

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

**AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE À PERDA DE
SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
ICAMAQUÃ - RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Lucas Noremberg Scotto

Santa Maria, RS, Brasil.

2012

AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ICAMAQUÃ - RS

Lucas Noremberg Scotto

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Geomática, Área de Concentração em Aplicações e Gerenciamento
Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como
requisito parcial para a obtenção de grau de
Mestre em Geomática

Orientador: Prof. Dr. Manoel de Araújo Sousa Júnior

Santa Maria, RS, Brasil.

2012

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Scotto, Lucas Noremberg

Avaliação de vulnerabilidade à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã - RS / Lucas Noremberg
Scotto.-2012.

95 p.; 30cm

Orientador: Manoel de Araújo Sousa Júnior

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Geomática, RS, 2012

1. Zoneamento ambiental 2. Sistema de informação geográfica 3. Perda de solo I. Sousa Júnior, Manoel de Araújo II. Título.

©2012

Todos os direitos reservados a Lucas Noremberg Scotto. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: lucasscotto@bol.com.br

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLO DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ICAMAQUÃ - RS**

elaborada por
Lucas Noremborg Scotto

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

Manoel de Araújo Sousa Júnior, Dr.
(Presidente/ Orientador)

Liane de Souza Weber, Dra. (UFSM)

María Silvia Pardi Lacruz, Dra. (CRECTEALC/INPE)

Santa Maria, 29 de agosto de 2012.

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Rosani e Jeferson Scotto
pelas lições de vida, apoio e compreensão
sem os quais jamais conseguiria
alcançar este momento.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Dr. Manoel de Araújo Sousa Júnior pelos conhecimentos transmitidos, paciência e apoio para realização deste trabalho.

A Dra. María Silvia Pardi Lacruz pela atenção e esclarecimentos fornecidos.

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) pela oportunidade de realizar o curso de mestrado em Geomática e utilização de suas instalações.

À Coordenação de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

Aos professores da UFSM pelos valiosos ensinamentos oferecidos, essenciais ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao irmão Jeferson pela dedicação e auxílio ainda que em momentos importunos.

Aos meus colegas e amigos que me acompanharam durante o curso e dividiram momentos de diversão e dificuldade: Elisiane, Idiane, Rose, Mariele, Gilberto, Luis, Marcelo, Jorge, Danton, Leandro, Anderson e Jeferson. E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização dessa etapa tão importante em minha vida.

À família, pelo incentivo e torcida.

“É impossível progredir sem
mudança, e aqueles que não mudam
suas mentes não podem mudar nada”.

George Bernard Shaw

RESUMO

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

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ICAMAQUÃ - RS

AUTOR: LUCAS NOREMBERG SCOTTO

ORIENTADOR: MANOEL DE ARAÚJO SOUSA JUNIOR

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

O gerenciamento e ordenação territorial para o uso sustentável dos recursos naturais implicam em obter conhecimentos referentes às restrições e potencialidades ambientais. Nesse sentido, a metodologia elaborada para o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) permite definir áreas com maior ou menor suscetibilidade à ocupação, seguindo critérios do meio físico e sócio econômico. Sendo este trabalho direcionado à parte ecológica do zoneamento, teve como objetivo identificar o grau de vulnerabilidade à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã, localizado no bioma Pampa do estado do Rio Grande do Sul. A metodologia adotada utiliza imagens orbitais *Landsat5/TM* e informações sobre a área como geomorfologia, geologia, pedologia, clima e de uso e cobertura do solo, que permitem avaliar os processos de alteração da paisagem de forma integrada em um sistema de informação geográfica. Os resultados organizados em um banco de dados permitiram identificar às classes de vulnerabilidade à perda de solo predominantes na área de estudo, assim como a consulta de informações úteis para as atividades de planejamento e manejo de bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Zoneamento ambiental. Sistema de informação geográfica. Perda de solo.

ABSTRACT

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

EVALUATION OF THE VULNERABILITY TO SOIL LOSS IN ICAMAQUÃ RIVER HYDROGRAPHIC BASIN – RS

AUTHOR: LUCAS NOREMBERG SCOTTO

ADVISOR: MANOEL DE ARAÚJO SOUSA JUNIOR

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

The management and the territorial regulations for the sustainable use of natural resources demand knowledge concerning the environmental restrictions and potentialities. Thus, the methodology that was developed for the Ecological-Economic Zoning (ZEE) allows the definition of areas with greater or smaller susceptibility to occupation, according to socio-economical and physical environment criteria. Being this work directed to the ecologic zoning it had as objective to identify in Icamaquã River hydrographic basin located on Pampa biome in the state of Rio Grande do Sul - Brazil. This methodology uses Landsat5/TM orbital images and information the area regarding geomorphology, geology, pedology, climate, land use and cover, which permitted to evaluate the process of landscape alteration in a Geographic Information System. The results organized into a database allowed the identification of the vulnerability classes to soil loss that are prevailing within the study area, as well as the search for information, which is useful for the planning and the management activities of hydrographic basins..

Key words: Environmental zoning. Geographic information systems. Soil loss.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Relação das estações climatológicas consideradas no estudo.....	27
Quadro 2 – Critérios para determinar o grau de vulnerabilidade de uma UTB.....	31
Quadro 3 – Comandos realizados em linguagem LEGAL.....	33
Quadro 4 – Apresentação dos temas.	34
Quadro 5 – Ponderação do tema Geologia.....	41
Quadro 6 – Ponderação do tema Vegetação e Uso do Solo.....	49
Quadro 7 – Vulnerabilidade das classes de solos.....	43
Quadro 8 – Ponderação das classes de solos.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo.....	22
Figura 2 – Mapa das áreas prioritárias para conservação da biodiversidade no Rio Grande do Sul.....	25
Figura 3 – Fluxograma metodológico para gerar a carta de vulnerabilidade à perda de solo.....	32
Figura 4 – Esquema de análise dos interpoladores.	37
Figura 5 – Mensuração da amplitude interfluvial.	38
Figura 6 – Ponderação do tema geomorfologia.	40
Figura 7 – Distribuição das classes de amplitude interfluvial da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã.....	52
Figura 8 – Perfis interpolados.....	53
Figura 9 – Distribuição das classes de amplitude altimétrica da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã.....	55
Figura 10 – Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã.....	56
Figura 11 – Formação geológica da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã, RS.....	58
Figura 12 – Distribuição das principais classes de solo da bacia da hidrográfica do Rio Icamaquã	62
Figura 13 – Distribuição das estações climatológicas e da intensidade pluviométrica na área de estudo.	64
Figura 14 – Aplicação de contraste sobre as bandas e a imagem falsa cor resultante.....	67
Figura 15 – Representação das classes amostrais para as imagens <i>Landsat5/TM</i> e as respectivas áreas em imagens <i>GeoEye</i> visualizadas no <i>Google Earth</i>	69
Figura 16 – Distribuição das classe de uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Icamaquã.....	73
Figura 17 – Delimitação das UTB's.	75
Figura 18 – Distribuição das classes de vulnerabilidade à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã.....	77
Figura 19 – Consulta de informações das UTB's.	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ponderação da erosividade da chuva	46
Tabela 2 - Classes dos índices morfométricos	39
Tabela 3 - Vulnerabilidade das classes litológicas..	59
Tabela 4 - Valores de precipitação (média mensal e anual), dias com chuva e intensidade pluviométrica das estações consideradas.....	65
Tabela 5 – Parâmetros do registro das imagens.....	66
Tabela 6 – Matriz de classificação Battacharya com limiar de aceitação de 95% para as classes de amostras de teste.	71
Tabela 7 – Valores de vulnerabilidade da vegetação e uso do solo.	74
Tabela 8 – Quantificação das classes de vulnerabilidade presentes na área de estudo.	76
Tabela 9 – Distribuição das áreas vulneráveis à perda de solo conforme as classes de uso do solo.	79

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Programação LEGAL para ponderação do tema geomorfologia.....	88
Apêndice B – Programação LEGAL para ponderação do tema geologia.....	90
Apêndice C – Programação LEGAL para ponderação do tema pedologia.....	91
Apêndice D – Programação LEGAL para ponderação do tema clima.	92
Apêndice E – Programação LEGAL para ponderação do tema vegetação e uso do solo.	93
Apêndice F – Programação LEGAL para avaliação de vulnerabilidade à perda de solo	94

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
1.1 Zoneamento Ecológico	17
1.2 Bacias hidrográficas e o planejamento ambiental	19
2 ÁREA DE ESTUDO	21
2.1 A bacia hidrográfica do Rio Icamaquã	21
2.1.1 Localização	21
2.1.2 Aspectos Fisiográficos Gerais	22
2.1.2.1 Geomorfologia	22
2.1.2.2 Geologia	23
2.1.2.3 Clima	23
2.1.2.4 Hidrografia	23
2.1.2.5 Vegetação	23
2.1.2.5.1 Características do bioma Pampa.....	24
3 MATERIAIS	26
3.1 Dados cartográficos	26
3.2 Dados pluviométricos	26
3.3 Dados orbitais	27
3.4 Softwares utilizados	27
4 MÉTODO	29
4.1 Metodologia para gerar o mapa de vulnerabilidade à perda de solo	29
4.2 Procedimentos adotados para elaboração do mapa de vulnerabilidade à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã	31
4.2.1 Etapa 1 - Seleção dos dados	32
4.2.2 Etapa 2 - Edição e processamento dos dados	32
4.2.3 Etapa 3 – Avaliação e ponderação dos temas	33
4.2.4 Etapa 4 – Integração dos temas.....	34
4.2.5 Etapa 5 – Análise dos resultados	35
4.3 Avaliações dos temas quanto à vulnerabilidade à perda de solo	35
4.3.1 Geomorfologia	35
4.3.1.1 Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo do tema geomorfologia.....	37
4.3.2 Geologia	40
4.3.2.1 Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo do tema geologia	41
4.3.3 Pedologia	42
4.3.3.1 Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo do tema pedologia	42
4.3.4 Clima	44
4.3.4.1 Dados Pluviométricos.....	44
4.3.4.2 Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo do tema clima	45
4.3.5 Uso e cobertura do solo	46
4.3.5.1 Dados Orbitais.....	47
4.3.5.2 Processamento digital e classificação das imagens <i>Landsat5/ TM</i>	47
4.3.5.2.1 Processamento digital	47
4.3.5.2.2 Interpretação e classificação	48
4.3.5.3 Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo do tema uso e cobertura do solo.....	49
4.3.6 Integração das informações de vulnerabilidade à perda de solo.....	50

5 RESULTADOS	51
5.2 Geomorfologia	51
5.1 Geologia	57
5.3 Pedologia	59
5.4 Dados Pluviométricos	63
5.5 Processamento e análise das imagens <i>Landsat5/TM</i>	66
5.5.1 Registro.....	66
5.5.2 Componente Principal e Contraste.....	66
5.5.3 Segmentação.....	68
5.5.4 Classificação do uso e cobertura do solo.....	68
5.5.5 Mapa de vegetação e do uso e cobertura do solo.....	70
5.6 Unidade Territorial Básica (UTB)	74
5.7 Análise de vulnerabilidade à perda de solos	75
CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS	82
APÊNDICE	87

INTRODUÇÃO

Os problemas associados à falta de gerenciamento dos recursos naturais têm acarretado a degradação e escassez destes. Dentre os fatores que limitam as ações de controle, está à falta de informação científica para orientar os gestores quanto à fragilidade do ambiente e evitar a tomada de decisões equivocadas.

Segundo Silva (2011), esta necessidade de planejamento ambiental para a ocupação racional e o uso sustentável dos recursos naturais é um processo contínuo, que envolve a coleta, a organização e a análise sistematizada da informação por procedimentos metodológicos.

Com o avanço da tecnologia surgiram novas ferramentas para análise ambiental, permitindo empregar metodologias que consideram diversas interações para representar as modificações da paisagem e os fatores que fazem parte do fenômeno. Nesse sentido o uso de geotecnologias como geoprocessamento e sensoriamento remoto tem ganhado destaque principalmente por possibilitar a análise e localização de conflitos na utilização do espaço.

A busca por alternativas que possibilitem a preservação da paisagem natural, sobretudo dos remanescentes de vegetação que sofrem constante pressão por diversas formas de exploração, adotam como referência os conhecimentos quanto à vulnerabilidade natural. Conforme as propostas de zoneamento ambiental procuram definir as fragilidades e potencialidades de uma paisagem, a principal preocupação é associada à degradação dos solos, devido à relação com os processos produtivos e com o desenvolvimento econômico das populações (NARDIN, 2009).

O recente interesse de pesquisa dos sistemas campestres do Rio Grande do Sul e a definição de áreas prioritárias à preservação do bioma Pampa pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) indicam a importância de conhecer as particularidades deste bioma. Ainda há poucos estudos que avaliam as características desses campos quanto à vulnerabilidade natural a perda de solo, visto que se trata de um ecossistema único, devem-se conhecer suas restrições para que seja possível obter o uso sustentável. Desse modo, considerando as características ecológicas referentes ao bioma Pampa, buscou-se como objetivo geral caracterizar o grau de vulnerabilidade à perda de solo na bacia hidrográfica do Rio Icamaquã, a qual apresenta remanescentes de vegetação natural e que segundo o MMA é definida

como área de importância extremamente alta a preservação. Como objetivos específicos buscou-se:

- Organizar um banco de dados geográficos com informações temáticas referentes área de estudo;
- Mensurar a representatividade de áreas quanto o grau de vulnerabilidade à perda de solo;
- Identificar qual nível de vulnerabilidade predomina na bacia hidrográfica.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir serão descritas as principais considerações encontradas na literatura para a melhor compreensão deste trabalho referente ao zoneamento ecológico, bacias hidrográficas e o planejamento ambiental.

1.1 Zoneamento Ecológico

As bases para elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) no Brasil foram originalmente proposta pelo francês Jean Léon François Tricart em 1977, a pedido do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Tricart adotou o conceito de ecodinâmica, que se caracteriza pelo estudo da dinâmica dos ecossistemas, voltada para a conservação e o desenvolvimento dos recursos ecológicos quanto à dinâmica das próprias biocenoses¹ (TRICART, 1977).

A elaboração do mapa de vulnerabilidade à perda de solo permite uma visão holística da intensidade e distribuição espacial de áreas com maior risco. Nesse sentido, esta avaliação se destaca por considerar principalmente a estabilidade em relação à morfogênese e pedogênese para a gestão territorial sobre o comportamento atual do terreno (LAGO; ARAÚJO; TELES, 2009).

De acordo com Cermin et.al.(2012), a utilização de sistemas de informações geográficas (SIG's) permite obter um conjunto de informações ambientais para análise e compreensão dos elementos que compõem a paisagem, necessários para a elaboração do zoneamento ambiental.

Os mapas constituem um suporte indispensável para o planejamento, ordenamento e uso eficaz dos recursos da terra, sendo um instrumento visual da percepção humana e um meio para obter o registro e análise da paisagem (LIMA; REMPEL; ECKHARDT, 2007)

Segundo Montaño (2002), dentre dos mecanismos de planejamento à disposição do Poder Público, o zoneamento ambiental tem se destacado como

¹ Conjunto de seres vivos de um ecossistema.

instrumento estratégico de planejamento regional para buscar compatibilizar o desenvolvimento econômico e a qualidade ambiental.

Conforme as diretrizes estabelecidas pelo Ministério do Meio Ambiente, o zoneamento ecológico econômico tem como objetivos, subsidiar e orientar políticas de desenvolvimento com base na sustentabilidade e potencialidades ambientais. Este zoneamento permite o planejamento de empreendimentos federais e elaborar diagnósticos e prognósticos ambientais de impactos positivos e negativos (MMA, 2012).

De acordo com Thomas (2012), o zoneamento permite conhecer os atributos ambientais da área de estudo, possibilitando um planejamento com redução de impactos e indicando caminhos para o desenvolvimento com qualidade ambiental. Conforme o mesmo autor, as propostas de zoneamento são indicações iniciais que podem ser reavaliadas e considerar outros critérios, incorporando novas informações para melhor ocupação do espaço.

Nesse sentido as ações sobre o ambiente sem o estudo de suas consequências pode provocar alterações críticas nas estruturas e processos biológicos, afetando diretamente os componentes físicos e químicos que formam a paisagem. O uso dos recursos naturais requer conhecimentos dos agentes que modelam o ambiente, para que desta forma possa planejar e orientar atividades que degradam o solo.

A perda de solo se apresenta como uma característica dinâmica e dependente do estado inicial dos sedimentos constituintes e do uso através de práticas agrícolas, as quais podem afetar a estabilidade dos agregados do solo e a taxa de remoção de sedimentos.

Todas as propriedades do solo que intervêm nos processos erosivos e suas interações tornam-se de difícil generalização indicando o extremo cuidado da análise dos fatores controladores em estudos relacionados aos processos erosivos (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2008).

Sendo a erosão do solo responsável por uma série de impactos ambientais como assoreamento de corpos d'água, inundações e perda de solo, o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas proporciona o uso sustentável ao estar relacionado à vulnerabilidade do ambiente, pois permitem adequar as atividades antrópicas consideradas nesse contexto.

O estudo de vulnerabilidade natural serve como subsídio para a tomada de decisão em estudos ambientais como Avaliação de Impactos Ambientais (AIA's), Estudos de Impacto Ambiental (EIA's) e políticas públicas (SOUZA, 2010).

1.2 Bacias hidrográficas e o planejamento ambiental

O conceito de bacia hidrográfica tem sido cada vez mais expandido e utilizado como unidade de gestão da paisagem na área de planejamento ambiental. Nesse sentido na perspectiva de um estudo hidrológico (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2008).

O planejamento conservacionista das terras é de fundamental importância para a conservação do solo, controle da perda de sedimentos e de água, gerando informações importantes para o processo de tomada de decisão no gerenciamento de bacias hidrográficas (CRESTANA; MINOTI; NEVES, 2010).

De acordo com Gomes (2010), bacia hidrográfica é compreendida como uma área definida topograficamente, delimitada pelos divisores de águas, drenada por um curso ou por um sistema interligado de cursos d'água, cuja vazão efluente é direcionada para uma única.

Segundo o Programa Nacional de Microbacia Hidrográfica (PNMH) criado através do Decreto-Lei nº 94.076, de 05/03/87, pela Agência Nacional de Águas (ANA), uma microbacia bacia hidrográfica é definida como uma área drenada por um curso d'água e seus afluentes, a montante de uma determinada seção transversal, para a qual convergem as águas que drenam a área considerada. Nesse sentido, a divergência na definição de bacia e microbacia hidrográfica estão relacionadas ao tamanho, porém não há um limite área estabelecido para classificar, sendo definida de acordo com o contexto a qual a bacia hidrográfica faz parte.

A adoção da bacia hidrográfica como unidade para conservação dos recursos naturais esta relacionada a possibilidade de avaliar em determinada área geográfica, seu potencial de desenvolvimento e produtividade biológica, para determinar a melhor forma de aproveitamento dos mesmos com o mínimo de impacto ambiental (PIRES; SANTOS; PRETTE, 2008).

Nesse sentido, esta unidade espacial para planejamento, constitui-se em uma forma fundamental do manejo e gestão ambiental dos recursos naturais, tais como solo, água e vegetação, essenciais à sustentação e manutenção da vida. Conforme destacado por Souza et.al. (2002) e Floriano (2004), o planejamento ambiental é a preparação para a gestão futura, e nesse contexto a gestão compreende um conjunto de procedimentos que visam à efetivação do projeto, ou seja, planejamento é uma ferramenta de gestão.

Desse modo, as atividades de desenvolvimento que estão em desacordo com a proteção e conservação do ambiente, ou com o previsto no planejamento ambiental, podem ser geridas e monitoradas para obter o melhor aproveitamento dos recursos naturais.

O desenvolvimento sustentável é uma meta de longo prazo para a humanidade, que apenas estará consolidada quando a conservação com desenvolvimento for uma regra para todos (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2008).

2 ÁREA DE ESTUDO

Este item compreende a descrição das características geográficas e ambientais da área de estudo.

2.1 A bacia hidrográfica do Rio Icamaquã

A bacia hidrográfica do Rio Icamaquã faz parte das onze bacias hidrográficas que compõem a região hidrográfica do Rio Uruguai. Esta região é caracterizada pelo bioma Pampa e a Província Geomorfológica Planalto Meridional, abrange total ou parcialmente oito municípios, sendo estes: Bossoroca, Capão do Cipó, Santiago, Unistalda, São Borja, Santo Antônio das Missões, Itacurubi e Maçambará.

Embora exista a necessidade do gerenciamento dos recursos naturais por meio de políticas e projetos sociais que proporcionem a preservação e o uso sustentável, esta bacia hidrográfica ainda não apresenta Comitê de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica, apenas uma Comissão Provisória (SEMA, 2010).

2.1.1 Localização

A área de estudo está localizada na porção Oeste do estado do Rio Grande do Sul, delimitada pelas coordenadas 28° 29' 27" e 29° 06' 48" de latitude Sul, 54° 37' 10" e 56° 0' 21" de longitude Oeste e (Figura 1). Essa bacia hidrográfica abrange uma área de 488.711 hectares, as quais compõem parte da bacia hidrográfica do Rio Uruguai.

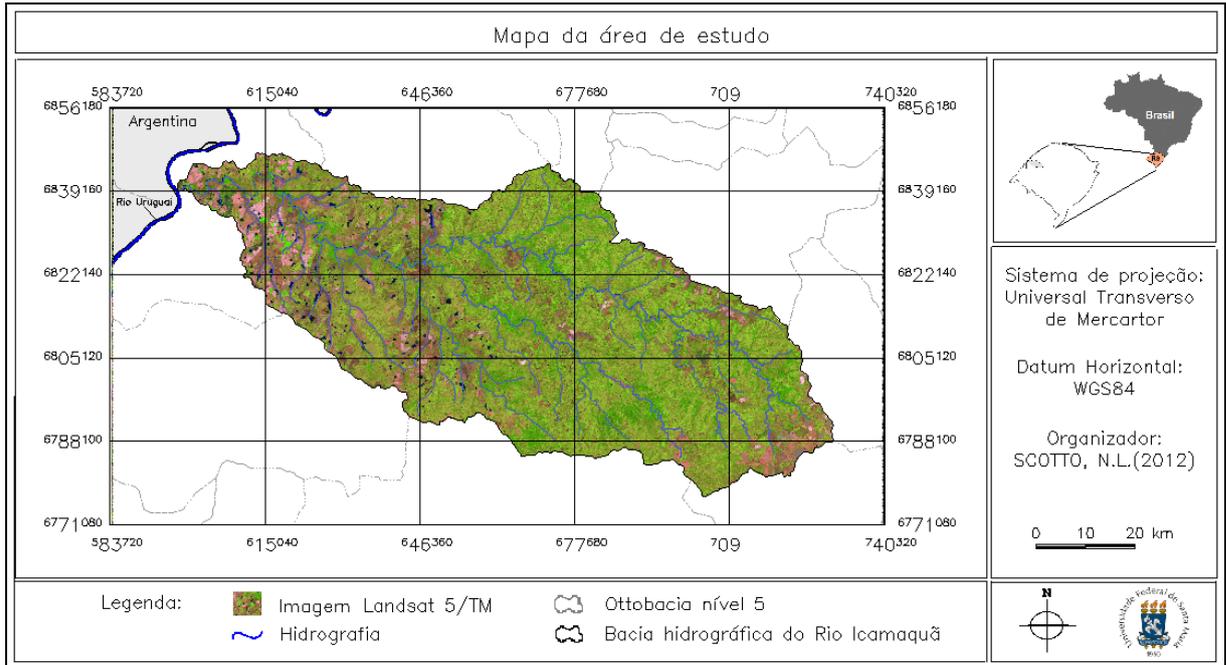


Figura 1 – Localização da área de estudo.

2.1.2 Aspectos Fisiográficos Gerais

Neste item são descritos de forma sucinta os aspectos fisiográficos que caracterizam a área de estudo de acordo com os principais elementos considerados da paisagem.

2.1.2.1 Geomorfologia

A bacia hidrográfica abrange a Província Geomorfológica dos Planaltos de Santo Ângelo, Campos Gerais, Uruguiana Nível Alto, Uruguiana Nível Baixo e a Planície Aluvio Coluvionar (IBGE, 2003a,b,c,d).

O Planalto dos Campos Gerais corresponde a um trecho mais elevado do Planalto Meridional, suas cotas variam de 900 e 1.500 m, sendo dominado por vastas superfícies aplainadas, levemente adernadas para oeste, com ocorrência de áreas de relevo montanhoso, com picos que atingem 1.800 m de altitude.

2.1.2.2 Geologia

A área de estudo está inserida na Província Paraná que compreende formações sedimentares depositadas desde o Permiano até o Jurássico (VIEIRO; SILVA, 2010).

2.1.2.3 Clima

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger a área de estudo se enquadra na zona de clima Temperado, super úmido, caracterizado por apresentar chuvas durante todos os meses do ano, onde a temperatura média varia entre 10° e 15°C (Mesotérmico Brando) (IBGE, 2002).

2.1.2.4 Hidrografia

O Rio Icamaquã é um importante contribuinte do Rio Uruguai, tendo como seus principais afluentes: Arroio Iguariaçá, Arroio Pessegueiro, Restina do Guabiju, Rio Icamaquãzinho, Rio Itacurubi, Sanga das Carretas e Sanga Funda (IBGE, 2003a,b,c,d). Os principais usos da água, se destinam a dessedentação animal (0,77%), abastecimento público (0,35%) e a irrigação (96,88%)(DRH, 2008).

2.1.2.5 Vegetação

A bacia hidrográfica do Rio Icamaquã está inserida no bioma Pampa, composto basicamente de gramíneas, herbáceas e algumas árvores. Os remanescentes de vegetação campestre do Pampa representam 23% de sua área total, desfavorecido pela pressão antrópica (PAIM, 2007).

A entrada de animais domésticos como gado bovino, introdução de culturas de arroz e a soja, a silvicultura e a expansão urbana modificaram grandemente a fisionomia natural, afetando pelo menos 51% da vegetação campestre original. A estrutura da vegetação é bastante variável em resposta à sua diversidade e amplitude de fatores, como clima, o solo e o manejo a que esta vegetação está submetida (BOLDRINI, et.al, 2010).

Classificação fitogeográfica da bacia é definida como Floresta Estacional Decidual e Formações Pioneiras encontradas principalmente nas margens da hidrografia, assim como Savana Estépica que caracteriza a vegetação campestre predominante no bioma Pampa (HASENACK; WEBER, 2004).

2.1.2.5.1 Características do bioma Pampa

O Pampa, também conhecido como Campos Sulinos, ocorre no estado no Rio Grande do Sul e se estende pelo Uruguai e parte da Argentina. Apresenta uma rica vegetação gramínea e herbácea, entremeada por florestas mesófilas, florestas subtropicais e florestas estacionais. Este bioma sofre forte pressão sobre seus ecossistemas, com introdução de espécies forrageiras e com atividade de pecuária (MMA, 2009).

No Brasil, o Pampa corresponde a 63% do território, sendo apenas 453 km² deste bioma está protegido em unidades de conservação de proteção integral. Esta parcela de área equivale a menos de 0,5% da área total, praticamente sem representatividade (OVERBECK et. al., 2009).

A preocupação com a preservação da diversidade biológica e cultural dos campos temperados é ainda recente e está associada à tendência de expansão de monocultivos agrícolas e silvipastoris, principalmente devido à instalação de empresas transnacionais do ramo da celulose na metade sul do Rio Grande do Sul (BENCKE, 2009).

A biodiversidade dos Campos tem sido foco de estudos recentes. Somente no Rio Grande do Sul há em torno de 2.200 espécies de plantas um valor elevado se considerados os ecossistemas campestres do mundo e a área proporcionalmente ocupada no Estado. Destas, 213 são consideradas ameaçadas. Quanto à fauna, os

Campos Sulinos sustentam uma grande diversidade, com espécies endêmicas e ameaçadas de extinção (BOLDRINI, 2009).

A supressão do pasto com sobrecarga animal ou fogo, deteriora o solo e altera a cobertura vegetal. De acordo com Behling et.al (2009), o manejo dos campos tem prejudicado a conservação do ecossistema campestre, dependente de intervenção humana para ser mantido.

Este fato levou o Ministério do Meio Ambiente a atualizar a Portaria nº 9, para delimitar e definir áreas de importância para preservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira. Desse modo, a importância de preservação de cada área para o estado Rio Grande do Sul (Figura 2) está atrelada a conceitos de insubstituibilidade, representatividade e vulnerabilidade dos recursos naturais, servindo de referência para formulação e implementação de políticas públicas (MMA, 2007).

Desta forma, uma análise preliminar possibilita não só direcionar ações segundo a relevância de cada área no bioma, como também a dimensão dos problemas inerentes à gestão dos recursos biológicos. Ao eleger áreas de importância para conservação no bioma, possibilita aos tomadores de decisão aplicar de forma mais eficiente os recursos financeiros e com maior segurança de um bom resultado.

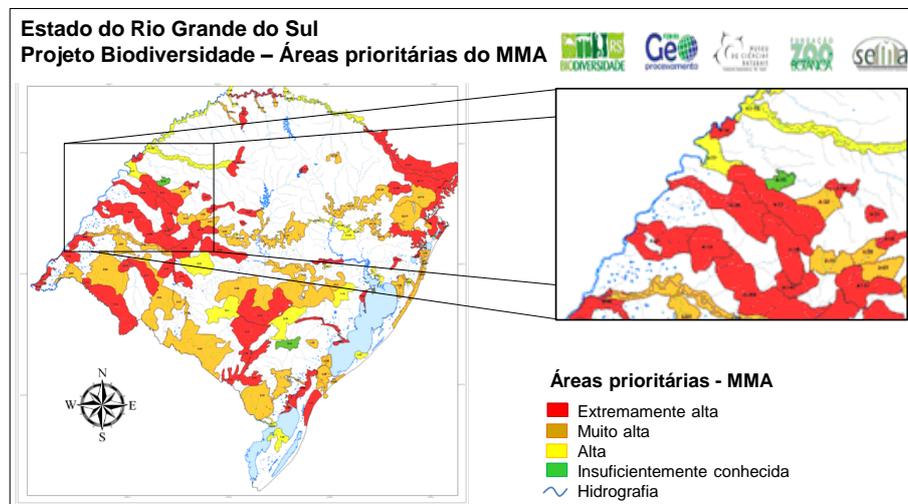


Figura 2 - Mapa das áreas prioritárias para conservação da biodiversidade no Rio Grande do Sul. Em destaque a área de estudo. Adaptado de MMA, 2007.

3 MATERIAIS

Este item apresenta a relação dos materiais utilizados para a realização do presente trabalho de pesquisa.

3.1 Dados cartográficos

- Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul (HASENACK; WEBER, 2010), Sistema de Coordenadas Geográficas, *Datum* SIRGAS 2000 e escala 1:50.000.
- Base cartográfica digital do Rio Grande do Sul (WEBER; HASENACK, 2004), Sistema de Coordenadas Geográficas, *Datum* SAD 1969, escala 1:250.000
- Malha vetorial de Ottobacia hidrográfica nível 5 (ANA, 2012), Sistema de Coordenadas Geográficas, *Datum* SAD 1969, escala 1:1.000.000.
- Mapas temáticos de geologia, geomorfologia e pedologia do Estado do Rio Grande do Sul, na escala 1:250.000, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2003, sendo as cartas utilizadas:
 - Folha São Borja, SH.21-X-A ;
 - Folha Santo Ângelo, SH.21-X-B ;
 - Folha Alegrete, SH.21-X-C;
 - Folha Santiago, SH.21-X-D.

3.2 Dados pluviométricos

Os dados climáticos referentes à precipitação pluviométrica (formato texto *.txt), foram obtidos por estações de monitoramento da Agência Nacional das Águas (ANA), disponíveis pelo Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) em versão web 3.0 © 2001. As estações com informações utilizadas nesse trabalho conforme apresentado no Quadro 1, foram organizadas de acordo com o nome e o respectivo código de identificação.

Estação climatológica	Código	Estação climatológica	Código
Cachoeira Santa Cecília	2955002	Passo do Sarmento	2855002
Coimbra	2854012	Passo Major Zeferino	2854005
Conceição	2853003	Passo Mariano Pinto	2956006
Cunha	2856007	Passo Novo	2855004
Ernesto Alves	2954004	Passo São Borja	2856006
Esquina dos Lima	2954031	Passo Viola	2854006
Fazenda Santa Cecília do Butuí	2855005	Santiago	2954020
Florida	2954030	Santo Antônio das Missões	2855007
Furnas do Segredo	2954005	São Bernardo	2854013
Garruchos	2855001	Unistalda	2955007
Itaqui	2956005		

Qua

dro 1 - Relação das estações climatológicas consideradas no estudo. Adaptado de ANA, 2012.

3.3 Dados orbitais

Os dados orbitais utilizados neste trabalho compreendem:

- Imagens do sensor *Thematic Mapper (TM)* do satélite *Landsat 5* em formato digital, órbita 224/080 e 223/080, de 02 e 11 novembro de 2011 respectivamente. Consideraram-se as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.
- Imagens do sensor *Thematic Mapper (TM)* do satélite *Landsat 5* em formato digital, órbita 223/080 e 224/080 do ano 2000, bandas 3, 4 e 5, ortorretificadas disponibilizadas pela Universidade de Maryland. Estas imagens foram adotadas como referência para georreferenciar as imagens de 02 e 11 de novembro de 2011.

3.4 Softwares utilizados

Para o processamento das imagens digitais, geração e cruzamento das informações, foi utilizado o software denominado Sistema de Processamento de

informações Georreferenciadas – SPRING, versão 5.1.8 nos módulos Impima, SPRING e Scarta.

O software Google Earth 6.2.1.6014 (beta) serviu para consulta de imagens de alta resolução espacial da área de estudo, contribuindo com a identificação dos alvos para classificação.

Os dados pluviométricos foram tratados e editados no pacote Microsoft Office 2010, para determinar o valor de intensidade pluviométrica referentes a cada estação climatológica.

4 MÉTODO

A seguir será apresentada a metodologia utilizada para realização deste trabalho, sendo descrito a relevância dos temas considerados, os procedimentos e as respectivas avaliações quanto estabilidade/vulnerabilidade à perda de solo.

4.1 Metodologia para gerar o mapa de vulnerabilidade à perda de solo

De acordo com a metodologia do Zoneamento Ecológico desenvolvido por Crepani et.al. (1996; 2001) para retratar as condições do ambiente, através de interações do meio biótico e antrópico, é caracterizada por temas (ou variáveis), como clima, geologia, geomorfologia, pedologia e cobertura vegetal aos quais é atribuído um valor na escala de um a três, de acordo com condições de formação do solo (pedogênese), e formação de relevo (morfogênese). Uma área é considerada estável quando ocorre o predomínio do processo de pedogênese, sendo ponderada com o valor próximo a um. Uma situação intermediária de equilíbrio entre pedogênese e morfogênese, é atribuída ao valor próximo a dois. Áreas críticas onde ocorre maior intensidade de processos de alteração do relevo, são ponderados com valor próximo a três, representando uma alta vulnerabilidade a perda de solo. Nesse sentido vale ressaltar que áreas que sofrem ação antrópica não necessariamente as serão as mais vulneráveis perda de solo.

A avaliação da vulnerabilidade e a correspondente ponderação dos temas de geomorfologia, geologia, pedologia, clima e de uso e cobertura, possibilitam a integração das informações de estabilidade/vulnerabilidade em áreas definidas como Unidades Territoriais Básicas (UTB's), delimitadas através da interpretação de imagens de satélite. A integração destas informações sobre UTB's é obtida através do cálculo da média aritmética das ponderações, conforme a Equação 1.

$$V = (R + G + P + C + U) / 5 \quad (1)$$

Onde: V = Vulnerabilidade; R = vulnerabilidade para o tema geomorfologia; G = vulnerabilidade para o tema geologia; P = vulnerabilidade para o tema pedologia; C = vulnerabilidade para o tema clima; U = vulnerabilidade para o tema uso e cobertura do solo.

As UTB's são compreendidas por Becker & Egler (1996) como células que contém um conjunto de informações fundamentais para análise de zoneamento. Sendo que o impacto de uma ação antrópica desenvolvida sobre uma UTB é capaz de representar sua destruição, devido à baixa capacidade de recuperação (CREPANI et. al., 2001). O conhecimento dos mecanismos atuantes nas UTB's permite evitar atividades potencialmente danosas e direcionar ações corretivas para preservar o ambiente.

Os polígonos de intervenção antrópica representam a área física onde ocorre atuação humana e que através dos processos socioeconômicos, modifica as condições naturais (Valles, 1999).

Posteriormente as UTB's são classificadas segundo um modelo que permite elaborar a carta de vulnerabilidade à perda de solo, sendo representada na escala de 1:250.000 e em 21 classes definidas de acordo com o Quadro 2.

A combinação de cores azul, verde e vermelho é associada a representação cartográfica de fragilidade ambiental, onde valores de estabilidade (1,0) são representados pela cor azul, valores de vulnerabilidade mediana/ estável (2,0) a cor verde, e a valores de maior vulnerabilidade (3,0) a cor vermelha. Os valores de moderada estabilidade e moderada vulnerabilidade, recebem uma combinação de cores (azul, verde e vermelho) correspondente às classes que intermediam.

Unidade de Paisagem	Média		Grau de estabilidade/vulnerabilidade	Grau de saturação			
				Vermelho	Verde	Azul	Cores
U1	↑ V u l n e r a b i l i d a d e ↑	3,0	Vulnerável	255	0	0	
U2		2,9		255	51	0	
U3		2,8		255	102	0	
U4		2,7		255	153	0	
U5		2,6	Moderadamente Vulnerável	255	204	0	
U6		2,5		255	255	0	
U7		2,4		204	255	0	
U8		2,3		153	255	0	
U9		2,2	Medianamente Estável/ Vulnerável	102	255	0	
U10		2,1		51	255	0	
U11		2,0		0	255	0	
U12		1,9		0	255	51	
U13		1,8	Moderadamente Estável	0	255	102	
U14		1,7		0	255	153	
U15		1,6		0	255	204	
U16		1,5		0	255	255	
U17		1,4	Estável	0	204	255	
U18		1,3		0	153	255	
U19		1,2		0	102	255	
U20		1,1		0	51	255	
U21		1,0		0	0	255	

Quadro 2 - Critérios para determinar o grau de vulnerabilidade de uma UTB. Adaptado de Crepani et.al. (1996).

4.2 Procedimentos adotados para elaboração do mapa de vulnerabilidade à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Içamaquã

A realização da avaliação dos temas considerados neste trabalho quanto à vulnerabilidade à perda de solo compreendem cinco etapas que abrangem: a seleção dos dados, edição e processamento dos dados, avaliação e ponderação dos temas, integração dos temas e a análise do resultado de vulnerabilidade à perda de solo da área de estudo, conforme ilustra o fluxograma apresentado na Figura 3.

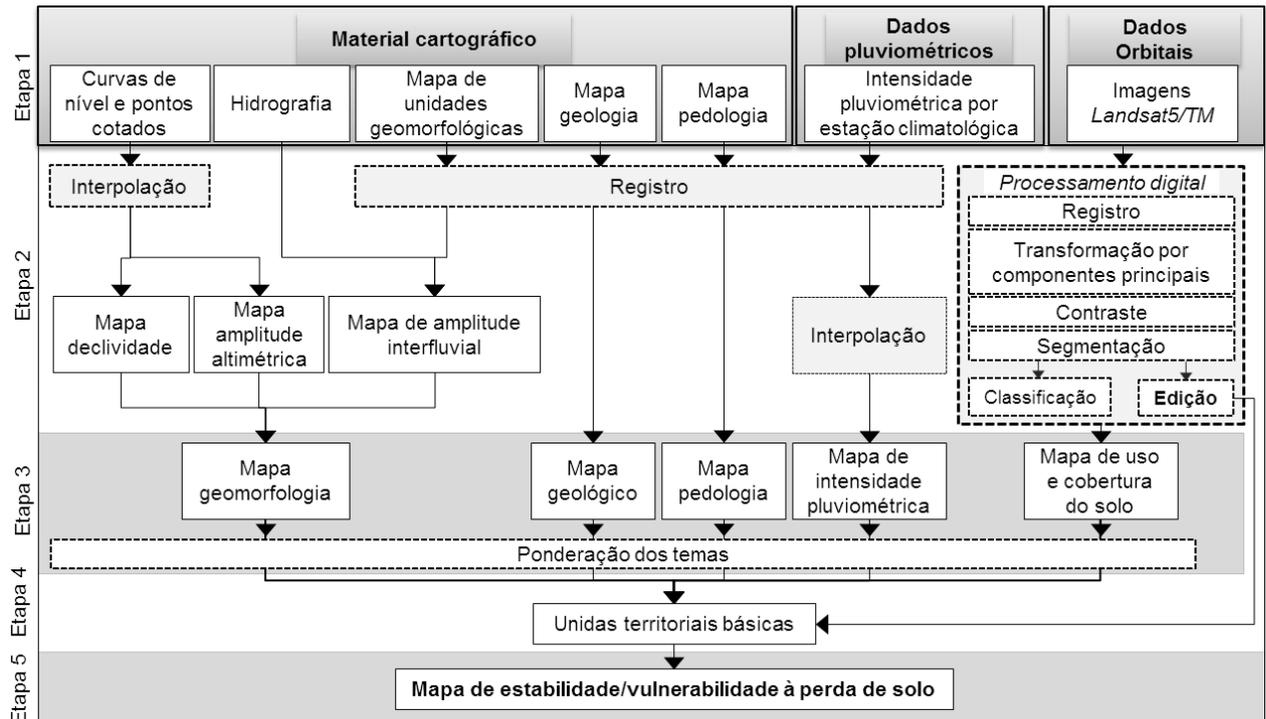


Figura 3 - Fluxograma metodológico para gerar a carta de vulnerabilidade à perda de solo.

4.2.1 Etapa 1 - Seleção dos dados

Esta etapa compreendeu tanto a busca por materiais cartográficos, temáticos, orbitais e informações climáticas existentes e/ou disponíveis em *sites* oficiais, assim como referências bibliográficas que possibilitassem a melhor caracterização da área em estudo.

4.2.2 Etapa 2 - Edição e processamento dos dados

Para edição dos dados foi necessário gerar um banco de dados e analisar as informações. Nesta etapa foram realizadas as correções e ajustes necessários as diferentes informações temáticas, como o confrontar limites hidrográficos, delimitar a área de estudo e as unidades territoriais básicas.

O processamento dos dados abrange o registro, integração das informações e o processamento digital das imagens.

4.2.3 Etapa 3 – Avaliação e ponderação dos temas

Nesta etapa os temas foram avaliados conforme os critérios de estabilidade/vulnerabilidade e ponderados através do programa LEGAL.

Todos os temas considerados na avaliação tiveram que ser representados no modelo temático, para execução das operações de ponderação no programa LEGAL, sendo os códigos das avaliações disponíveis em Apêndice. Cada classe do plano de informação recebeu um valor de ponderação, segundo os critérios de morfogênese/pedogênese e passando a ser representado em um novo modelo, o numérico. Este modelo possibilita considerar de forma mais precisa, a contribuição de cada classe ou elemento que participa da avaliação de vulnerabilidade à perda do solo. Dessa forma os planos de informação gerados tiveram a resolução espacial dos *pixel's* definida em 30x30 metros, compatível com as informações obtidas da imagem *Landsat5/TM*.

Diante da possibilidade dos limites das UTB's estarem inseridos em diferentes classes e conseqüentemente receber diversas ponderações, foi realizado a operação de “média zonal” para obter um valor médio, sendo o resultado associado a uma tabela de atributos. Tanto o processo de gerar um novo plano de informação, bem como associar valores de vulnerabilidade de diversas classes em uma UTB, ocorre devido uma série de comandos que são sucintamente descritos no Quadro 3.

Comando	Significado
Atualize	Atualiza um atributo dos objetos dados pela variável objeto
Categorialni	Associa as classes temáticas a uma tabela de valores
Espacialize	Valores de atributo de um geo-objeto são mapeados em modelo digital
Fatie	Indica o intervalo de valores numéricos e de classes temáticas
MediaZonal (MedZ)	Calcula o valor médio dentro de cada zona (região) de um plano de informação
Nome	Plano de Informação a ser associado a uma variável
Novo	Cria um novo Plano de Informação
Pondere	Gera um plano de informação do tipo numérico a partir de um dado temático
Recupere	Associa uma variável ao plano de informação existente

Quadro 3 – Comandos realizados em linguagem LEGAL (Adaptado de INPE, 2006).

A síntese da organização dos planos de informação no banco de dados, assim como as etapas realizadas nesta pesquisa, são apresentados no Quadro 4. Contudo é necessário ressaltar que o plano de informação referente a vulnerabilidade natural à perda de solo que foi denominado “FatiaUTB”, resulta da ponderação dos temas e portanto segue o caminho inverso, partindo do modelo numérico para o temático.

Dados de Entrada		Ponderação - LEGAL		Espacialização - LEGAL
Categoria	Plano de informação	Categoria	Plano de informação	Atributo UTB
■ GEOLOGIA	Geol_Ajust	■ Numérico	Geologia_Pond_30	■ GEOLMEZ
■ CLIMA	IP_Ajust		Clima_Pond_30	■ CLIMMEZ
■ PEDOLOGIA	Solos_Ajust		Solo_Pond_30	■ PEDOMEZ
■ VEGETACAO	Vegetacao_Ajust		-	-
■ USO_VEG	UsoVeg_Ajust		Vegetacao_Pond_30	■ VEGMEZ
■ GEOMORFOLOGIA1	Geomorfologia_Ajust		Interfluvio_Pond_30	-
■ GEOMORFOLOGIA2	Altimetria_Ajust		Altimetria_Pond_30	-
■ GEOMORFOLOGIA3	Decliv_Ajust		Declividade_Pond_30	-
■ GEOMORFOLOGIA	-		Geomorfologia_Pond_30	■ GEOMMEZ
■ Media_Fatia	FatiaUTB		vulnerabilidade	■ MEDIA

Quadro 4 – Apresentação dos temas. Onde os modelos: ■ Temático ■ Numérico ■ Cadastral-Objeto.

4.2.4 Etapa 4 – Integração dos temas

Após a ponderação foi realizada a etapa de integração dos temas geologia, geomorfologia, pedologia, clima e de uso cobertura do solo através da operação pontual de média aritmética no programa LEGAL e gerado uma grade numérica, para obter o valor final de vulnerabilidade para cada UTB.

Este processo permitiu definir no intervalo de valores entre um e três (fatiamento), 21 classes para representar o grau de vulnerabilidade à perda de solo, conforme proposto por Crepani e. al. (2001). Cada intervalo de classe está relacionado a uma condição de estabilidade (melhor situação), moderada ou media estabilidade/vulnerabilidade (situações intermediárias), ou vulnerável (pior situação).

4.2.5 Etapa 5 – Análise dos resultados

Compreende a análise dos resultados sobre o conceito de ecodinâmica, identificando nas características locais qual grau de vulnerabilidade à perda de solo predomina na bacia hidrográfica, onde estão localizadas as áreas críticas à preservação, recuperação e monitoramento, para elaborar um diagnóstico da bacia do Rio Icamaquã.

4.3 Avaliações dos temas quanto à vulnerabilidade à perda de solo

Este item descreve a relevância dos temas considerados neste estudo, a edição e processamento aplicados para a respectiva avaliação e ponderação quanto à vulnerabilidade à perda de solo.

4.3.1 Geomorfologia

A geomorfologia da região é um importante condicionador do escoamento das águas superficiais, que modificam o relevo e a vegetação local. Nesse sentido, para a melhor representação das características do relevo, devem ser considerados na análise dos índices morfométricos, que compreendem a declividade, as amplitudes interfluviais e a altimetria.

A dissecação do relevo pela drenagem é obtida pelas medidas da distância entre os canais da rede hidrográfica (amplitude interfluvial). A declividade das vertentes refere-se à inclinação do relevo em relação ao horizonte. A amplitude altimétrica esta relacionada com o aprofundamento da dissecação, que pode ser obtida pela diferença entre a cota altimétrica máxima e mínima da unidade.

Estes índices possibilitam estabelecer valores às classes de vulnerabilidade/estabilidade para o tema geomorfologia. De um modo geral o processo de morfogênese ocorre mais intensamente em unidades com menor

diferença interfluvial e em maior amplitude altimétrica e declividade do relevo. Sendo que em condições opostas, desenvolve a pedogênese.

As informações utilizadas para delimitar a bacia hidrográfica do Rio Icamaquã de acordo com os limites da Ottobacia de nível 5 e representar os elementos de altimetria e declividade, foi obtido do material cartográfico de pontos cotados, curvas de nível (isolinhas) e hidrografia. Este material publicado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFGRS) em 2010, resulta da vetorização de 462 cartas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Os valores intermediários das isolinhas e pontos cotados da região foram estimados para gerar um modelo numérico (MNT) do terreno e melhor representar as características e feições do relevo. Nesse processo foram empregados os interpoladores pré-definidos no *software* SPRING, sendo estes: vizinho mais próximo, média ponderada por cota e quadrante, média ponderada, linear, quártico sem linha de quebra e quártico com linha de quebra.

Para a seleção do interpolador mais adequado, foi realizado um comparativo entre perfis dos respectivos interpoladores a partir de amostras (isolinha e pontos cotados) e de uma grade triangular (TIN), sendo esse processo resultando em uma grade retangular e uma imagem em tons de cinza.

Conforme proposto por Florenzano (2008), para avaliar qual resultado mais se assemelhava ao padrão do terreno, foi traçado um vetor para representar a linha (corte) do perfil sobre os modelos de elevação em uma área dentro da bacia hidrográfica. Em estudo os diferentes resultados obtidos tanto a partir de isolinhas e pontos cotados como da grade triangular (TIN), foram confrontados com o observado na imagem *Landsat5/TM* para definir a melhor representação, conforme ilustrado na Figura 4.

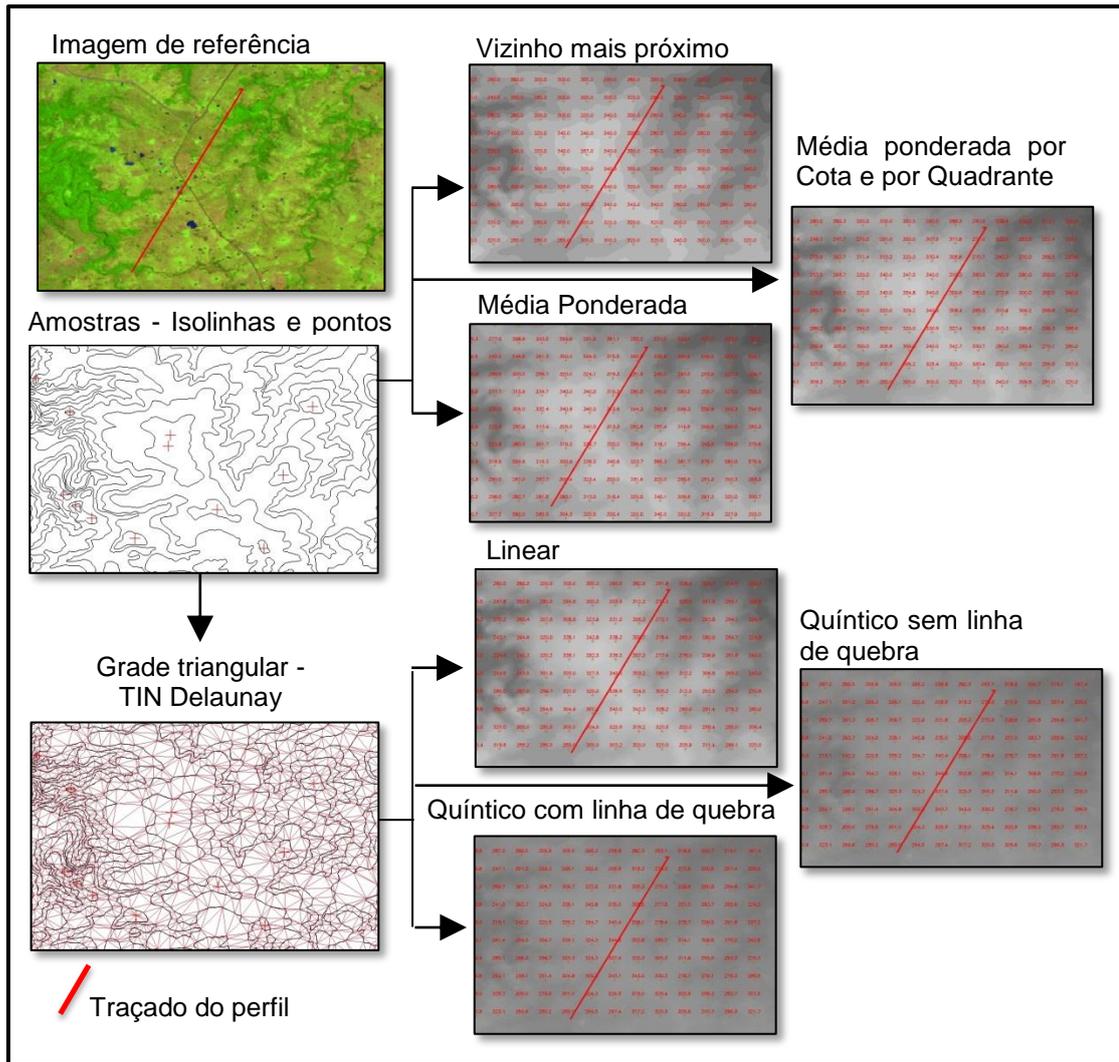


Figura 4 – Esquema de análise dos interpoladores.

4.3.1.1 Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo do tema geomorfologia

No tema geomorfologia foram analisados os índices morfométricos para estabelecer o grau de vulnerabilidade à perda de solo e sendo, portanto considerado à dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétrica e declividade.

A dissecação do relevo pela drenagem corresponde à fragilidade da rocha (porosidade e permeabilidade) ao intemperismo. Segundo Crepani et. al. (2001) rochas e solos impermeáveis dificultam a infiltração das águas pluviais, favorecendo o escoamento superficial e consequentemente a formação de canais (maior capacidade erosiva).

Seguindo essa lógica, quanto maior a amplitude interfluvial (distância entre canais) menor é a intensidade de dissecação e menos vulnerável é a unidade geomorfológica, sendo que o inverso também verdadeiro, quanto menor a amplitude interfluvial mais vulnerável é a unidade.

A dimensão interfluvial foi calculada de acordo com a proposta de Florenzano (1999) apud Gomes (2000), conforme os seguintes passos:

- Cálculo da distância entre canais de drenagem no interior da unidade geomorfológica. Sendo as medidas tomadas de três e cinco vezes, de acordo com o tamanho da unidade;
- Seleção de pelo menos três valores representativos da espacialização (um maior, um intermediário e um menor), e cálculo do valor médio;
- Elaboração de um mapa temático com os respectivos valores médios do interflúvio para cada unidade geomorfológica.

O processo de mensuração da distância entre canais foi realizado com a ferramenta “Operações Métricas” do SPRING, sendo visualmente definido de acordo com o tamanho da unidade geomorfológica, conforme ilustra a Figura 5.

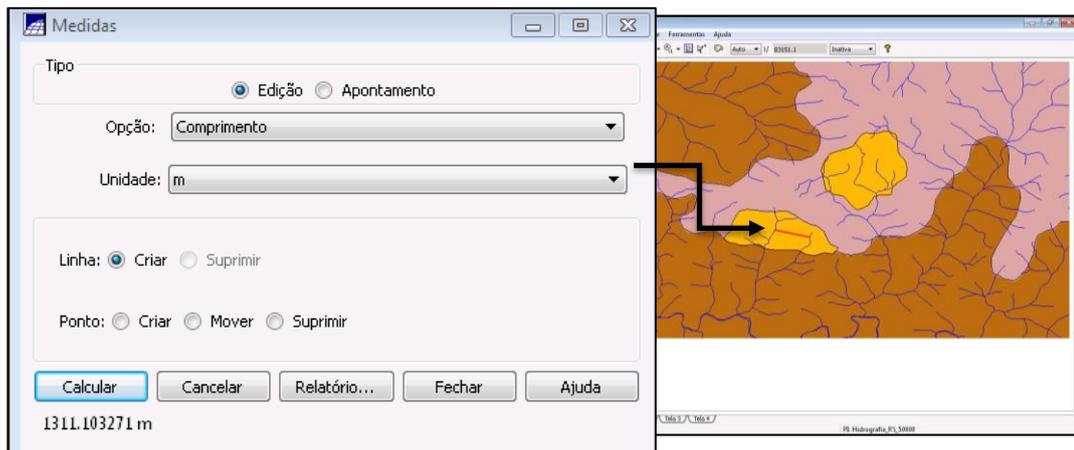


Figura 5 – Mensuração da amplitude interfluvial.

Para associar os resultados das medidas de interflúvio a cada unidade geomorfológica, foi gerado um novo plano de informação no modelo cadastral, para associar o valor médio das medidas de interflúvio ao código de identificação da

tabela de atributos, correspondente a cada unidade geomorfológica. A classificação quanto ao grau de vulnerabilidade (Tabela 1), foi realizado manualmente em um novo PI temático, considerando como referência o PI cadastral com os interflúvios.

A amplitude altimétrica e declividade foram obtidos tendo como base as curvas de nível e pontos cotado (formato vetorial), produto de cartas topográficas. Inicialmente foi interpolada uma grade triangular (TIN), para gerar uma grade retangular, que serviu tanto para gerar o mapa de declividade quanto o mapa de amplitude altimétrica usando os comandos “declividade” e “fatiamento” do programa SPRING. O critério para definição das classes dos temas de declividade, amplitude interfluvial e altimétrica, seguiu a proposta de Crepani et. al (1996), segundo este autor, estas classes podem ser adaptadas para cada realidade, dependendo do nível de detalhamento dos dados disponíveis.

Tabela 1 – Classes dos índices morfométricos (Adaptado de Crepani, et. al, 1996).

Classes Morfometrias	Índices Morfométricos			
	Dissecação (amplitude interfluvial) (m)	Amplitude altimétrica (m)	Declividade (%)	Estabilidade/vulnerabilidade
Muito Baixa	> 5.000	< 20	< 2	1,0
Baixa	3.000 - 5.000	20 - 40	2 - 5	1,3
Baixa a Média	2.000 - 3.000	40 - 80	5 - 10	1,7
Média	1.250 - 2.000	80 - 120	10 - 20	2,0
Média a Alta	750 - 1.250	120 - 160	20 - 30	2,3
Alta	250 - 750	160 - 200	30 - 50	2,7
Muito Alta	< 250	> 200	> 50	3,0

A ponderação dos temas foi realizada no programa em LEGAL, sendo que os mapas referentes aos índices morfométricos foram previamente padronizados no formato temático para atribuir o valor de vulnerabilidade referente a cada classe. Esse processo gerou em modelo numérico os índices morfométricos ponderados, que foram integrados para obter o mapa de vulnerabilidade do tema geomorfologia (Figura 6).

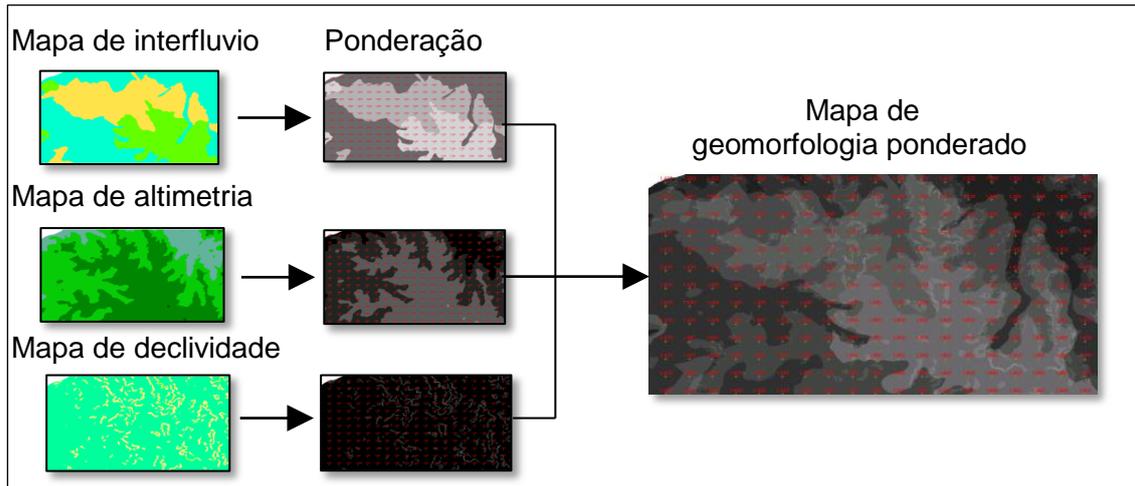


Figura 6 – Ponderação do tema geomorfologia.

A integração dos índices morfométricos ponderados, para definir a vulnerabilidade das UTB's com relação ao tema geomorfologia, foi realizada conforme a Equação 2:

$$\text{Geomorfologia} = \frac{\text{Interflúvio} + \text{Altimetria} + \text{Declividade}}{3} \quad (2)$$

Onde: Geomorfologia = vulnerabilidade para o tema geomorfologia; Interflúvio = vulnerabilidade atribuída à amplitude interfluvial; Altimetria = Vulnerabilidade atribuída à amplitude altimétrica; Declividade = Vulnerabilidade atribuída à declividade.

4.3.2 Geologia

A geologia constitui o material de origem (rocha) para a formação do solo. As rochas são caracterizadas por sua estrutura (aspecto externo), textura (tamanho, forma e relacionamento das partículas) e os minerais constituintes. Estes minerais são compostos ou elementos químicos com composição definida que conferem à

rocha, maior ou menor resistência as intempéries (MADUREIRA; ATENCIO; MCREATH, 2004).

A geologia trás informações relativas a história da evolução geológica do ambiente onde a unidade de insere, e o grau de coesão das rochas, representa a intensidade da ligação entre minerais ou partículas que as constituem (CREPANI et.al., 2001).

4.3.2.1 Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo do tema geologia

A vulnerabilidade da rocha é determinada de acordo com os minerais que a compõem, por proporcionarem maior resistência a desagregação (coesão). Portanto, conforme o grau de coesão das litologias mais comumente encontradas podem ser definidas em uma escala de vulnerabilidade a qual estão sujeitas pelo processo de denudação por intemperismo (Quadro 5). Rochas pouco coesas (rochas sedimentares), podem prevalecer os processos erosivos, enquanto que em rochas bastante coesas devem ocorrer a formação de solos (pedogênese).

(continua)

Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns	
Rocha	Estabilidade/vulnerabilidade
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0
Riólito, Granito, Dacito	1,1
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2
Migmatitos, Gnaisses	1,3
Fonólito, Nefelina, Sienito, Traquito, Sienito	1,4
Andesito, Diorito, Basalto	1,5
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6
Miolitos, Quartzo, Muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7
Piroxenito, Anfibolito, Kimberlito, Dunito	1,8
Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9

Quadro 5 – Ponderação do tema Geologia. (Adaptado de Crepani et. al, 2001).

(conclusão)

Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns	
Rocha	Estabilidade/vulnerabilidade
Estauroлита xisto, Xistos granatíferos	2,0
Filito, Metassilito	2,1
Ardósia, Metargilito	2,2
Mármore	2,3
Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Conglomerados, Subgraúvacas	2,5
Graúvacas, Ardózios	2,6
Silitos, Argilitos	2,7
Folhelhos	2,8
Calcário, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Quadro 5 – Ponderação do tema Geologia. (Adaptado de Crepani et. al, 2001).

4.3.3 Pedologia

A intensidade de formação dos solos depende do material de origem, pois condições idênticas de clima, vegetação e topografia podem apresentar diferentes estágios de desenvolvimento dos solos (CREPANI et. al., 2001).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), o processo de pedogênese ocorre devido as forças físicas responsáveis pela desintegração das rochas e reações químicas, e as forças biológicas que aceleram esse processo.

A incidência da erosão também difere quanto ao tipo de solo, por apresentar variações nas propriedades físicas como estrutura, textura e permeabilidade.

4.3.3.1 Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo do tema pedologia

A maior ou menor suscetibilidade de um solo sofrer os processos erosivos da morfogênese, depende de diversos fatores a serem considerados, sendo os mais importantes: a estrutura do solo, tipo e quantidade das argilas, profundidade do

perfil, permeabilidade e ou presença de camadas impermeáveis (Quadro 6) (Crepani et. al. 2001).

Classe de solo	Sigla	Estabilidade/ Vulnerabilidade	Classe de solo	Sigla	Estabilidade/ vulnerabilidade
Latossolo Amarelo	LA	1,0	Cambissolo	C	2,5
Latossolo Vermelho-amarelo	LV		Solos Litólicos	R	
Latossolo Vermelho-escuro	LE		Solos Aluviais	A	
Latossolo Roxo	LR		Regossolo	RE	
Latossolo Bruno	LB		Areia Quartzosa	A	
Latossolo Húmico	LH		Vertissolo	V	
Latossolo Bruno-Húmico	LBH		Solos Orgânicos	HO	
Podzólico Amarelo	PA	2,0	Solos Hidromórficos	HI	3,0
Podzólico Vermelho-amarelo	PV		Glei Húmico	HGH	
Podzólico Vermelho-escuro	PE		Glei Pouco Húmico	HGP	
Terra Roxa Estruturada	TR		Plintossolo	PT	
Bruno Não-Cálcico	NC		Laterita Hidromórfica	LH	
Brunizém	B		Solos Concrecionários Lateríticos	CL	
Brunizém Avermelhado	BA		Rendzinas	RZ	
Planossolo	PL	Afloramento Rochoso	AR		

Quadro 6 – Vulnerabilidade das classes de solos (Adaptado de Crepani et. al, 2001).

Nas unidades de paisagem com associações de solos, conforme estabelecidos por Crepani et. al. (2001) a ponderação é realizada em função da predominância das classes de solos. Nesse sentido, para associações com duas classes de solos foram consideradas as proporções de 60% e 40%, e para associações com três classes à proporção de 60%, 30% e 10%. Os valores da ponderação resultante destas associações foram atribuídos ao mapa de solos para gerar um novo plano de informação numérico.

4.3.4 Clima

O clima é um grande fator modelador do relevo, onde a chuva dentre os todos os fatores, age como catalizador na velocidade desse processo. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), a intensidade pluviométrica é o fator mais agravante para a perda de solos, sendo que quanto maior a intensidade, maior é a erosão.

As informações climatológicas relacionadas à intensidade pluviométrica são necessárias à caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem natural, permite quantificar empiricamente o seu grau de risco e assim prever o seu comportamento frente às alterações impostas pela ocupação. (CREPANI et.al., 2001).

4.3.4.1 Dados Pluviométricos

Os valores de precipitação e dias com chuva coletados de 21 estações climatológicas no interior e proximidades da área de estudo, foram obtidos da Agencia Nacional das Águas (ANA) via Internet no formato texto (*.txt).

Os dados foram importados e tratados no programa EXCEL da Microsoft, onde foram realizados os procedimentos conforme definidos por Crepani, Medeiros e Palmeira (2004), que compreendem:

- O preenchimento de falhas na coleta (sem informação) de precipitação no “mês” ou número de dias com chuva, com a média dos valores coletados em período equivalente.
- A média anual de precipitação é calculada apartir dos índices pluviométricos mensais.

Dessa forma, após preparar os dados foi realizado o cálculo do valor de intensidade pluviométrica para cada estação, conforme Equação 3 (CREPANI; MEDEIROS; PALMEIRA, 2004):

$$\text{Intensidade Pluviométrica (IP)} = \frac{\text{Precipitação média anual (mm/mês)}}{\text{Número de dias com chuva/ 30}} \quad (3)$$

A referência geográfica das estações pluviométricas foi obtida através do Portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que disponibilizou arquivo georreferenciado (formato *.kml) contendo as coordenadas de localização e o respectivo código de identificação de cada estação, para atribuir os valores de intensidade pluviométrica calculada. Estes valores (valores de “z”) foram corretamente posicionados para gerar uma distribuição espacial dos valores relacionados à intensidade pluviométrica, através de modelagem numérica

A espacialização dos dados pluviométricos é necessária para representar as variações das informações entre as estações e desta forma permitir delimitar as áreas com maior risco a conservação do solo de uma região. Sendo que a escolha do interpolador influi significativamente na distribuição dos valores estimados, Gomes (2000) sugere que para escolha do interpolador mais adequado deve considerar o resultado que apresentar valores contínuos, sem linhas de quebra.

4.3.4.2 Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo do tema clima

Sendo a avaliação do tema relacionada à precipitação pluviométrica, a vulnerabilidade deste tema é definido pela intensidade pluviométrica da região. Quanto maior precipitação em um menor número de dias com chuva, maior será a intensidade pluviométrica é proporcionalmente maior vulnerabilidade, e o inverso indica estabilidade. Este parâmetro permite analisar a influencia do clima nos processos de morfogênese e pedogênese, de acordo com os critérios definidos e apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Ponderação da erosividade da chuva (Adaptado de Crepani et. al., 2001).

Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Estabilidade/vulnerabilidade	Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Estabilidade/vulnerabilidade	Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Estabilidade/vulnerabilidade
75 – 100	1,2	250 - 275	1,9	425 - 450	2,6
100 – 125	1,3	275 - 300	2,0	450 - 475	2,7
125 – 150	1,4	300 - 325	2,1	475 - 500	2,8
150 – 175	1,5	325 - 350	2,2	500 - 525	2,9
175 – 200	1,6	350 - 375	2,3	> 525	3,0

Para calcular a intensidade pluviométrica foram considerados os dados referentes ao volume de precipitação e o de dias de chuva para o período de 1985 a 2010. Este período apresentou maior relevância de informação por estações climatológicas, devido a menor ocorrência de falhas. Para meses com eventuais ausência de dados foram preenchidos com a média aritmética do período analisado em todos os anos considerados.

4.3.5 Uso e cobertura do solo

A cobertura do solo por vegetação representa uma defesa natural de um terreno contra a perda de solo, e serve como proteção direta contra o impacto das gotas de chuva, pois reduz a velocidade de escoamento, promovendo o aumento da infiltração de água no solo. Em terrenos descoberto, a chuva faz desprender e salpicar as partículas de solo que acabam por ser transportadas pela água (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999).

De acordo com Crepani et. al. (2001), quanto maior a cobertura vegetal natural em uma UTB, menor é o risco de perda de solo e maior a estabilidade, portanto os valores de ponderação ficam próximos a um. A vegetação de pequeno porte como gramíneas estão em situação intermediária (valor dois), e áreas antropizadas como agricultura ou baixa densidade de vegetação são consideradas instáveis, sendo nesse caso atribuídos valores próximos a três.

4.3.5.1 Dados Orbitais

As imagens *Landsat5/TM* foram adquiridas gratuitamente do *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A seleção das cenas teve como critério a menor cobertura de nuvens sobre a área de estudo, maior diferenciação dos alvos representados em classes temáticas definidas e o menor intervalo de tempo entre cenas. Desta forma, as imagens selecionadas foram as 224/080 e 223/080 (órbita/ponto) de 02 e 11 de novembro de 2011 respectivamente. As imagens deste período apresentaram informações adequadas ao estudo, como ausência de nuvens sobre a área de estudo de atividade agrícola na região, como o preparo do solo e plantio, fato que permitiu melhor discriminar as classes de uso.

4.3.5.2 Processamento digital e classificação das imagens *Landsat5/TM*

Nesta etapa foi realizado o processamento e interpretação da imagem digital, para identificar e classificar o uso e cobertura do solo e delimitar as UTB's.

4.3.5.2.1 Processamento digital

No processamento digital das imagens orbitais, foi utilizada a técnica de transformação de componentes principais (CP) para melhor interpretação e classificação dos alvos. Este processo permitiu uma melhor discriminação dos corpos d'água identificados nas bandas 1, 2 e 3, e do solo exposto nas bandas 5 e 7 do infravermelho. Das componentes principais resultantes, apenas a primeira foi considerada para a composição falsa cor e posterior processo de classificação. A banda 4 por apresentar melhores resultado na discriminação da vegetação, não foi considerada na transformação por componentes principais.

Na fase de interpretação visual foi aplicada a técnica de realce linear, através da manipulação do histograma para obter uma melhor discriminação dos temas.

Para classificar a área de estudo nas imagens, foi realizada a segmentação pelo método de “crescimento de regiões”. O melhor resultado de segmentação aplicada a toda imagem, foi obtido inicialmente por diferentes limiares de área e similaridade sobre uma parcela da bacia utilizada como teste. Esse procedimento permitiu obter de forma prática e rápida, a identificação da segmentação que mais discrimina as classes de uso.

4.3.5.2.2 Interpretação e classificação

A interpretação das classes de uso e cobertura do solo foi definida de acordo com as formas, texturas, tonalidades e contexto assumido pelos alvos na imagem.

Para reduzir a incerteza na classificação, compararam-se os alvos identificados na imagem *Landsat5/TM* com o observado nas imagens de alta resolução espectral do “*Google Earth*”, com o cuidado de observar a data de aquisição das mesmas.

Os temas de Uso da Terra analisados na classificação digital foram definidos como agricultura, água, floresta, campestre, cultura perene e solos expostos, onde:

- Floresta - correspondem as remanescentes de florestas, mata de galeria encontrada na forma de manchas, principalmente em redes de drenagem e encostas onde o relevo é ondulado. Esta floresta é definida como Estacional Decidual, sendo constituída por espécies hidrófitas-xerófitas deciduais (HASENACK; WEBWER, 2004).
- Cultura Perene – a essa classe é atribuída plantações de espécies arbóreas com finalidade comercial, como o eucalipto (*Eucalyptus spp.*), pinus ou frutíferas;
- Agricultura - refere-se ao conjunto de intervenções feitas pelo homem (áreas antropizadas), para promover e desenvolver a produção de uma ou mais espécies vegetais de ciclo anual, como soja, milho ou arroz.
- Campestre – corresponde a vegetação gramínea e outras forrageiras nativas de pequeno porte. Esta vegetação tem como características da região, o uso como pasto para o gado;

- Solo exposto – compreende áreas agrícolas com pouca ou nenhuma cobertura vegetal, como áreas submetidas ao preparo para o plantio de alguma cultura agrícola, solos mal manejados.
- Água – corresponde a áreas alagadas, como açudes, barragens e rios.

4.3.5.3 Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo do tema uso e cobertura do solo

A vulnerabilidade da cobertura vegetal baseia-se no tipo de vegetação e atividade antrópica que incide sobre a área. Quanto maior a cobertura vegetal menor é o risco a perda de solo, os valores das unidades ficam próximos de 1,0 o que indica estabilidade. As áreas antropizadas como agricultura, pastagens ou com baixa densidade de vegetação apresentam valores próximos a 3,0, indicando instabilidade. Dessa forma as classes de uso e cobertura do solo receberam os valores de ponderação estabelecido por Crepani et.al.(2001), conforme quadro 7.

Classes de cobertura vegetal e uso do solo	Estabilidade/ vulnerabilidade
Floresta	2,2
Agricultura	3,0
Solos exposto	3,0
Campestre	2,8
Cultura perene	2,9
Água	0,0

Quadro 7 – Ponderação do tema vegetação e uso do solo. (Adaptado de Crepani et. al., 2001).

A classificação da cobertura vegetal natural identificada na imagem Landsat5/TM seguiu a classificação fitogeográfica do Rio Grande do Sul para associação de classes.

4.3.6 Integração das informações de vulnerabilidade à perda de solo

A integração das informações em unidades territoriais básicas (UTB's) permite avaliar a contribuição de cada tema para o processo de perda do solo. Nesse sentido, as UTB's podem ser caracterizadas como uma entidade geográfica com atributos ambientais que tanto permitem diferenciá-las, como estabelecer vínculos dinâmicos com as UTB's vizinhas (Crepani et. al., 1996).

A integração das informações nas UTB's proporciona conhecer a constituição física e fitoecológica com as interações do meio ambiente, e dessa forma caracterizar melhor a situação real no contexto da avaliação da fragilidade ambiental.

Conforme Crepani et.al.(1996), para a delimitação das UTB's são consideradas as variações espectrais, espacial e radiométrica da imagem que permitam identificar as características dos padrões de relevo, da drenagem e das interações com o ambiente para que se possa conhecer e classificar sua capacidade de sustentação à ação humana.

Segundo Dias e Mattos (2009), a compartimentação da área em unidades compreende um conjunto de procedimentos de segmentação, classificação e interpretação visual da imagem para delimitar UTB's. Nesse sentido foi realizada a segmentação da imagem de forma automática no programa SPRING, e a correspondente edição das desconformidades encontradas na delimitação das UTB's ou áreas menores que as definidas no limar de área do segmentador. Desse modo esta imagem editada foi associada ao modelo cadastral, permitindo assim que as informações de vulnerabilidade referente a cada tema fosse agrupada em uma tabela de geo-objeto.

5 RESULTADOS

Os resultados alcançados no decorrer deste trabalho são apresentados na avaliação de cada tema. O produto final que consiste na obtenção de um mapa de vulnerabilidade a perda de solo da bacia do Rio Icamaguã, está organizado em um banco de dados. A seguir estão descritos todos os resultados intermediários, sobre os quais foi gerado o mapa de vulnerabilidade.

5.2 Geomorfologia

As características geomorfológicas do relevo afetam a quantidade de água que infiltra nos perfis, assim como o escoamento superficial das águas pluviais, fenômeno que ocorre com maior intensidade nas áreas de declive mais acentuado.

De acordo com a proposta desenvolvida por Crepani (1996), a geomorfologia é definida em três níveis hierárquicos unidades interfluviais, altimetria e declividade possibilita melhor caracterizar a vulnerabilidade à perda de solo. Dessa forma, considerando que os domínios geomorfológicos são formados por Planaltos (Figura 7), com uma hidrografia distribuída sobre o relevo suave e de baixa declividade, foi possível constatar que unidades interfluviais apresentam moderado risco a perda de solo. A classe de amplitude de interflúvio superior a 5000m não foi encontrada, devido a distribuição da hidrografia apresentar-se pouco esparsa.

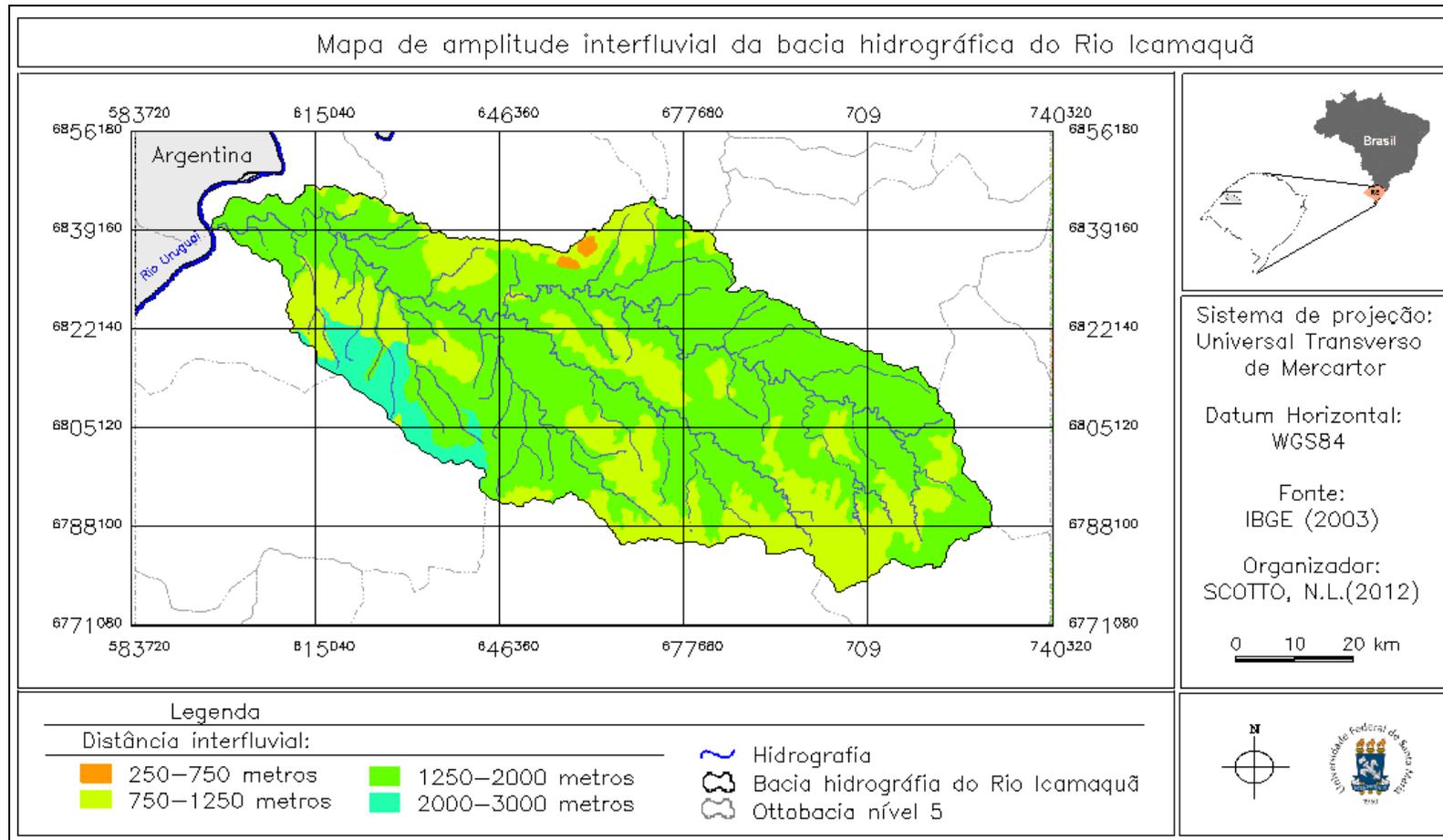


Figura 7 – Distribuição das classes de amplitude interfluvial da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã.

Para melhor representar o relevo quanto sua declividade e a amplitude altimétrica por meio da técnica de modelagem numérica, foi realizada uma análise dos perfis para selecionar o resultado dos interpoladores, que mais se assemelha as feições do relevo (Figura 8).

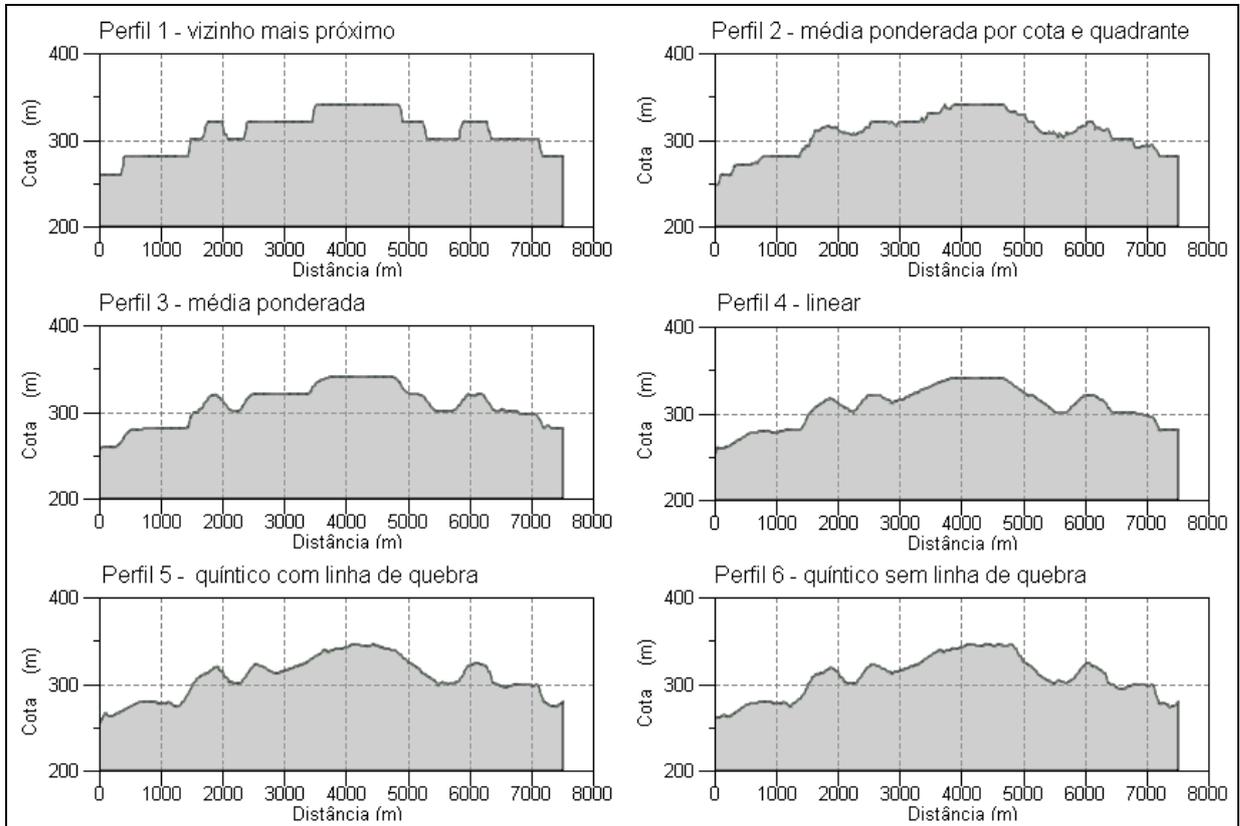


Figura 8 – Perfis interpolados.

Os perfis 1 e 2 apresentaram resultados mais grosseiros, com variações bruscas de altitude (formando degraus), o que não condiz com o relevo da região. O perfil 3 gerou uma superfície suave, porém com grandes regiões planas. Os perfis 5 e 6 apresentam superfícies interpoladas muito semelhantes, no entanto os picos produzidos distribuídos na superfície da modelagem estão em desconformidade com o observado na imagem.

O Perfil 4 gerado pelo interpolador Linear utilizado na geração de grade retangular a partir da grade TIN de Delaunay, dentre os interpoladores avaliados foi o que apresentou uma superfície mais próxima ao padrão do relevo observado na

imagem *Landsat5/TM*, apresentando uma distribuição gradual da inclinação do terreno e sem variações abruptas, predominando um relevo de formação suave.

A amplitude altimétrica encontrada na bacia hidrográfica é de 380 metros, sendo que o ponto mais elevado situado a 432 metros de altitude na área sudeste, abrange os municípios de Santiago, Unistalda e Capão do Cipó, sendo que neste último está localizada a nascente do Rio Icamaquã. O ponto mais baixo encontra-se na região oeste, a 52m de altitude, local de encontro das águas do Rio Uruguai e Rio Icamaquã.

Dentre os sete intervalos definidos para representar as classes de altimetria, foi observado que a altitude predominante está situada entre 40 e 80m, com 25% da área total da bacia. Ainda representativas constam as classes de 80 a 120m e 120 a 170m com 20% e 17% da área respectivamente. A oeste da área de estudo encontram-se as cotas mais baixas, com intervalo inferior a 20m (ao mínimo de 52 metros de altitude), com 5% da bacia hidrográfica (Figura 9).

A área de estudo apresenta baixa declividade, sendo que as classes predominantes com declive inferior a 5% correspondem a 92% da área (Figura 10), inserida a jusante da bacia, na zona centro-oeste. O predomínio de baixa declividade e a forma elíptica da bacia contribui para que o escoamento superficial seja mais distribuído no tempo e ocorra em menor intensidade. Este fato ocasiona uma menor perda de solo e proporciona uma maior taxa de infiltração de água no solo para abastecimento do lençol freático.

A topografia essencialmente plana não oferece grandes riscos à perda de solo, contudo favorece cultivos agrícolas com sistema de irrigação por inundação, principalmente a jusante da bacia onde a declividade é menor. Esse sistema agrícola de irrigação possibilita maiores perdas de solo por escoamento, e há necessidade de implantar terraços e faixas de retenção como medidas de controle.

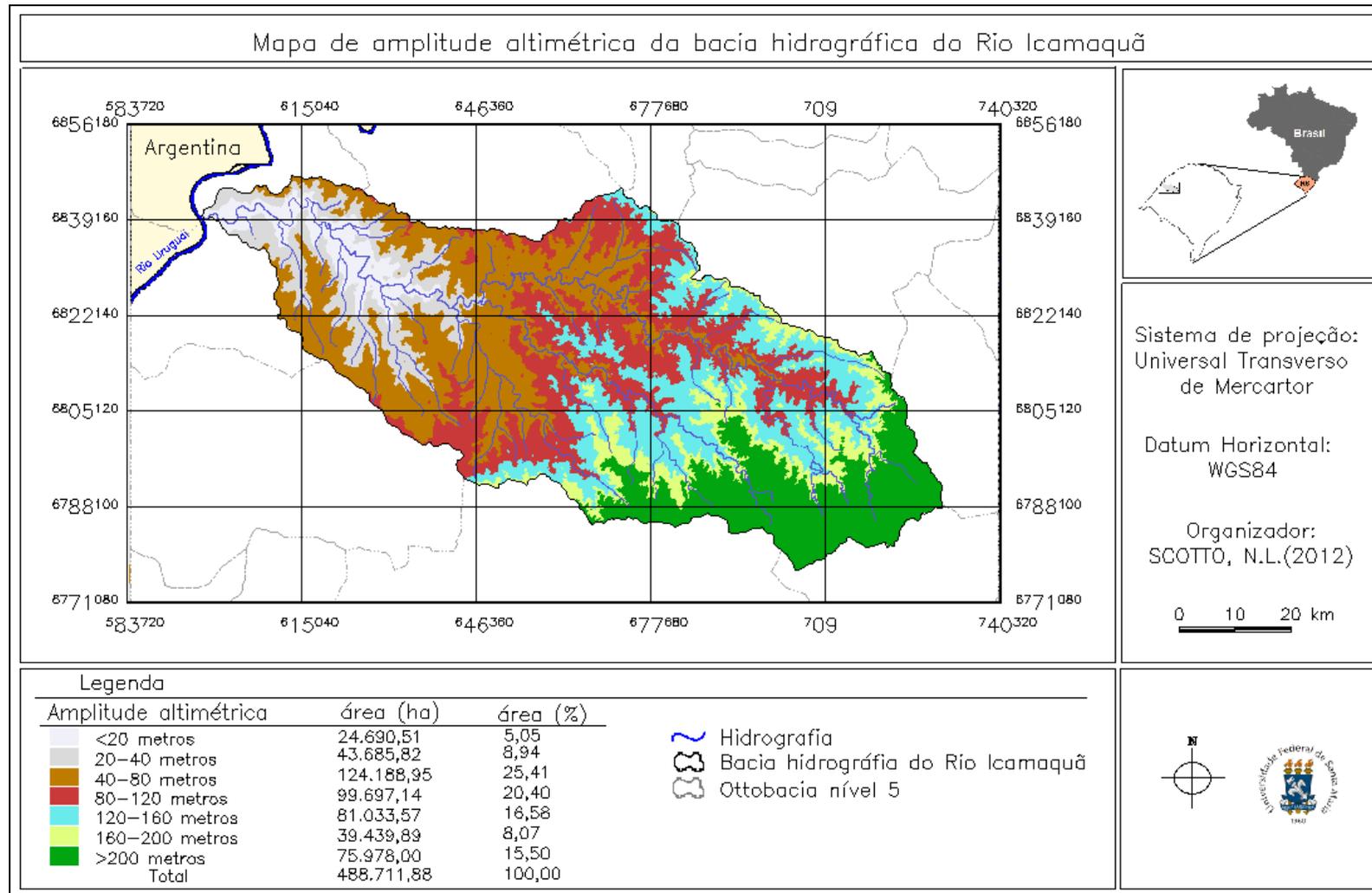


Figura 9 – Distribuição das classes de amplitude altimétrica da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã.

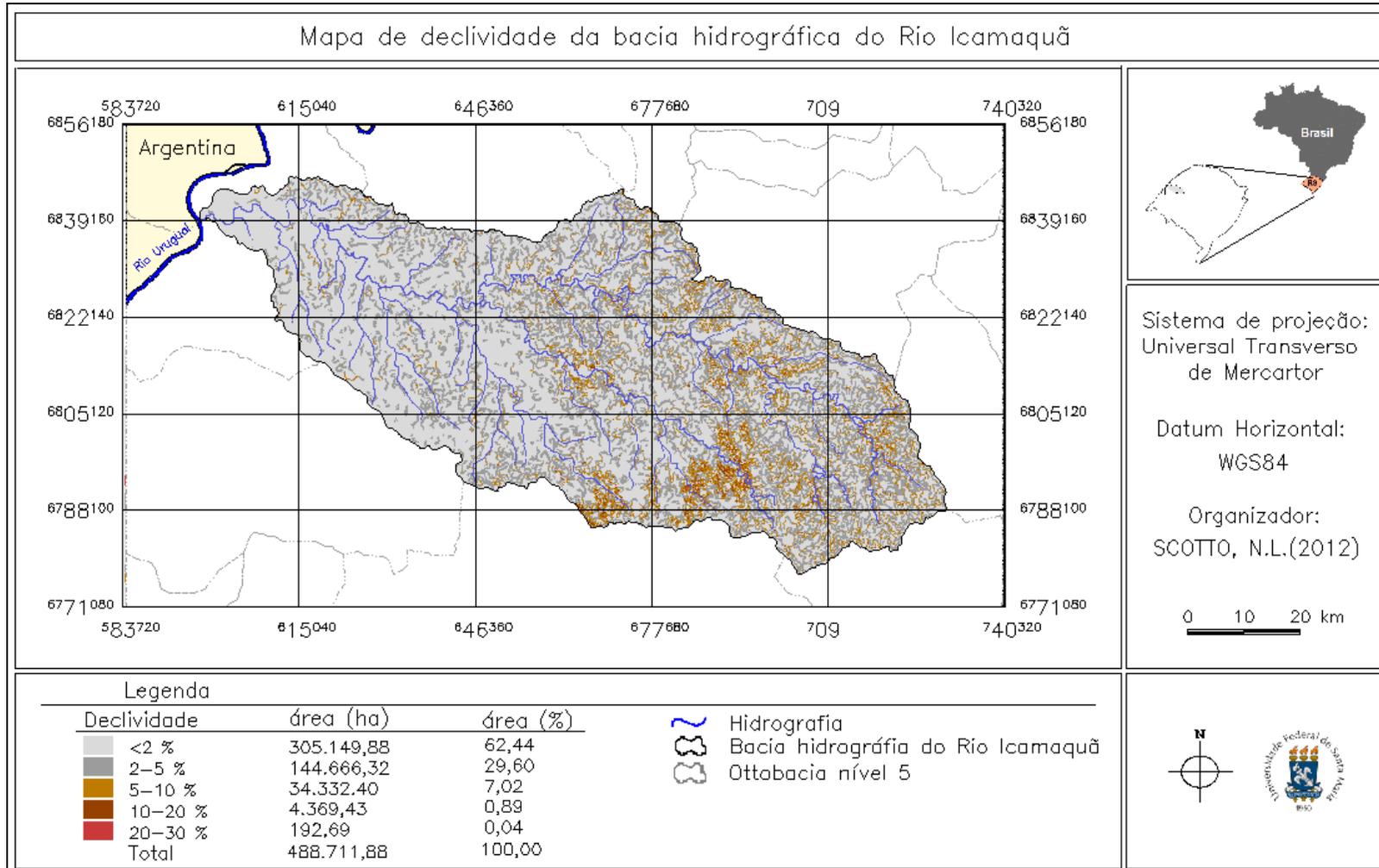


Figura 10 – Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã.

5.1 Geologia

As formações geológicas que compõem a área de estudo (Figura 11), são caracterizadas como Depósitos Aluvionares (QHa), Formação Serra Geral (JKsg e JKsga) e Formação Tupanciretã (Tt). A Formação Depósitos Aluvionares que está localizada a jusante da bacia e representa apenas 6% desta área, sendo composta por areias cascalheiras e sedimentos sílticos-argilosos de planície de inundação, terraços e depósitos de calha de rede fluvial atual e subatual (IBGE, 2003).

A Formação Tupanciretã (Tt) que representa um valor inferior a 1% da área, está distribuída no extremo sul da bacia hidrográfica. Esta formação apresenta arenitos de cor vermelha, friáveis, quartzosos, com camadas argilosas e conglomerados contendo seixos de basalto e diferenciados ácidos que constituem o litossoma basal (IBGE, 2003).

A Formação Serra Geral (JKsg) representa a classe predominante na bacia hidrográfica do Rio Icamaquã (82%), sendo constituída de rochas efusivas básicas toleíticas, comumente basaltos e fenobasaltos, além da subformação (JKsga) composta por rochas ácidas, constituída por riolitos felsíticos, riodacitos e dacitos felsíticos, e seus correspondentes termos vítreos (IBGE, 2003).

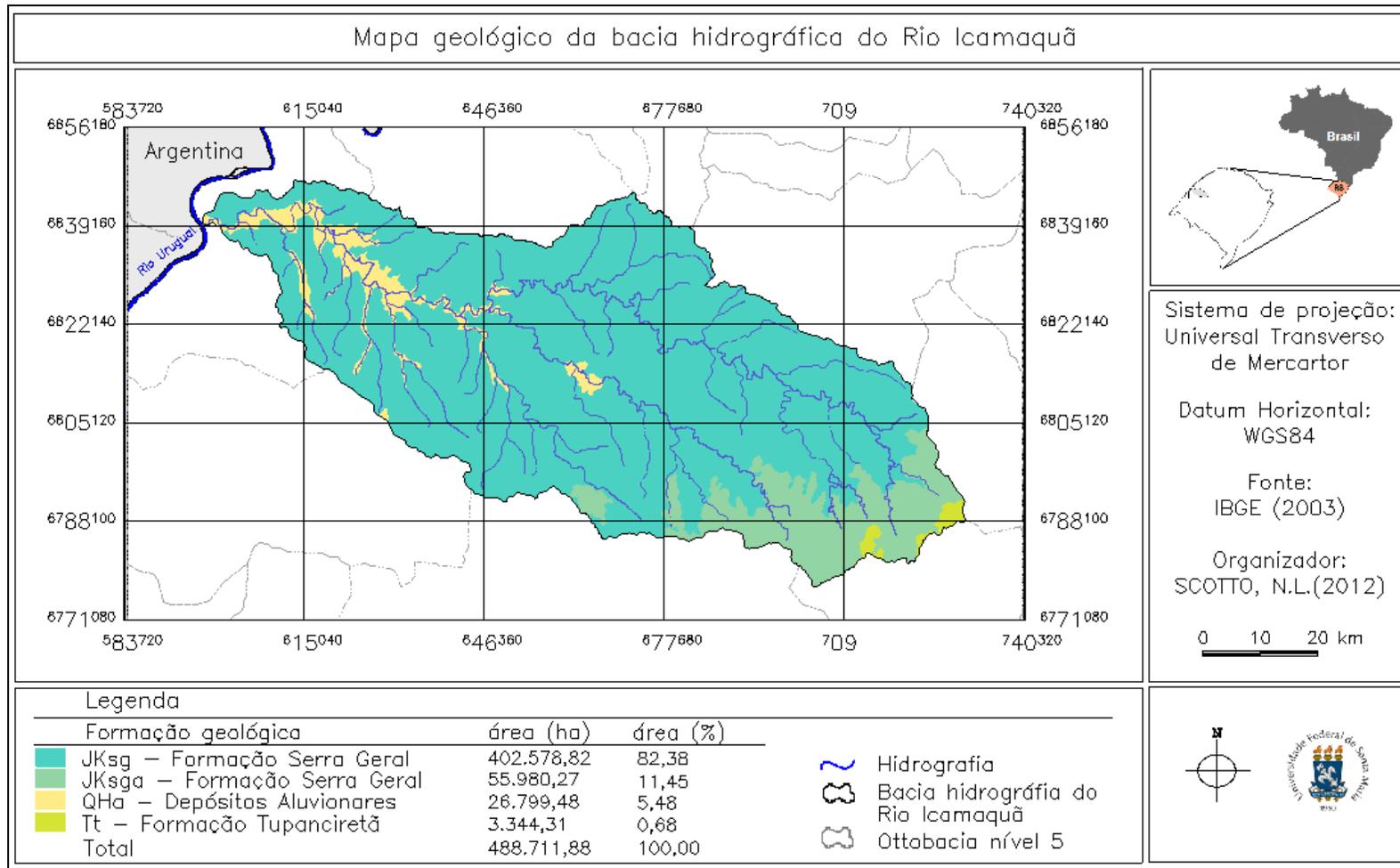


Figura 11 – Formação geológica da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã, RS (Adaptado de IBGE, 2003).

Desse modo, as informações referentes a cada formação litológica permitiu estabelecer o grau de resistência à desagregação das rochas. A Formação Depósitos Aluvionares (QHa) por apresentar rochas mais frágeis ao intemperismo e favorecer o processo erosivo, foi definida como de alta vulnerabilidade a perda de solo, recebendo maior valor de ponderação. Para as demais formações foram atribuídos valores intermediários (Tabela 3), conforme as características litológicas encontradas nas unidades.

Tabela 3 – Vulnerabilidade das classes litológicas. (Adaptado de Crepani et. al., 2001).

Classes de Geologia	Sigla	Valores de estabilidade/ vulnerabilidade
Formação Serra Geral	JKsg	1,5
Formação Serra Geral	JKsga	1,5
Formação Tupanciretã	Tt	2,4
Depósitos Aluvionares	QHa	3,0

5.3 Pedologia

Os valores de vulnerabilidade para cada classe são atribuídos de acordo com as porcentagens de ocorrência das associações de solos. Desse modo, a suscetibilidade à perda de solo varia em função das propriedades do solo, as quais estão relacionadas tanto com a rocha matriz, como às condições ambientais locais.

Nesse sentido, a ponderação do tema pedologia definida por Crepani et.al. (2001), considera a maturidade dos solos e as classes constituintes. Onde as associações com dois tipos de solos foram ponderadas conforme a proporção definida em 60% e 40%, e para associações com três tipos de solos a proporção foi de 60%, 30% e 10% (Quadro 8).

Associação de Classe	Constituintes	Ponderação
BT6	60 % Brunizém Vértico 40% Vertissolo A (relevo suave ondulado, ondulado)	$0,6 \times 2,1 + 0,4 \times 3,0 = 1,5$
Ge	100% Gleissolo eutrófico	$1,0 \times 3,0 = 3,0$
LEa1	100% Latossolo Vermelho-Escuro álico A	$1,0 \times 1,2 = 1,2$
LEa2	60% Latossolo Vermelho-Escuro álico A (textura argilosa) 40% Latossolo Vermelho-Escuro álico A (textura média)	$0,6 \times 1,2 + 0,4 \times 1,0 = 1,1$
LEa3	60% Latossolo Vermelho-Escuro álico A (textura argilosa) 30% Latossolo Vermelho-Escuro álico A (textura média) 10% Podzólico Vermelho-Amarelo	$0,6 \times 1,2 + 0,3 \times 1,0 + 0,1 \times 2,0 = 1,2$
LRd2	100% Latossolo Roxo distrófico e álico A (relevo suave ondulado)	$1,0 \times 1,2 = 1,2$
PEa1	60% Podzólico Vermelho-Escuro 40% Solos litólicos	$0,6 \times 2,0 + 0,4 \times 3 = 2,4$
PLe1	100% Planossolo eutrófico (relevo plano)	$1,0 \times 2,0 = 2,0$
PTd1	100% Plintossolo distrófico (relevo plano)	$1,0 \times 3,0 = 3,0$
PTd2	60% Plintossolo distrófico 40% Planossolo eutrófico (textura média)	$0,6 \times 3,0 + 0,4 \times 2,1 = 2,6$
Rd1	100% Solos Litólicos distróficos (textura média)	$1,0 \times 3,0 = 3,0$
Rd2	100% Solos litólicos distróficos (textura média e argilosa)	$1,0 \times 3,0 = 3,0$
Re2	100% Solos litólicos eutróficos	$1,0 \times 3,0 = 3,0$
Re6	60% Solos litólicos eutróficos 40% Vertissolo	$0,6 \times 3,0 + 0,4 \times 3 = 3$
Re7	60% Solos litólicos eutróficos 40% Brunizém Vértico cálcico (relevo suave ondulado)	$0,6 \times 3,0 + 0,4 \times 2,1 = 2,7$
Re8	60% Solos litólicos eutróficos 40% Brunizém	$0,6 \times 3,0 + 0,4 \times 2,0 = 2,6$
Re10	60% Solos litólicos eutróficos 40% Terra Roxa Estruturada eutrófica	$0,6 \times 3,0 + 0,4 \times 2,0 = 2,6$
TRe1	100% Terra Roxa estruturada eutrófica (relevo suave ondulado)	$1,0 \times 2,2 = 2,2$
TRe2	60% Terra Roxa extruturada eutrófica 40% Plintossolo distrófico eutrófico	$0,6 \times 2,0 + 0,4 \times 3,0 = 2,4$
TRe3	60% Terra Roxa extruturada eutrófica 40% Terra Roxa Estruturada eutrófica latossólica	$0,6 \times 2,0 + 0,4 \times 2,0 = 2,0$
V3	60% Vertissolo cálcico 40% Solos Litólicos eutróficos	$0,6 \times 3,0 + 0,4 \times 3,0 = 3,0$

Quadro 8 – Ponderação das classes de solos (Adaptado de Crepani et.a. (2001)).

Considerando que a maturidade dos solos revelam características distintas como estrutura, tipo e quantidade de argila e presença de camadas impermeáveis no perfil, estes indicativos podem determinar o maior ou menor potencial à perda de solo (PALMEIRA, 2004). Nesse sentido, a avaliação dos solos possibilitou agrupar as classes de acordo com a vulnerabilidade onde:

- Os solos vulneráveis a perda de solo compreendem o Gleissolo Eutrófico, Plintossolo Distrófico, Vertissolo, Litólico Distrófico e o Eutrófico. Por serem considerados pouco desenvolvidos, ou seja, de formação recente são rasos e com ausência do horizonte B. Apresentam um escoamento moderado a mal drenado, devido à restrição à percolação da água podem permanecer temporariamente com excesso de umidade (IBGE, 2003).

- Os solos constituído por Terra Roxa Estruturada Eutrófica, Podzólico Vermelho-Escuro álico e Podzólico Vermelho-Escuro álico apresentam moderada vulnerabilidade à perda de solo. Estes solos tem como características uma textura média até muito argilosa, geralmente profundos (IBGE, 2003).

- Os solos Brunizém Vértico e Planossolo Eutrófico, são definidos como medianamente vulnerável a estável, variam de pouco a mal drenados, com grau de intemperização baixo a intermediário (IBGE, 2003).

- Os solos Latossolo Roxo Distrófico e Latossolo Vermelho-Escuro Álico considerados estáveis, são solos em avançado estágio de intemperização, sendo bem drenados, normalmente profundos a muito profundos e com baixa fertilidade natural (IBGE, 2003).

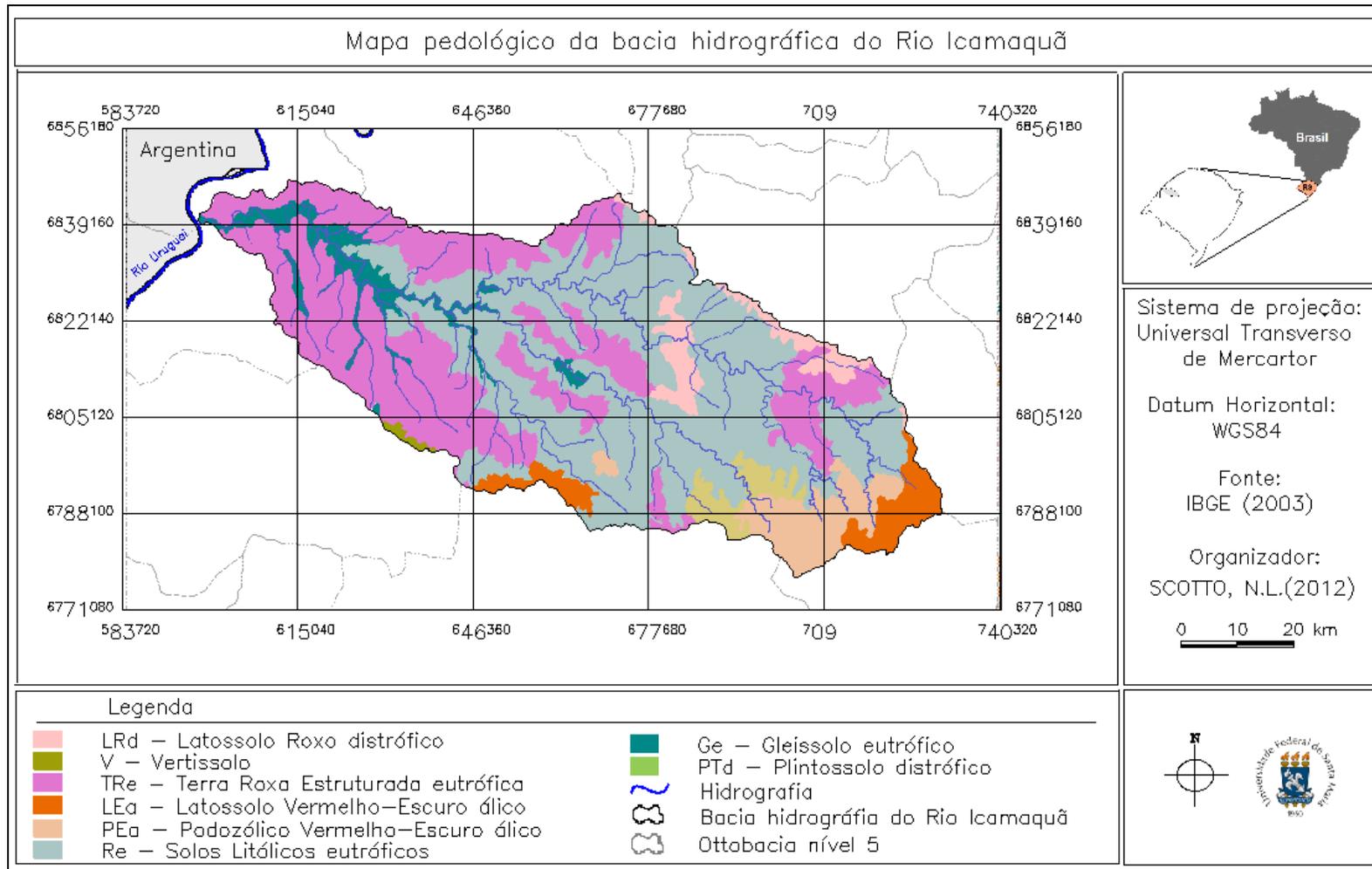


Figura 12 – Distribuição das principais classes de solo da bacia da hidrográfica do Rio Içamaquã (Adaptado de IBGE, 2003).

5.4 Dados Pluviométricos

Os dados pluviométricos adquiridos de 21 estações climatológicas permitiram calcular a intensidade pluviométrica para cada estação através do número de dias de chuva e a precipitação mensal. Conforme a Tabela 4, onde informações referentes às chuvas estão organizadas e apresentadas de forma sintetizada, correspondem à análise de um período 25 anos (1985 a 2010).

Os valores de intensidade pluviométrica encontrados são ponderados conforme o risco atribuído à perda de solos por escoamento superficial definido por Crepani et. al. (2001), sendo proporcional ao aumento da intensidade de precipitação. Dessa forma, devido os valores de todas as estações climatológicas estar acima de 525 mm/mês e em decorrência disso a classificação deste tema pertencer a apenas uma classe ($> 525\text{mm/ano}$) definida como vulnerável à perda de solo (valor 3), a espacialização da intensidade pluviométrica necessária ao processo de ponderação de estabilidade/vulnerabilidade, teve neste caso apenas um caráter ilustrativo da distribuição das informações pluviométricas calculadas.

Para gerar a espacialização dos dados pluviométricos foi utilizado o interpolador média ponderada, que apresentou uma distribuição gradual dos valores de intensidade pluviométrica entre os pontos de referência, conforme Figura 13.

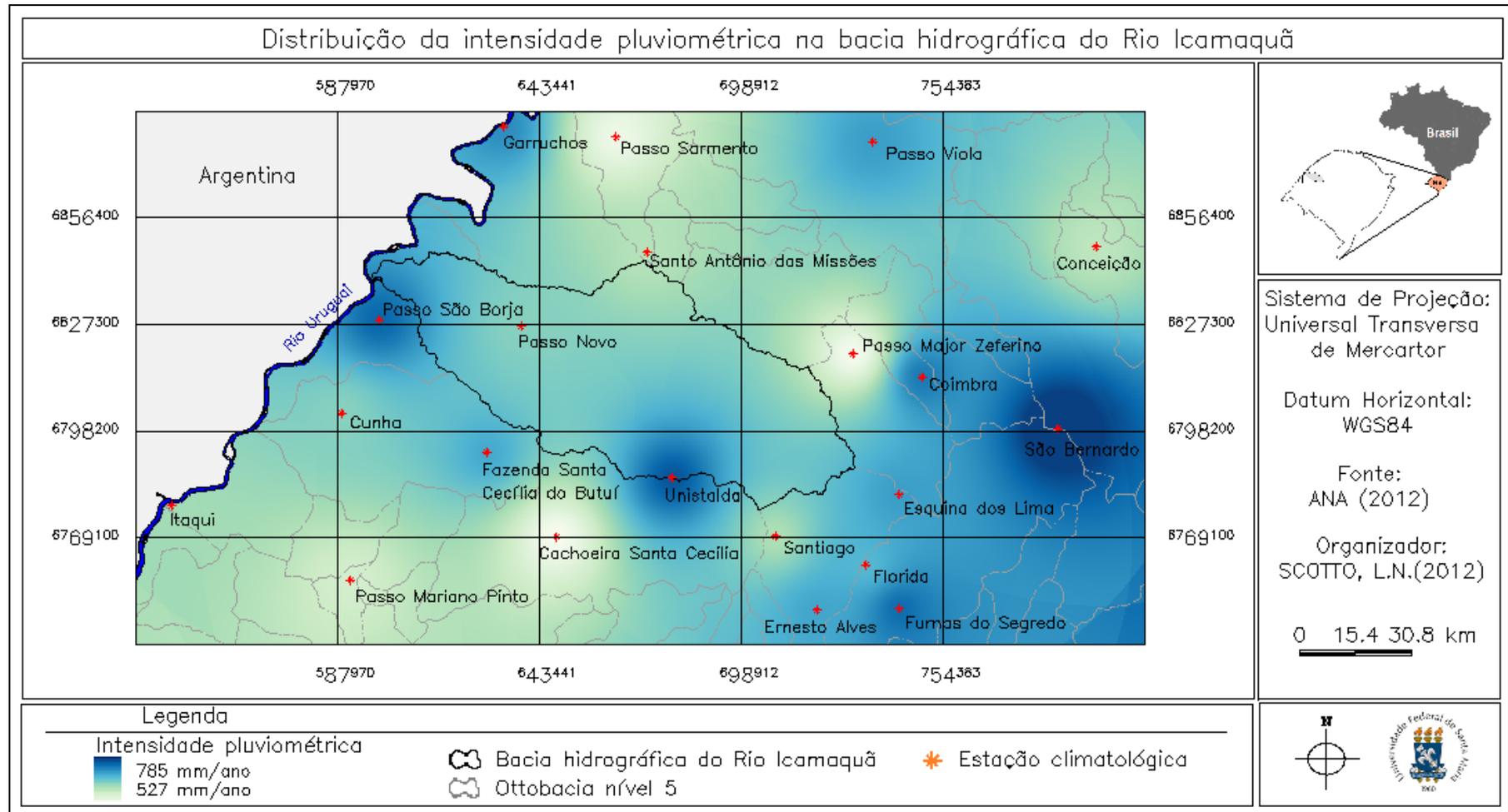


Figura 13 – Distribuição das estações climatológicas e da intensidade pluviométrica na área de estudo.

Tabela 4 – Valores de precipitação (média mensal e anual), dias com chuva e intensidade pluviométrica das estações consideradas.

Estação	Precipitação pluviométrica em milímetros (mm)												Total	P.M.A.*	N.D.C*	I.P.*
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez				
Cachoeira Santa Cecília	135,46	142,81	153,75	209,25	128,45	112,94	106,75	79,03	143,35	178,32	130,99	117,92	1639,02	136,58	93,23	527,41
Coimbra	161,44	148,4	132,57	196,99	131,83	145,13	151,96	125,29	169,39	210,5	159,59	118,64	1851,71	154,31	74	750,69
Conceição	160,78	130,56	126,86	164,36	162,15	140,27	141,6	124,51	161,8	218,57	160,91	154,68	1847,06	153,92	90,98	609,07
Cunha	119,04	121,16	147,82	185,81	116,46	107,43	98,43	72,07	130,21	181,83	168,94	124,6	1573,79	131,15	72,11	654,73
Ernesto Alves	139,63	149,82	156,89	199,14	126,66	130,04	146,74	101	163,13	195,29	149,76	111,92	1770,01	147,5	74,63	711,5
Esquina dos Lima	146,92	159,62	139,22	196,78	139,7	139,61	146,58	114,72	177,83	207,34	134,38	120,04	1822,73	151,89	76,11	718,44
Fazenda Santa Cecília do Butuí	141,42	110,86	121,81	201,45	134,83	124,29	108,48	79,92	150,16	168,57	171,92	122	1635,7	136,31	69,27	708,43
Florida	156,27	141,46	148,39	189,05	133,43	130,78	148,21	104,23	150,66	189,53	147,34	116,04	1755,4	146,28	75,93	693,52
Furnas do Segredo	134,16	152,77	155,12	192,36	129,33	141,45	152,38	108,66	174,44	194,96	146,33	116,16	1798,12	149,84	70,65	763,53
Garruchos	160,09	167,35	152,85	205,15	127,68	129,56	119,08	87,78	139,73	214,3	175,13	156,56	1835,27	152,94	75,1	733,12
Itaqui	125,34	145,71	168,52	202,75	121,99	94,3	86,93	59,84	125,22	160,94	164,22	135,66	1591,44	132,62	75,3	634,02
Passo do Sarmiento	158,57	154,45	163,71	228,11	138	131,03	136,59	99,68	155,38	241,11	158,43	162,4	1927,46	160,62	106,95	540,66
Passo Major Zeferino	152,64	146,88	144,45	186,23	127,4	134,51	153,77	107,71	152,28	211,43	146,04	137,58	1800,93	150,08	102,01	529,61
Passo Mariano Pinto	142,03	128,93	169,58	213,84	117,04	105,22	107,6	65,62	141,57	181,48	130,13	138,06	1641,1	136,76	84,56	582,24
Passo Novo	147,26	141,29	138,82	217,89	134,1	119,42	117,84	86,22	142,09	202,95	158,04	139,27	1745,2	145,43	79,76	656,44
Passo São Borja	133,93	136,76	148,38	230,01	130,76	110,74	106,99	67,01	136,81	193,78	135,01	162,16	1692,36	141,03	66,02	769,01
Passo Viola	152,86	139,70	134,06	203,19	145,30	150,23	123,83	114,82	159,85	233,56	147,62	144,74	1849,75	154,15	77,26	718,28
Santiago	174,86	150,19	152,88	191,11	133,03	135,31	148,66	107,45	169,82	170,77	169,25	116,53	1819,88	151,66	87,65	622,91
Santo Antônio das Missões	132,28	156,80	143,03	217,22	152,88	135,47	145,46	109,37	150,82	217,98	162,40	149,51	1873,23	156,10	91,00	617,52
São Bernardo	163,16	138,62	131,04	198,61	139,16	145,99	172,38	120,70	179,58	234,78	171,66	146,07	1941,74	161,81	69,48	838,37
Unistalda	140,08	155,77	151,05	210,56	146,49	133,90	150,24	111,60	166,36	186,69	172,44	125,10	1850,28	154,19	70,71	785,00

*P.M.A.: Precipitação média anual (mm); *N.D.C: Número de dias com chuva; *IP: Intensidade pluviométrica (mm/ano). Adaptado de ANA (2012).

5.5 Processamento e análise das imagens *Landsat5/TM*

Como processamentos digitais foram realizados o registro das imagens, técnica de transformação de componentes principais, aplicação de realce, segmentação e classificação.

5.5.1 Registro

Para o registro das imagens e suas respectivas bandas, foi aplicado o polinômio de segunda ordem nos pontos coletados através do modo Tela do software SPRING. Os parâmetros obtidos do processo do registro das imagens estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros do registro das imagens.

Imagens <i>Landsat 5/TM</i>				
Data	Orbita/ponto	Pontos coletados	Erro	
			Pontos de controle	Pontos de teste
02/11/2011	224/080	70	0,748	5,423
11/11/2011	223/080	23	0,662	4,257

5.5.2 Componente Principal e Contraste

A transformação por componentes principais permitiu eliminar a redundância espectral contida nas bandas consideradas, e assim reunir as informações particulares a cada imagem. Ao visualizar o resultado obtido na primeira componente principal das bandas 1, 2 e 3 é possível identificar melhor as feições dos lagos e a características da drenagem, porém as variações de vegetação são mais difíceis de discriminar. Na primeira componente principal das bandas 5 e 7, a discriminação das feições decorrente de atividade antrópica como a agricultura são

mais reconhecíveis, contudo áreas com solo exposto ou pouca cobertura vegetal apresentam maior destaque na imagem.

O resultado desse processo foi observado na composição falsa cor da imagem, com a banda 4 representando o verde, e a primeira componente principal resultante das bandas 1, 2 e 3 para o azul, e das bandas 5 e 7 para o vermelho. Esta composição de três bandas permitiu obter a máxima informação das 6 bandas e propiciar uma melhor interpretação dos alvos, conforme ilustra a Figura 14.

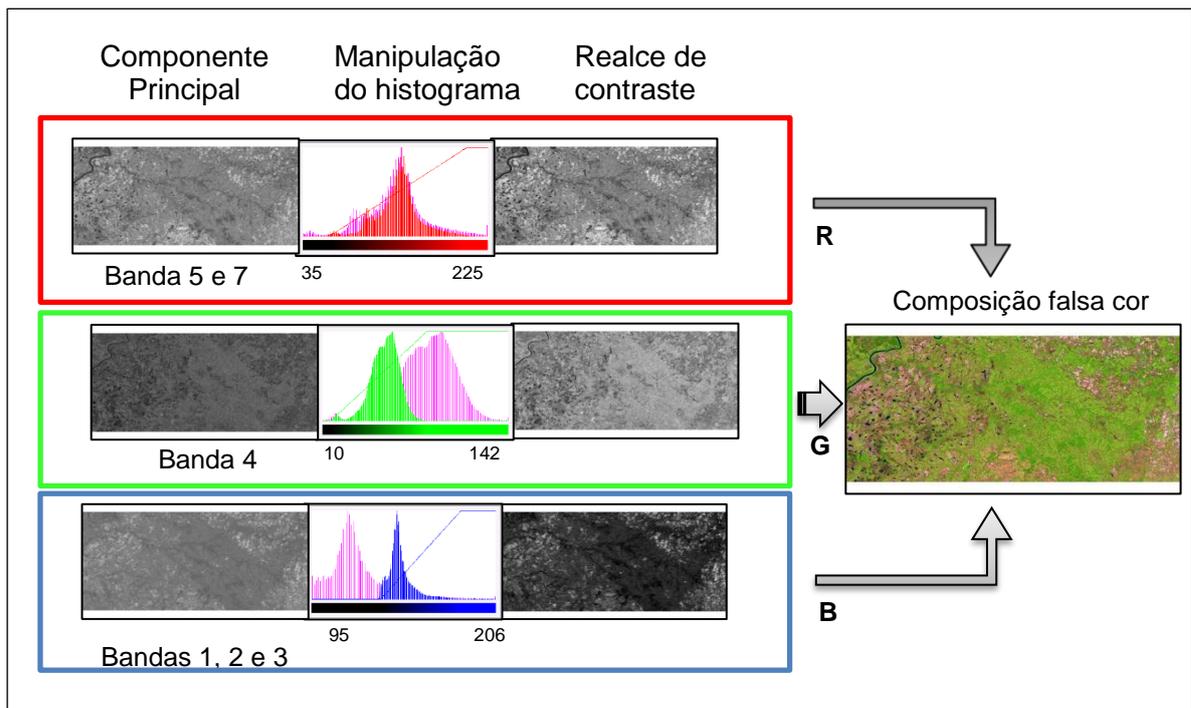


Figura 14 – Aplicação de contraste sobre as bandas e a imagem falsa cor resultante.

A manipulação do histograma para obter o realce linear de contraste, aplicado individualmente nas três bandas, permitiu identificar melhor os diferentes alvos por suas feições e características, contribuindo dessa forma para a interpretação e classificação.

5.5.3 Segmentação

Sendo considerado para esse processo, o conjunto formado pela banda 4 e as primeiras componentes principais das bandas 1, 2 e 3 e das bandas 5 e 7, todas com realce de contraste, foi possível estabelecer sobre a imagem, os polígonos que representam regiões homogêneas e discriminam as classes espectrais de interesse. Desse modo, o algoritmo de segmentação por crescimento de regiões apresentou o melhor detalhamento das feições dos alvos através dos limiares de similaridade e área igual a 15, o que permitiu a definição adequada de amostras de treinamento e teste para o processo de classificação supervisionada.

5.5.4 Classificação do uso e cobertura do solo

A interpretação do uso do solo em diferentes classes está relacionado às alterações do ambiente por atividades antrópicas e na vegetação natural. Dessa forma, para representar as classes de agricultura, solo exposto, campestre, água, floresta e cultura perene quanto à vulnerabilidade potencial, foram consideradas as variações espectrais que afetam no resultado da classificação. Nesse sentido, devido a haver diferenças espectrais em uma mesma classe como estágios de culturas agrícolas, maior e menor presença de sedimentos dispersos nos corpos d'água, umidade presente no solo e vegetação, que podem ser ocasionadas tanto pelo clima como pela forma de exploração, foram definidas subclasses para reduzir a variância espectral das amostras e conseqüentemente a confusão entre classes.

A coleta de amostras para cada classe teve como prioridade os pontos situados na bacia hidrográfica, sendo que a identificação dos alvos teve como auxílio as imagens de alta resolução do Google Earth com data mais próxima à imagem de referência, conforme ilustra a Figura 15.

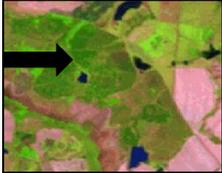
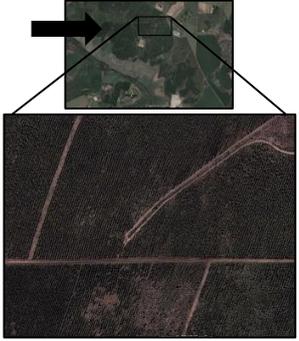
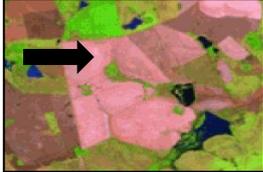
Classe	Subclasses	Parâmetros observados	Imagem Landsat 5/TM	Imagem Google Earth
Floresta	Floresta1 Floresta2	Cor verde claro a verde escuro; textura rugosa; forma irregular.	 02 e 11/11/2011	 11/06/2011
Cultura Perene		Cor verde escuro; textura rugosa; forma irregular.	 02 e 11/11/2011	 12/05/2011
Agricultura	Agricultura1 Agricultura2 Agricultura3 Agricultura4	Cor verde claro a verde musgo; textura lisa; forma poligonal	 02 e 11/11/2011	 25/08/2011
Campestre	Campestre1 Campestre2 Campestre3	Cor verde oliva; textura média lisa; forma poligonal	 02 e 11/11/2011	 05/09/2011
Solo Exposto	Solo1 Solo2 Solo3	Cor magenta; textura lisa; forma poligonal	 02 e 11/11/2011	 12/05/2011
Água	Água1 Água2	Cor azul claro a azul escuro; textura lisa; forma poligonal	 02 e 11/11/2011	 18/11/2011

Figura 15 – Representação das classes amostrais para as imagens *Landsat5/TM* e as respectivas áreas em imagens *GeoEye* visualizadas no *Google Earth*.

A Tabela 6 apresenta a matriz de confusão resultante do processo de classificação com limiar de aceitação de 95%. A avaliação das amostras de aquisição apresentou um desempenho geral de 97,36%, resultado satisfatório para o trabalho, considerando que este valor representa os pontos classificados corretamente. A confusão média foi de 1,02%, e a abstenção média (sem classificar) indicou 1,62% das amostras coletadas. A subclasse floresta1 apresentou desempenho inferior (87,75%) devido à dificuldade de coletar amostras representativas de *pixels* que não sofrem interferência das classes de agricultura e corpos d'água, ou seja, as amostras apresentam uma mistura espectral de diferentes alvos. Da mesma forma, a subclasse campestre1 (68,55%) apresentou confusão entre as demais subclasses de campestre, porém este erro além de previsível não prejudica a classificação, visto que os resultados foram integrados em uma classe única definida como campestre.

A imagem resultante desta classificação permitiu a discriminação de todas as classes. No entanto, em alguns casos houve a necessidade de corrigir pequenas regiões não classificadas ou pertencentes a outras classes, por meio do processo manual de edição matricial. As dificuldades de classificação ocorreram principalmente entre as classes de floresta e agricultura, e também a classe campestre com agricultura devido à similaridade espectral em algumas áreas. Estas classes também sofreram com a influência da água, por alterar a resposta espectral sendo este efeito percebido em área alagadas e às margens da hidrografia.

5.5.5 Mapa de vegetação e do uso e cobertura do solo

Para definir a vulnerabilidade a vegetação remanescente foi considerada tanto a classificação fitogeográfica quanto à forma de uso. Desse modo, a vegetação característica do bioma pampa denominada Savana Estépica, recebeu a classificação de pastagem devido a esta vegetação servir como alimento para o gado, além dessa forma de uso ter o maior potencial de causar a perda de solo caso a atividade pecuária seja conduzida inadequadamente.

Tabela 6 – Matriz de classificação Battacharya com limiar de aceitação de 95% para as classes de amostras de teste.

	Flor1	Flor2	Cult1	Agric1	Agric2	Agric3	Agric4	Camp1	Camp2	Camp3	Solo1	Solo2	Solo3	Agua1	Agua2	Rejeição
Flor1	87,75%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,48%
Flor2	-	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cult1	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agric1	-	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agric2	-	-	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agric3	-	-	-	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agric4	-	-	-	-	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Camp1	-	-	-	-	-	-	-	68,55%	26,02%	5,43%	-	-	-	-	-	-
Camp2	-	-	-	-	-	-	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	-
Camp3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100%	-	-	-	-	-	-
Solo1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100%	-	-	-	-	-
Solo2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100%	-	-	-	-
Solo3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100%	-	-	-
Agua1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100%	-	-
Agua2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100%	-

Onde: Flor1= Floresta 1; Flor2= Floresta 2; Cult1= Cultura perene; Agric1= Agricultura 1; Agric2= Agricultura 2; Agric3= Agricultura 3; Agric4= Agricultura 4; Camp1 = Campestre 1 ; Camp2 = Campestre2; Camp3 = Campestre3; Solo1 = Solo exposto1; Solo2= Solo exposto 2; Agua1 = corpo d'água1; Agua2= Corpo d'água2.

Analisando a vegetação da bacia hidrográfica do Rio Icamaguã, foi identificado que sobre a maior parte do território (56%), predomina a classe campestre, fato devido às restrições a atividades agrícolas como a baixa fertilidade e a acidez dos solos. Conforme destacado por Pillar et. al. (2009), além do valor cultural, a ecologia destas pastagens está associada à atividade humana e ao manejo dos animais.

A classe floresta identificada como estacional decidual está presente em 13% da área, sendo encontradas predominantemente as margens dos cursos d'água. A classe água identificada em 1,6% da superfície demonstra não haver grandes áreas alagadas, o que é característica desta região. Contudo, este valor pode sofrer influência do clima e do período observado, visto que as atividades agrícolas a jusante da Bacia envolvem irrigação por inundação.

As classes de uso do solo que causaram alterações no ambiente devido a ação do homem representam conforme a Figura 16, pelo menos 28% de toda a área de estudo, o que propicia o incremento do processo de morfogênese sobre a região. Sendo as classes agricultura e solo exposto, as formas de uso potencialmente mais danosas à perda de solo, devido aos manejos possibilitarem a redução ou extinção da cobertura vegetal, estas classes ocorrem com maior frequência nos limites da bacia o que indica uma pressão para a mudança no uso. A classe cultura perene que representa as plantações arbóreas com fins comerciais, tem pouca expressividade (0,06% área da bacia) sendo encontrada em pontos esparsos a jusante da bacia.

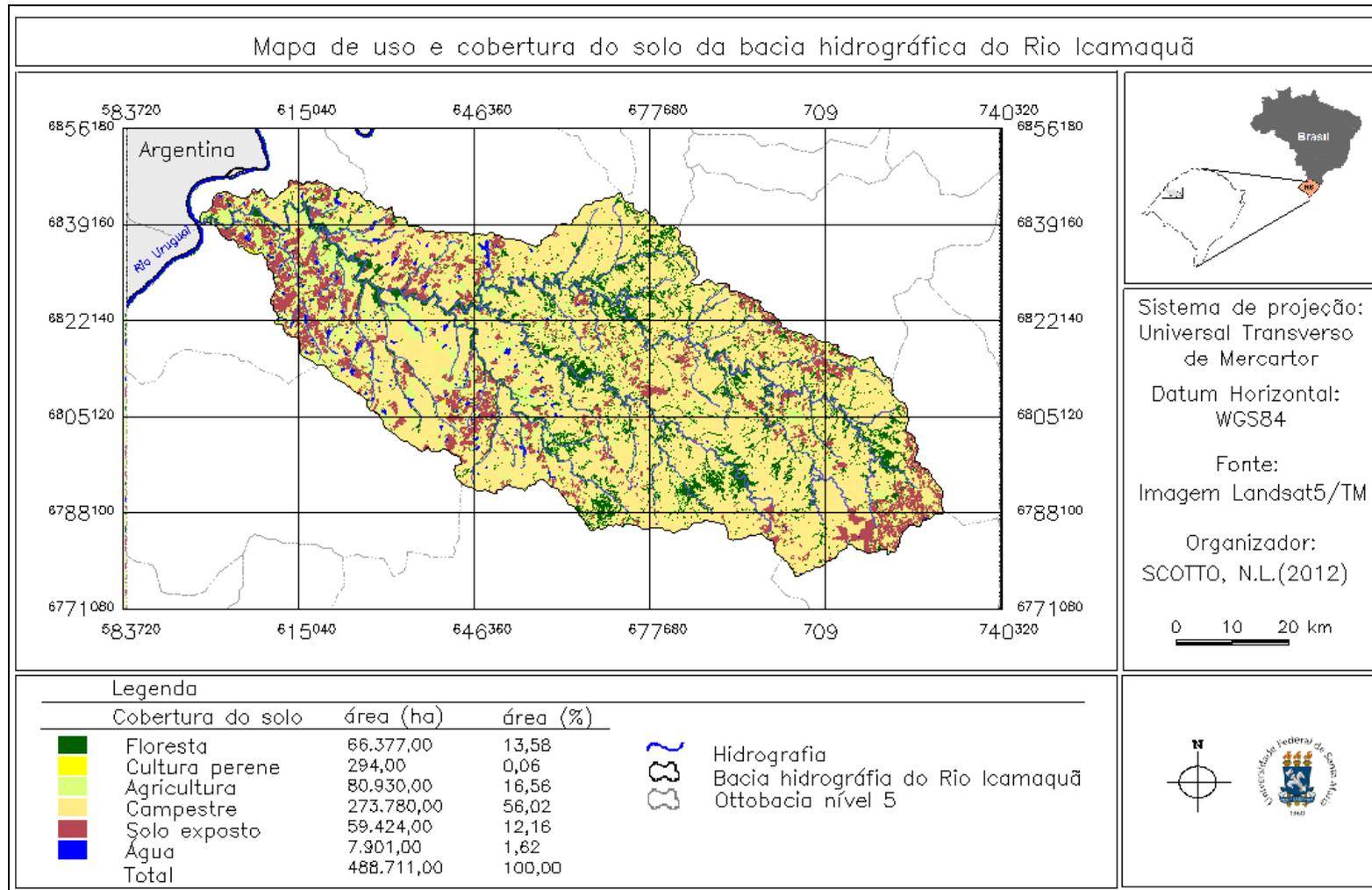


Figura 16 – Distribuição das classe de uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Icamaquã.

Dessa classificação foi possível constatar que a bacia hidrográfica do Rio Icamaquã apresenta um bom estado de preservação, visto que pelo menos 72% da área é coberta por vegetação nativa, onde podem ser encontradas nascentes e cursos d'água ainda preservados.

Para a vulnerabilidade à perda de solo é considerada a densidade da cobertura vegetal e a atividade antrópica como importantes fatores sobre o qual é possível controlar e monitorar sua intensidade. Nesta avaliação em particular, a classe água recebeu o valor zero por se tratar de um tema consolidado, que distingue-se por captar sedimentos provindos do entorno, já para as demais classes foram atribuídos valores de situação intermediária a vulnerável conforme a Tabela 7

Tabela 7 – Valores de estabilidade/vulnerabilidade da vegetação e uso do solo.

Classe	Ponderação de estabilidade/vulnerabilidade
Floresta	2,2
Cultura Perene	2,9
Agricultura	3,0
Campestre	2,8
Solo exposto	3,0
Água	0,0

5.6 Unidade Territorial Básica (UTB)

O resultado dos vetores gerados a partir do processo de segmentação conforme ilustra a Figura 17, mostrou um nível de detalhamento compatível com a escala de trabalho ao definir os limiares de área igual a 100 pixel's e similaridade igual 15. Áreas com limites equivocados ou limite menor que o definido no limiar de área como corpos d'água, solo exposto e agricultura foram editadas manualmente, o que resultou em 38.912 polígonos para a área do projeto, sendo que 13.930 destes estão localizados no interior da bacia hidrográfica

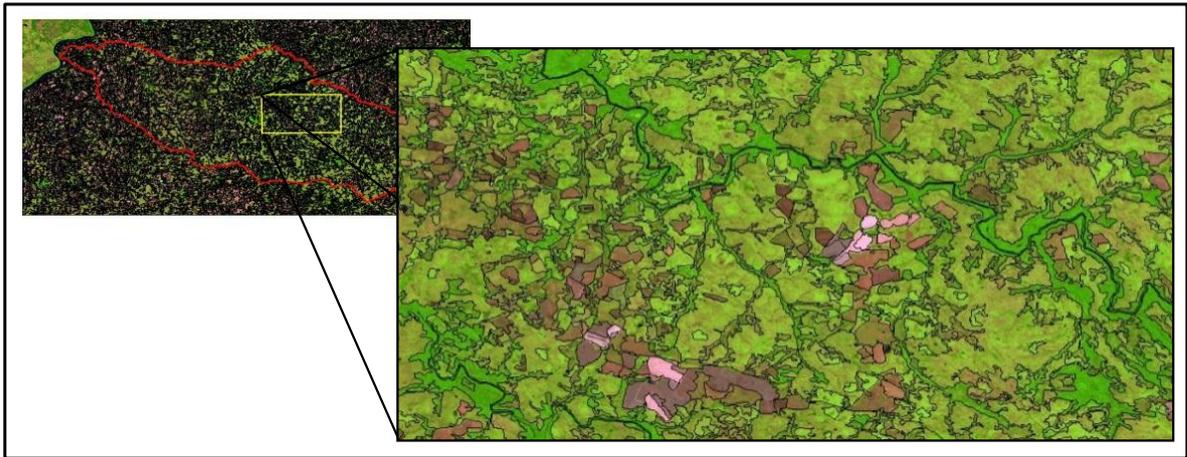


Figura 17 – Delimitação das UTB's.

O grande volume de informação gerado automaticamente permitiu alcançar uma melhor caracterização da área, considerando que a abrangência da bacia demanda um processo de delimitação das UTB's de uma forma eficiente e precisa.

5.7 Análise de vulnerabilidade à perda de solos

A composição da carta de vulnerabilidade natural a perda de solo é constituída de 21 classes que variam os valores de 1,0 a 3,0 conforme o grau de estabilidade/vulnerabilidade. Nesse sentido, para gerar a carta foi realizada a ponderação dos temas de geologia, geomorfologia, pedologia, clima e uso e cobertura. Com esses temas e seus respectivos valores de ponderação para cada classes foi obtida a integração das informações através do cálculo da média aritmética e posterior fatiamento em LEGAL (código em Apêndice). Desta forma, foi obtido o valor de ponderação e a respectiva classe de vulnerabilidade/estabilidade para cada UTB.

Esta avaliação permitiu identificar a classe predominante de vulnerabilidade na bacia do Rio Icamaguã, estando definida no intervalo de classe moderadamente vulnerável1 (Tabela 8), representando 47% da área. Abrange o Planalto de Santo Ângelo, Planalto de Uruguaiana e Planalto dos Campos Gerais, e apresenta

amplitude interfluvial que varia de 750 a 3000m, em uma altimetria que parte dos valores de 40 a 80m até mais de 2000m. A declividade dessa área está concentrada entre zero e cinco graus.

Tabela 8 – Quantificação das classes de vulnerabilidade presentes na área de estudo.

Classe	Área (ha)	Área (%)
Vulnerável1	223	0,0456
Moderadamente vulnerável	4.048	0.8283
Moderadamente vulnerável3	9.367	1,9166
Moderadamente vulnerável2	44.398	9,0847
Moderadamente vulnerável1	229.894	47,0409
Medianamente vulnerável	151.628	31,0261
Medianamente vulnerável/ estável	27.192	5,5640
Medianamente estável e ou vulnerável	13.971	2,8587
Medianamente estável/ vulnerável	1.964	0,4019
Medianamente estável	1.675	0,3427
Moderadamente estável3	358	0,0733
Moderadamente estável2	3.797	0,7769
Moderadamente estável1	141	0,0289
Moderadamente estável	56	0,0115
Total:	488.711	100

As classes com situação intermediária de fragilidade natural ocorrem devido às variações de contribuição dos temas não apresentar valores altos de vulnerabilidade. Com exceção do tema clima, os demais temas tendem a apresentar condições de moderadamente vulnerável a estável.

As poucas áreas de maior vulnerabilidade estão localizadas próximas à rede de drenagem e a jusante da Bacia (Figura 18), indicando ser uma área sensivelmente frágil quanto ao clima, geologia, pedologia e cobertura do solo.

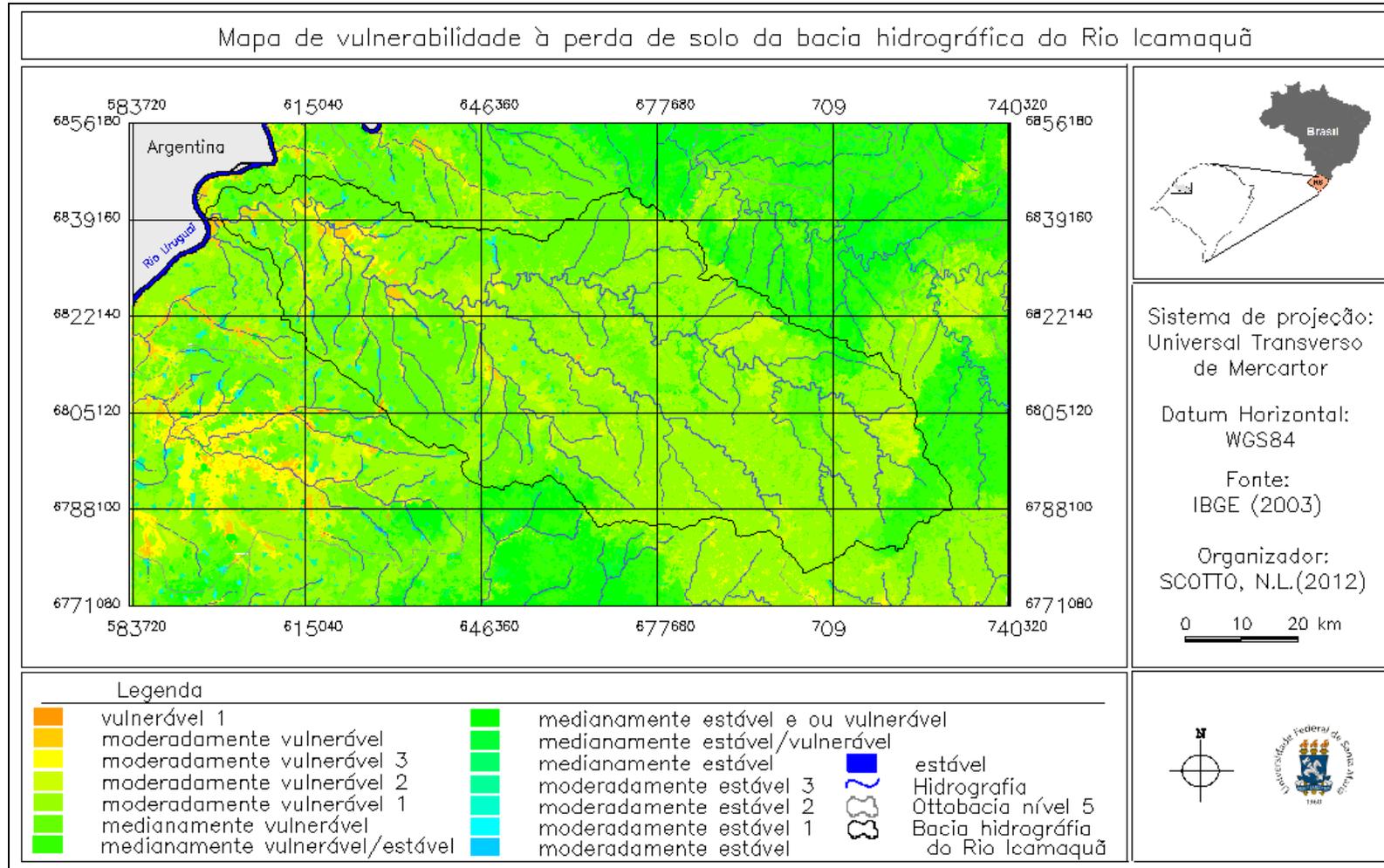


Figura 18 – Distribuição das classes de vulnerabilidade à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã.

A integração das informações nas UTB's no modelo Cadastral possibilitou a consulta de todas as avaliações geradas e associadas à Tabela de Atributos (Figura 19) além de possibilitar a seleção informações de acordo com o interesse.

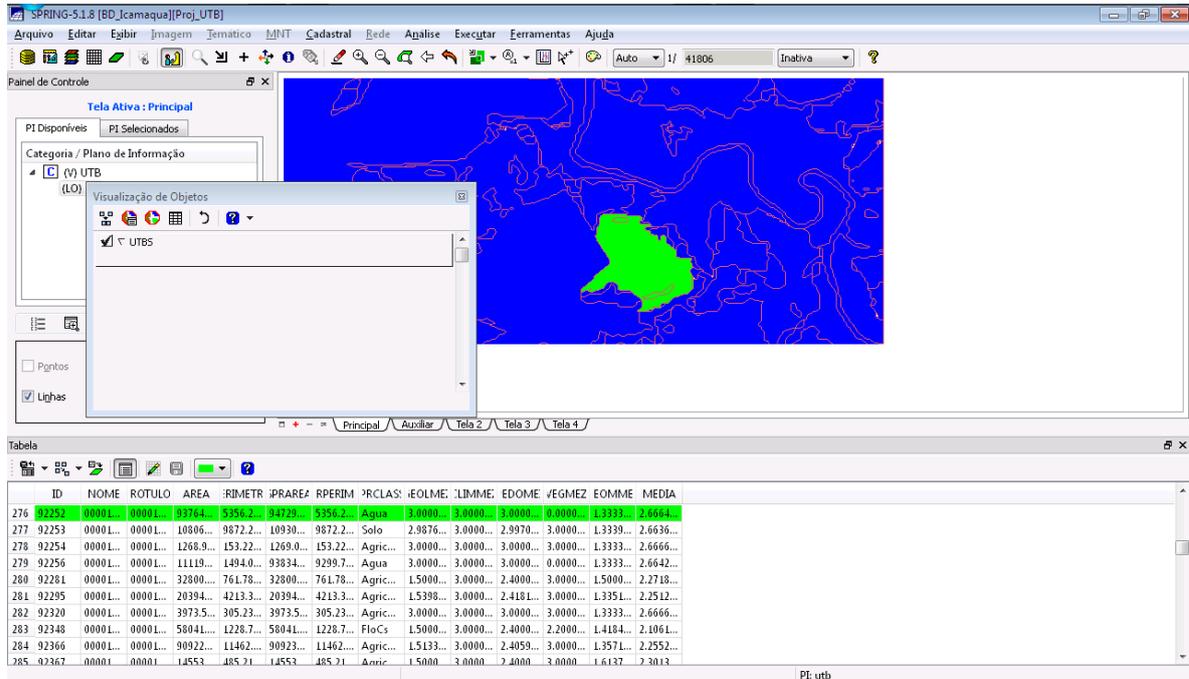


Figura 19 – Consulta de informações das UTB's.

Dessa forma, a análise das UTB's possibilitou relacionar as classes de vulnerabilidade com as classes de uso do solo, e identificar a distribuição das áreas vulneráveis à perda de solo. A classe de maior vulnerabilidade (*vulnerabilidade1*) da bacia hidrográfica está distribuída principalmente sobre as áreas com solo exposto e agricultura, embora as áreas sejam pouco significativas quando comparadas a extensão da área de estudo.

A situação predominante definida como de moderada vulnerabilidade, abrange as classes solo exposto, agricultura, floresta e com maior participação a classe campestre. Sendo observado que a distribuição mais relevante destas classes estão definidas entre as moderadamente e medianamente vulnerável. Para as áreas classificadas como medianamente vulnerável e estável, as classes Floresta,

Água são mais frequentes em situações de estabilidade. Embora a agricultura represente um risco a perda de solo, é a classe mais significativa na classificação *estável* (Tabela 9), isto demonstra a importância da análise conjunta de informações para definir áreas prioritárias a preservação da paisagem.

Tabela 9 – Distribuição das áreas vulneráveis à perda de solo conforme as classes de uso e cobertura do solo.

Legenda	Classes de uso e cobertura do solo (ha)						Total
	Floresta	Cultura perene	Agricultura	Campestre	Solo exposto	Água	
Vulnerável1	-	-	95	6	110	34	245
Mod. vulnerável	6	-	1793	1108	1172	565	4644
Mod. vulnerável3	2497	-	3366	183	1153	26	7225
Mod.vulnerável2	3651	-	26542	13579	9401	24	53197
Mod. vulnerável1	24908	-	20982	180706	16900	18	243514
Med. vulnerável	26384	44	21894	73345	20802	42	142511
Med. vul./ est.	5823	237	4015	2923	9467	62	22527
Med. est. e ou vul.	1796	-	1003	2618	418	930	6765
Med. est./ vul.	1390	-	-	-	-	313	1703
Med. estável	-	-	-	-	-	1604	1604
Mod. estável3	-	-	-	-	-	1797	1797
Mod. estável2	-	-	-	-	-	2376	2376
Mod. estável1	-	-	-	-	-	37	37
Mod. estável	-	-	-	-	-	56	56
Estável	28	-	243	57	6	5	339

Onde: Mod. vulnerável = moderadamente vulnerável; Mod.vulnerável3 = moderadamente vulnerável3; Mod.vulnerável2 = moderadamente vulnerável 2; Mod. vulnerável1 = moderadamente vulnerável 1; Med. vulnerável = medianamente vulnerável; Med. vul./est. = medianamente vulnerável/estável; Med. est. e ou vul. = medianamente estável e ou vulnerável; Med. est./vul. = medianamente estável/vulnerável; Med. estável = medianamente estável; Mod. estável3 = moderadamente estável 3; Mod. estável 2 = moderadamente estável 2; Mod. estável1 = moderadamente estável 1; Mod. estável= moderadamente estável.

CONCLUSÕES

Todas as informações obtidas neste trabalho são de grande importância para órgãos gestores, pois dão suporte quantitativo e qualitativo sobre as condições atuais da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã.

Por ser uma área representativa do bioma Pampa, o bom estado de conservação dentro da Bacia foi um resultado interessante, mesmo havendo uma ocupação sem prévio planejamento, a vulnerabilidade à perda de solo segundo a metodologia de Crepani et. al. (2001), demonstrou que é uma área que com políticas de conservação e preservação é possível manter a qualidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã.

A avaliação da vulnerabilidade natural à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã apresentou o predomínio das classes moderadamente vulnerável e medianamente vulnerável ou estável, distribuídas principalmente sobre as áreas de vegetação nativa.

Com base nos resultados alcançados pode-se concluir que as tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento contribuem de forma eficiente para avaliação ambiental. Nesse sentido a metodologia adotada possibilitou a compreensão dos processos formadores da paisagem, assim como as forma de ocupação do território da bacia hidrográfica do Rio Icamaquã.

A estruturação de um banco de dados através de arquivos digitais, possibilitou organizar as informações dos modelos cadastral, temático, numérico e imagem de modo a atender as necessidades de consulta, edição e integração dos temas. Desse modo o desempenho do software SPRING 5.1.8 foi satisfatório para edição, classificação, ponderação e avaliação dos temas.

As técnicas de processamento digital de imagens foram de grande importância para a para interpretação e classificação do uso e cobertura do solo, sobretudo a técnica de realce de contraste, que contribui de forma a melhor discriminar as feições dos alvos.

A metodologia utilizada para análise da vulnerabilidade à perda de solo é compatível com a caracterização regional de bacias hidrográficas, sendo que o produto desta avaliação pode servir com subsídio ao planejamento e ordenamento territorial.

Como medidas de controle de áreas de maior fragilidade ambiental é recomendado:

- A preservação e recomposição da mata ciliar e da vegetação das encostas de morros;
- Incentivar os produtores rurais a adotarem boas práticas agropecuárias;
- Vedar as áreas de voçorocas e plantar espécies locais;
- Evitar a superlotação do gado nas pastagens.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Base de dados georreferenciadas**. Brasília – DF. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/default.asp> Acesso em: 20 Out. 2012.

BECKER, B.K; EGLER, C.A.G.. **Detalhamento da Metodologia para execução do Zonemaneto Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. Brasília: SAE – Secretaria de Assuntos Estratégicos/MMA – Ministério do Meio Ambiente. 1996.

BEHLING, H. et. al. Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário Tardio. In: PILLAR, V.D.P et. al. (Ed.). **Campos Sulinos**. Brasília, DF, 2009.

BENCKE, G.A. Diversidade e conservação da fauna dos Campos do Sul do Brasil. In: PILLAR, V.D.P et. al. (Ed.). **Campos Sulinos**. Brasília, 2009.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.. **Conservação do solo**. 4 ed. São Paulo: Ícone, 1999.

BOLDRINI, L.L. A flora dos Campos do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V.D.P et. al. (Ed.). **Campos Sulinos**. Brasília, 2009.

BOLDRINI, L.L.. et.al. **Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica**. Porto Alegre: Palotti, 2010. 64 p. il.

BRASIL. Decreto-Lei 94.076, de 05 de julho de 1987. Institui o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas e dá outras providências. Brasília: 1987.2p.

CÂMARA, G; MEDEIROS, J.S.(Org.). **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. 2 ed. São José dos Campos: INPE, 1998.

CERMIN, G.; PÉRICO, E.; SCHNEIDER, V.E; FINOTTI, A.R. **Proposta metodológica para a elaboração de um zoneamento ambiental**. Caxias do Sul, Revista Brasileira de Cartografia, 2012.

CREPANI, E. et.al. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial..** São José do Campos: INPE, 2001.

CREPANI, E.et.al.. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico..** São José do Campos: INPE, 1996.

CREPANI, E; MEDEIROS, J.S; PALMEIRA, A.F. **Intencidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo.** São José dos Campos: INPE, 2004. 29p.

CRESTANA, S.; MINOTI, R.T; NEVES, F.F, Modelagem e simulação aplicadas à avaliação dos impactos da perda de solo e dos dejetos de suínos na qualidade da água de microbacias. In.:GOMES, M.A.F; PESSOA, P.C.P.Y. editores técnicos. **Planejamento ambiental do espaço rural com ênfase para microbacias hidrográficas.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 407p.

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre,2008.

DIAS,R.D.;MATTOS,J.T. Zoneamento ecológico-econômico no Tocantins: comparação de resultados usando um mesmo método em diferentes datas. In.: **Revista Brasileira de Cartografia.** Rio de Janeiro, n 61/04 de 2009. Disponível em:< http://www.rbc.ufrj.br/_pdf_61_2009/61_04_5.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2012.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais.** [S.l.] Oficina de Textos, 2008. 278 p.

FLORENZANO, T.G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e técnicas atuais.** Ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2008.

FLORIANO, E.P. **Planejamento ambiental.** Caderno didático nº6. 1º ed. ANORGS. Santa Rosa, 2004. 54p.

GOMES, A.R. **Análise da vulnerabilidade à perda de solo em região semi-árida utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento** – área piloto de Parnamirim (PE). 2000. 160 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

GOMES, M.A.F. Manejo de bacias hidrográficas em áreas de afloramento do Aquífero Guarani: subsídios à gestão de recursos hídricos subterrâneos. In.:GOMES, M.A.F; PESSOA, P.C.P.Y. editores técnicos. **Planejamento ambiental do espaço rural com ênfase para microbacias hidrográficas.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 407p.

HASENACK, H.; WEBER, E. (org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul** - escala 1:50.000. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM (Série Geoprocessamento, 3).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de clima do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. Escala 1:250.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Folha São Borja. SH.21-X-A. [S.l.]: 2003a. (Mapa Topográfico. Escala 1:250.000).

_____. Folha Alegrete. SH.21-X-C. [S.l.]: 2003b. (Mapa Topográfico. Escala 1:250.000).

_____. Folha Santiago. SH.21-X-D. [S.l.]: 2003c. (Mapa Topográfico. Escala 1:250.000).

_____. Folha Santo Ângelo. SH.21-X-B. [S.l.]: 2003d. (Mapa Topográfico. Escala 1:250.000).

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Legal. In.: **SPRING Ajuda On-line**. [S.l.]: INPE, 2006.

LAGO, W. J. S.; ARAÚJO, E. P.; TELES, M. G. L. **Vulnerabilidade natural à erosão na Região do Baixo Parnaíba-Ma**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3975-3980. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.23.18>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

LIMA, D., REMPEL, C., ECKHARDT, R.. **Análise ambiental da bacia hidrográfica do rio Taquari** – proposta de zoneamento ambiental. GEOGRAFIA (Londrina), Londrina, 16, out. 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6572/5966>>. Acesso em: 11 Out. 2012.

MADUREIRA F., J.B.; ATENCIO, D.; MCREATH, I. Minerais e rochas: constituintes da terra sólida. In.: TEIXEIRA, W., et.al. **Decifrando a Terra**. 2 ed. 2009

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Áreas prioritárias a conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira: atualização – Portaria MMA nº 9, 23 de janeiro de 2007. Brasília: MMA, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Diretrizes Metodológicas para o Zoneamento Ecológico-Econômico no Brasil. Parte 3. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=28&idConteudo=8219>>. Acesso em: 12 jan. 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Florestas do Brasil em resumo**. Brasília, DF, 2009. 121p.

MONTAÑO, M. **Os recursos hídricos e o zoneamento ambiental: o caso do município de São Carlos (SP)**. 2002. 129p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2002.

NARDIN, D. **Zoneamento geoambiental no oete do Rio Grande do Sul: um estudo em bacias hidrográficas**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

OVERBECK, G.E. et.al. Os campos sulinos: um bioma negligenciado. In: PILLAR, V.D.P et. al. (Ed.). **Campos Sulinos**. Brasília, DF, 2009.

PAIM, N.R. **Remanescentes de vegetação dos Campos Sulinos (do Pampa)**. Porto Alegre: UFRGS/ EMBRAPA, 2007.

PALMEIRA, A.F. **Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicadas à gestão do território do município de Paragominas**. 2004.270 f.Tese (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

PILLAR, V. P [et. al.]. **Campos Sulinos**. Conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília: MMA, 2009.

PIRES, J.S.R; SANTOS, J.E.; DEL PRETTE, M.E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. SCHIAVETTI, A; CAMARGO, A.F.M. (Edit.). In.: **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. 2 ed. Ed. Editus, Ilheus 2008. 293p

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. Bacia hidrográfica dos rios Butuí – Icamaquã. Porto Alegre. 2010. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/>>. Acesso em: 15 jun 2012.

SILVA, J.S.V. **Estratégia metodológica para zonemanto ambiental: a experiência aplicada na bacia hidrográfica do Alto Rio Taquari**. Campinas: Embrapa informática Agropecuária, 2011.

SOUZA, G.F et.al. **Vulnerabilidade natural da paisagem em função das áreas de plantio de cana-de-açúcar**. Londrina, v. 19 n. 3. 2010. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/>. Acesso em: 28 jan 2012.

SOUZA, G.T.; BRICALLI, L.L.; MORETO, M.A.; LIMA, S.; CALENTE, S. **Água: geopolítica internacional e proposta para um estudo integrado de bacias hidrográficas**. Revista do Departamento de Geografia da UFES, Vitória, junho, 2002.

THOMAS, B.. Proposta de zoneamento ambiental para o município de arroio do meio – RS. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, América do Norte, 24,

mar. 2012. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs-2.2.4/index.php/raega/article/view/26215/17485>. Acesso em: 12 Out. 2012.

TRICART, J.L.F. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE - SUPREN, 1977.

VALLES, G.F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados à geração de uma carta vulnerabilidade natural à perda do solo**. 1999. 161 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

VIEIRO, A.C.; SILVA, D.R.A.(Org.). **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2010.

WEBER, E.; HASENACK, H. (org.) **Base cartográfica digital do Rio Grande do Sul** - escala 1:250.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2007. 1 CD-ROM. (Série Geoprocessamento, 1).

APÊNDICE

Apêndice A – Programação LEGAL para ponderação do tema geomorfologia.

Ponderação do tema amplitude interfluvial.

```
{
Temático MapaInterfluvio ("GEOMORFOLOGIA1");
Digital InterfluvioPonderado ("Numerico");
Tabela TBNotasInterfluvio ( Ponderacao);
MapaInterfluvio = Recupere (Nome = "Interfluvio_Ajust");
InterfluvioPonderado = Novo (Nome = "Interfluvio_Pond_30", ResX = 30, ResY = 30,
Escala = 100000, Min = 0, Max = 4);
TBNotasInterfluvio = Novo (CategoriaIni = "GEOMORFOLOGIA1",
"<250": 3.0,
"250-750": 2.7,
"750-1250": 2.5,
"1250-2000": 2.0,
"2000-3000": 2.7,
"3000-5000": 1.3,
">5000":1.0);
InterfluvioPonderado = Pondere (MapaInterfluvio, TBNotasInterfluvio);
}
```

Ponderação do tema amplitude altimétrica

```
{
Temático MapaAltimetria ("GEOMORFOLOGIA2");
Digital AltimetriaPonderado ("Numerico");
Tabela TBNotasAltimetria ( Ponderacao);
MapaAltimetria = Recupere (Nome = "Altimetria_Ajust");
AltimetriaPonderado = Novo (Nome = "Altimetria_Pond_30", ResX = 30, ResY = 30,
Escala = 60000, Min = 0, Max = 4);
TBNotasAltimetria = Novo (CategoriaIni = "GEOMORFOLOGIA2",
"<20":1,
"20-40":1.3,
"40-80": 1.7,
"80-120": 2.0,
"120-160": 2.3,
"160-200": 2.7,
">200": 3.0);
AltimetriaPonderado = Pondere (MapaAltimetria, TBNotasAltimetria);
}
```

Ponderação do tema declividade.

```
{
Tematico MapaDeclividade ("GEOMORFOLOGIA3");
Digital DeclividadePonderado ("Numerico");
Tabela TBNotasDeclividade (Ponderacao);
MapaDeclividade = Recupere (Nome = "Declividade_Ajust");
DeclividadePonderado = Novo (Nome = "Declividade_Pond_30", ResX = 30,
ResY = 30, Escala = 100000, Min = 0, Max = 4);
TBNotasDeclividade = Novo (CategoriaIni = "GEOMORFOLOGIA3",
"<2":1.0,
"2-5":1.3,
"5-10": 1.7,
"10-20": 2.0,
"20-30": 2.3,
"30-50": 2.7,
">50 ": 3.0);
DeclividadePonderado = Pondere (MapaDeclividade, TBNotasDeclividade);
}
```

Integração dos mapas do tema geomorfologia.

```
{
Cadastral MapaUTB ("UTB");
Objeto utbs ("UTBS");
Digital InterfluvioPonderado ("Numerico");
Digital AltimetriaPonderado ("Numerico");
Digital DeclividadePonderado ("Numerico");
Digital GeomorfologiaPonderado ("Numerico");
GeomorfologiaPonderado = Novo (Nome = "Geomorfologia_Pond_30", ResX = 30,
ResY = 30, Escala = 100000, Min = 0, Max = 3);
MapaUTB = Recupere (Nome = "utb");
InterfluvioPonderado = Recupere (Nome = "Interfluvio_Pond_30");
AltimetriaPonderado = Recupere (Nome = "Altimetria_Pond_30");
DeclividadePonderado = Recupere (Nome = "Declividade_Pond_30");
GeomorfologiaPonderado = (InterfluvioPonderado + AltimetriaPonderado +
DeclividadePonderado)/3;
utbs. "GEOMMEZ" = Atualize (GeomorfologiaPonderado, utbs OnMap MapaUTB,
MedZ);
}
```

Apêndice B – Programação LEGAL para ponderação do tema geologia.

```
{
Tematico MapaGeologia ("GEOLOGIA");
Digital GeologiaPonderado ("Numerico");
Tabela TBNotasGeologia (Ponderacao);
MapaGeologia = Recupere (Nome = "Geol_Ajust");
GeologiaPonderado = Novo (Nome = "Geologia_Pond_30", ResX = 30, ResY = 30,
Escala = 100000, Min = 0, Max = 4);
TBNotasGeologia = Novo ( CategoriaIni = "GEOLOGIA",
"QHa": 3.0,
"JKsg": 1.5,
"JKsga": 1.5,
"Qt": 2.4,
GeologiaPonderado = Pondere (MapaGeologia, TBNotasGeologia);
}
```

```
{
Objeto utbs ("UTBS");
Cadastral MapaUTB ("UTB");
Digital GeologiaPonderado ("Numerico");
MapaUTB = Recupere (Nome = "utb");
GeologiaPonderado = Recupere (Nome = "Geologia_Pond_30");
utbs. "GEOLMEZ" = Atualize (GeologiaPonderado, utbs OnMap MapaUTB, MedZ);
}
```

Apêndice C – Programação LEGAL para ponderação do tema pedologia.

```

{
Temático MapaSolo ("PEDOLOGIA");
Cadastral MapaUTB ("UTB");
Objeto utbs ("UTBS");
Digital SoloPonderado ("Numerico");
Tabela TBNotasSolo (Ponderacao);
MapaSolo = Recupere (Nome = "Solos_Ajust");
MapaUTB = Recupere (Nome = "utb");
SoloPonderado = Novo (Nome = "Solo_Pond_30", ResX = 30, ResY = 30,
Escala = 100000, Min = 0, Max = 3);
TBNotasSolo = Novo (CategoriaIni = "PEDOLOGIA",
"BT6": 1.5,
"Ge": 3.0,
"LEa1": 1.2,
"LEa2": 1.1,
"LEa3": 1.2,
"LRd2": 1.2,
"PEa1": 2.4,
"PLe1": 2.0,
"PTd1": 3.0,
"PTd2": 2.6,
"Rd1": 3.0,
"Rd2": 3.0,
"Re2": 3.0,
"Re6": 3.0,
"Re7": 2.7,
"Re8": 2.6,
"Re10": 2.6,
"TRe1": 2.2,
"TRe2": 2.4,
"TRe3": 2.0,
"V3": 3.0);SoloPonderado = Pondere (MapaSolo, TBNotasSolo);
}

```

```

{
Cadastral MapaUTB ("UTB");
Objeto utbs ("UTBS");
Digital SoloPonderado ("Numerico");
MapaUTB = Recupere (Nome = "utb");
SoloPonderado = Recupere (Nome = "Solo_Pond_30");
utbs. "PEDOMEZ" = Atualize (SoloPonderado, utbs OnMap MapaUTB, MedZ);
}

```

Apêndice D – Programação LEGAL para ponderação do tema clima.

```

{
Tematico MapaClima ("CLIMA");
Cadastral MapaUTB ("UTB");
Objeto utbs ("UTBS");
Digital ClimaPonderado ("Numerico");
Tabela TBNotasClima (Ponderacao);
MapaClima = Recupere (Nome = "IP_Ajust");
MapaUTB = Recupere (Nome = "utb");
ClimaPonderado = Novo (Nome = "Clima_Pond_30", ResX = 30, ResY = 30,
Escala = 100000, Min = 0, Max = 3);
TBNotasClima = Novo (CategoriaIni = "CLIMA",
"> 525": 3.0);
ClimaPonderado = Pondere (MapaClima, TBNotasClima);
}

```

```

{
Cadastral MapaUTB ("UTB");
Objeto utbs ("UTBS");
Digital ClimaPonderado ("Numerico");
ClimaPonderado = Recupere (Nome = "Clima_Pond_30");
MapaUTB = Recupere (Nome = "utb");
utbs. "CLIMMEZ" = Atualize (ClimaPonderado, utbs OnMap MapaUTB, MedZ);
}

```

Apêndice E – Programação LEGAL para ponderação do tema vegetação e uso do solo.

```
{
Tematico MapaVegetacao ("USO_VEG");
Cadastral MapaUTB ("UTB");
Objeto utbs ("UTBS");
Digital VegetacaoPonderado ("Numerico");
Tabela TBNotasVegetacao (Ponderacao);
MapaVegetacao = Recupere (Nome = "UsoVeg_Ajust");
MapaUTB = Recupere (Nome = "utb");
VegetacaoPonderado = Novo (Nome = "Vegetacao_Pond_30", ResX = 30,
ResY = 30, Escala = 100000, Min = 0, Max = 3);
TBNotasVegetacao = Novo (CategoriaIni = "USO_VEG",
"Floresta": 2.2,
"Agricultura": 3,
"Solo": 3,
"Campestre": 2.8,
"Cultura_Perene": 2.9,
"Agua": 0);
VegetacaoPonderado = Pondere (MapaVegetacao, TBNotasVegetacao);
}
```

```
{
Objeto utbs ("UTBS");
Cadastral MapaUTB ("UTB");
Digital VegetacaoPonderado ("Numerico");
MapaUTB = Recupere (Nome = "utb");
VegetacaoPonderado= Recupere (Nome = "Vegetacao_Pond_30");
utbs. "VEGMEZ" = Atualize (VegetacaoPonderado, utbs OnMap MapaUTB, MedZ);
}
```

Apêndice F– Programação LEGAL para avaliação de vulnerabilidade à perda de solo.

Integração dos mapas

```
{
Digital SoloPonderado ("Numerico");
Digital GeologiaPonderado ("Numerico");
Digital VegetacaoPonderado ("Numerico");
Digital GeomorfologiaPonderado ("Numerico");
Digital ClimaPonderado ("Numerico");
Digital VulnerabilidadeNumerica ("Numerico");
Cadastral MapaUTB ("UTB");
Objeto utbs ("UTBS");
VulnerabilidadeNumerica = Novo (Nome = "vulnerabilidade", ResX = 30, ResY = 30,
Escala = 100000);
SoloPonderado = Recupere (Nome = "Solo_Pond_30");
GeologiaPonderado = Recupere (Nome = "Geologia_Pond_30");
VegetacaoPonderado = Recupere (Nome = "Vegetacao_Pond_30");
ClimaPonderado = Recupere (Nome = "Clima_Pond_30");
GeomorfologiaPonderado = Recupere (Nome = "Geomorfologia_Pond_30");
MapaUTB = Recupere (Nome = "utb");
VulnerabilidadeNumerica = (GeologiaPonderado + GeomorfologiaPonderado +
SoloPonderado + VegetacaoPonderado + ClimaPonderado)/5;
utbs. "MEDIA" = Atualize (VulnerabilidadeNumerica, utbs OnMap MapaUTB,
MedZ);
}
```

```
{
Objeto utbs ("UTBS");
Cadastral MapaUTB ("UTB");
Digital media ("Numerico");
MapaUTB = Recupere (Nome = "utb");
media = Novo (Nome = "Media_Pontual_utb", ResX = 30, ResY = 30,
Escala = 100000);
media = Espacialize (utbs. "MEDIA" OnMap MapaUTB);
}
```

Fatiamento

```

{
Digital VulnerabilidadeNumerica ("Numerico");
Tematico VulnerabilidadeTematica ("Media_Fatia");
Tabela TBVulnerabilidade (Fatiamento);
VulnerabilidadeNumerica = Recupere (Nome = "Media_Pontual_utb");
VulnerabilidadeTematica = Novo (Nome = "FatiaUTB", ResX = 30, ResY = 30,
Escala = 100000);
  TBVulnerabilidade = Novo (CategoriaFim = "Media_Fatia",
[1.0,1.0999] : "estavel",
[1.0999,1.1999] : "estavel1",
[1.0999,1.2999] : "estavel2",
[1.2999,1.3999] : "estavel3",
[1.3999,1.4999] : "moderadamente_estavel",
[1.4999,1.5999] : "moderadamente_estavel1",
[1.5999,1.6999] : "moderadamente_estavel2",
[1.6999,1.7999] : "moderadamente_estavel3",
[1.7999,1.8999] : "medianamente_estavel",
[1.8999,1.9999] : "medianamente_est_vul",
[1.9999,2.0999] : "medianamente_est_e_ou_vul",
[2.0999,2.1999] : "medianamente_vul_est",
[2.1999,2.2999] : "medianamente_vulneravel",
[2.2999,2.3999] : "moderadamente_vul1",
[2.3999,2.4999] : "moderadamente_vul2",
[2.4999,2.5999] : "moderadamente_vul3",
[2.5999,2.6999] : "moderadamente_vul",
[2.6999,2.7999] : "vulneravel1",
[2.7999,2.8999] : "vulneravel2",
[2.8999,2.9999] : "vulneravel3",
[2.9999,3.0] : "vulneravel");

VulnerabilidadeTematica = Fatie (VulnerabilidadeNumerica, TBVulnerabilidade);
}

```