárias outras pesquisas complementares que englobem outros focos de atuação na linha ambiental, bem como, a Bacia Hidrográfica do Arroio Grande tem muito a ser analisada, suas fisionomias, dinâmicas, peculiaridades e endemismos, ocasionados pelas suas características de solo, relevo, vegetação, clima, e volume pluviométrico, sem esquecer a relação com as suas bacias captadoras e receptoras.

Ao finalizar, considera-se que a metodologia utilizada no presente trabalho permitiu que os objetivos propostos fossem atingidos. Salientando que, mesmo às áreas de remanescentes florestais apresentarem-se com a maior representatividade na bacia, o que interessa não é a análise do elemento de forma isolada, mas sim como esse elemento interage com os demais de forma que possa no seu conjunto constituir-se ambientalmente adequado, economicamente viável e socialmente integrado.

REFERENCIAS

ANDREOLLI, C. V.; CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: Sanepar, Finep, 2005.

AZEVEDO E. C.; MANGABEIRA J. A. C. **Mapeamento de uso das terras utilizando processamento digital de imagem de sensoriamento remoto**. Campinas - SP, 2001. (Comunicado Técnico; 7).

BENEDETTI, A. C. P. **Análise espacial da evolução do uso e cobertura da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal, Santa Maria**. 2006. 124f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BUARQUE S. C. **Metodologia de planejamento do desenvolvimento local e municipal sustentável**. Material para orientação técnica e treinamento de multiplicadores e técnicos em planejamento local e municipal, Brasília – DF, 1999. (Projeto de Cooperação Técnica - INCRA).

BRENA, D. A.; LONGHI, S. J. Inventário florestal da quarta colônia. in: itaqui, j. **Quarta colônia** : inventário técnico de flora e fauna, Condesus, Quarta Colônia, Santa Maria, RS, 2002.

BRENA, D. A (Coord.) **Relatório Final do Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/index.pdp>. Acesso em: outubro de 2008.

CAMARA, G.; DAVIS; C. **Introdução: Por que Geoprocessamento?**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; INPE, São José dos Campos, SP, 2001.

CÂMARA, G. e MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**, INPE, São José dos Campos, SP, 1996.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S: **Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2. ed. rev. e ampl. EMBRAPA. Serviço de Produção de Informação - SPI, Brasília- DF, 1998.

CARVALHO, C. S.; CÂMARA, J. B. D. (Coord.), **GEO Brasil – Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**, Brasília, Edições IBAMA, 2002.

CASTILHO, J. L. S. Aplicações de técnicas de geoprocessamento na definição da interferência da área de risco em áreas de uso urbano-estudo de caso Dom Pedrito – RS. 2004. 75f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

CHAVES, F. T. Uso do geoprocessamento para o planejamento de corredores de biodiversidade na bacia hidrográfica do Rio Caraíva em um modelo de gestão compartilhada. 2005. 42f. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) - Universidade Federal de Minas, Belo Horizonte.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. Edgard Blucher, 1 ed, São Paulo, 1999.

GHEZZI, A. O. Avaliação e mapeamento da fragilidade ambiental da Bacia do Rio Xaxim, Bahia de Antonina – PR, com o auxílio de geoprocessamento. 2003. 57f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

HENDGES, E. R.; ROSSADO, R. C.; PEREIRA, R. S. Correção atmosférica: uso de técnicas de processamento digital na comparação de mapas temáticos. In: III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 13, 2003, Curitiba, **Anais III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas.** Disponível em: <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/GeoColoq_2003/artigos/T055.pdf>, Acesso em: outubro de 2008.

IMAGEM – Soluções de Inteligência Geográfica, Disponível em: <<http://www.img.com.br/software>>, Acesso em: agosto 2008.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Disponível em <<http://www.cbbers.inpe.br/>>, Acesso em: fevereiro de 2008.

KLEINPAUL, J. J. Análise multitemporal da cobertura florestal da microbacia do Arroio Grande, Santa Maria, RS. 2005. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

LEITE M. E. Geografia e Geotecnologias no Estudo Urbano, Instituto de Geografia UFU, PPG em Geografia, Uberlândia, MG, 2006.

MADRUGA, P. R. A. **Sistema integrado de manejo de bacias hidrográficas**. 1991. 221f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MEIRELLES, M. S. P; Moreira, R. F.; Câmara, G. Capítulo 3 - Técnicas de Interferência Espacial. In MEIRELLES, M. S. P; Moreira, R. F.; Câmara, G..In **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Embrapa Informação Tecnológicas, Brasília, DF. 2007.

MENDES Jr., C. W. **Expansão da ocupação urbana de Gramado: estudo de caso da aplicação de fotografias aéreas de pequeno formato e SIG**. 2002. 172p f. Dissertação (Mestrado em Geociência) - Universidade Federal do Rio Grande, Porto Alegre.

MENESES; P. R; NETTO, J. S. M. **Sensoriamento remoto: refletância dos alvos naturais**. Planaltina: Embrapa Cerrados. Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2001.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Embrapa Informações Geográficas. 1 Ed.. Brasília, DF. 2005.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3º ed. atual. ampl.. Ed. UFV. Viçosa, MG. 2005.

MURATORI Jr., A.; MANTOVANI, L. D. **O geoprocessamento aplicado ao estudo das áreas verdes no município de Curitiba**. 2002. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário · Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis 6 a 10 de Outubro. Disponível em:< http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2002/063/063.HTM>, Acesso em agosto de 2008.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. Ed. Edgard Blucher. São Paulo. 1998.

PACHECHENIK, P. E. **Caracterização hidrológica e da fragilidade ambiental na bacia do Rio das Pedras, Guarapuava – PR**. 2004. 79f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

PENTEADO, A. F. et. al. **Fragilidade Ambiental da Bacia do Rio Serra Negra – PR**. X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Disponível em: <<http://geografia.igeo.uerj.br/xsbgfa/cdrom/eixo3/3.3/060/060.htm>>, Acesso em agosto de 2008

PIRES, R. B. **Uso Geotecnologias para o mapeamento do município de São Francisco de Assis**. 2006. 115f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

QUADROS, E. Q. **Geoprocessamento aplicado a elaboração do plano diretor de desenvolvimento rural Bento Gonçalves**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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

ROSA, F. S. **Software de Geoprocessamento: quem é quem**. In Revista Fator Gis nº8, ano 2, ed. Sagres. Curitiba, PR. 1995.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. In: Revista do departamento de geografia, nº 8. FFLCH. USP. São Paulo. 1994.

RUHOFF, A. L., **Gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas: modelagem ambiental com a simulação de cenários preservacionistas**. 2004. 93f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2004.

SALVADOR, E. D; SILVA, M. A., **APOSTILA: curso de introdução ao arcview 8.3**. Belo Horizonte, MG. 2004.

SANTOS, E. **Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Jirau município de Dois Vizinhos – Paraná**. 2005. 141f. Tese (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

SILVA, J. S. **Geoprocessamento para análise ambiental**, Rio de Janeiro, RJ, 2001.

SILVA, J. S. V.; SANTOS, R. F., **Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas**. Cadernos de Ciência & Tecnologia. Brasília. 2004.

SILVA, V. R. **Análise sócio-ambiental da bacia do Rio Biguaçu – SC: subsídios ao planejamento e ordenamento territorial**. 2007. 227f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

SILVEIRA, C. T. **Estudo das unidades ecodinâmicas da paisagem na APA de Guaratuba: subsídios para o planejamento ambiental.** 2005. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

SILVEIRA, C. T.; OKA-FIORI, C. **Análise empírica da fragilidade potencial e emergente da bacia do Rio Cubatãozinho, Estado do Paraná.** Instituto de Geografia – UFU - Caminhos de Geografia: revista online <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>. Uberlândia. 2007.

SOARES, F. U. **Estudo do potencial climático para cana-de-açúcar (*Scharum ssp.*) no Rio Grande do Sul por meio do geoprocessamento:** estudo de caso no município de jaguari. 2008. 77f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

SOUZA, L. C. P; SIRTOLI, A. E; LIMA, M. R de; DONHA, A. G. Estudo do meio físico na avaliação de bacias hidrográficas utilizadas como mananciais de abastecimento. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados.** Ed Graf. Capital Ltda. Curitiba. 2005.

SPÖRL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais.** 2007.113f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

SPÖL, C.; ROSS, J. L. S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos,** GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, nº 15, p.39-49, 2004.

STRECK, E. V., (Coord), **Solos do Rio Grande do Sul.** 2º. ed. EMATER/RS, Porto Alegre. 2008.