

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto

**ESTUDO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À MOVIMENTOS
DE MASSA NA RODOVIA RS/486 – ROTA DO SOL**

MICHELE MONGUILHOTT

Orientadora: Profa. Dra. Dejanira Luderitz Saldanha

Co-Orientador: Prof. Dr. Sergio Florencio de Souza
Porto Alegre (RS), Agosto de 2008

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto como requisito
Para obtenção do Título de Mestre

Monguilhott, Michele

Estudo de áreas suscetíveis a movimentos de massa na rodovia RS/486 – Rota do Sol. / Michele Monguilhott. - Porto Alegre : UFRGS/CEPSRM, 2008.

[115 f.] il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Porto Alegre, RS - BR, 2008.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Vulnerabilidade. 3. Bioma. 4. Rodovias. 5. Geoprocessamento. I. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Renata Cristina Grun CRB 10/1113

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto

**ESTUDO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS DE MASSA
NA RODOVIA RS/486 – ROTA DO SOL**

MICHELE MONGUILHOTT
Geógrafa - UFRGS

Porto Alegre
Agosto de 2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto

ESTUDO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS DE MASSA NA RODOVIA
RS/486 – ROTA DO SOL

MICHELE MONGUILHOTT
Geógrafa – UFRGS

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de MESTRE EM
SENSORIAMENTO REMOTO e aprovada em sua forma final
pelo Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto.

Prof. Dra. Dejanira Luderitz Saldanha
CEPSRM – Orientador

Prof. Dr. Sergio Florencio de Souza
CEPSRM – Co-orientador

Prof. Dra. Silvia Beatriz Alves Rolim
Coordenadora do CPGSR

Prof. Dr. Sergio Florencio de Souza
Diretor do CEPSRM

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Lurindo A. Guasseli
IGEO/UFRGS

Dr. Carlos G. Tornquist
Fac. Agronomia/UFRGS

Dr. Manoel de Araujo Sousa Jr.
CRSPE/UFSM

OFERECIMENTO

À minha mãe, por não me deixar desistir, ao meu pai por entender o mundo de forma singular me contagiando a olhar e ver diferente, às minhas amadas irmãs pela força e contribuição fundamental, divido com vocês minha família, esse título.

AGRADECIMENTOS

À família, os amigos, os mestres, até um desconhecido todos de alguma forma participam diariamente de nossas conquistas.

Na hora dos agradecimentos sempre esquecemos alguém desde já agradeço a todos, até aos desconhecidos que trabalham nas gráficas, nos postos de gasolina e restaurantes e todos os serviços e servidores, motoristas da Universidade e técnico-administrativos que contribuíram para a realização desta pesquisa.

Os agradecimentos específicos vão para os Professores Drs. Dejanira Luderitz Saldanha e Sergio Florencio de Souza que fizeram mais do que orientar, acreditaram em sua orientanda.

As minhas irmãs Letícia, Milene e Mirele, em ordem alfabética para não causar ciúmes, a ticia por cuidar do Rudah, a Mi por repetidas vezes me dizer “tu tira de letra” e “não seja tão detalhista” e a Lele por aceitar meu acampamento e bagunça repetidas vezes durante meses seguidos, não reclamar do barulho do meu computador pré-histórico e entender minha ajuda silenciosa quando na verdade ela estava precisando de muita conversa.

As amigas, Rejane da Silva Vieira Schimitt e Márcia Fernandes, pelo chimarrão que dá para contar nos dedos quando conseguimos nos encontrar para conversarmos e por não desistirem apesar da minha ausência constante. Ao amigo Luiz Alberto Morelli por me fazer entender que tudo isto é parte de algo muito maior que este momento específico, pelos elogios seguidos de bronca com muita sutileza e carinho para não desequilibrar a mestranda. A Niamara pela contribuição com a língua portuguesa, fundamental para a conclusão dessa dissertação.

Aos meus pais e a minha mãe em especial por acreditar que educação é fundamental e que eu sou uma das quatro mulheres mais inteligentes da face da Terra, as outras três são minhas irmãs.

A DEUS pela energia, não só a eletromagnética, mais a energia pulsante em minhas veias, por me fazer integrar este circuito complicado que é a vida e principalmente por cuidar das pessoas que fazem parte dele e que são preciosas para mim. Obrigada!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização dos pontos críticos.....	21
Figura 2 – Localização das Principais obras de arte da rodovia RS/486 – Rota do Sol.....	23
Figura 3 – Mapa de exposição das vertentes.....	29
Figura 4 – Mapa de solos	31
Figura 5 – Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas....	34
Figura 6 – Perfil esquemático dos ambientes fitofisiográficos elaborado pela Dês. Ruth Coitinho Pinto do Depto. de Geodésia da UFRGS.....	40
Figura 7 – Detalhe da cicatriz provocada por movimento de massa próximo a uma residência, Itati/RS, nov/2007.....	42
Figura 8 - Cicatrizes encontradas na região provocadas por movimentos de massa, Maquiné/RS, nov/2007.....	42
Figura 9 – Localização da REDEC e imagem Spot.....	44
Figura 10 – Unidades de Conservação que integram a área de estudo.....	51
Figura 11 – Fluxo de detritos originados na parte superior da escarpa – Três Forquilhas/RS, nov/2007.....	55
Figura 12 – Imagem NDVI.....	69
Figura 13 – Mapa de localização dos pontos críticos na Rodovia RS/486.....	71
Figura 14 – Área de influência definida para a Rodovia RS/486.....	73
Figura 15 – Episódio Meteorológico Extremo registrado no Brasil em 03/03/2007.....	76
Figura 16 – Detalhe das margens destruídas pela enxurrada no Rio Três Forquilhas – Município de Três Forquilhas/RS, março/2007.....	77
Figura 17 – Altura de chuva (mm) – Histórico, adaptado de Gomes (1976)...	78
Figura 18 – Média anual de precipitação em (mm) para o Município de Três Forquilhas/RS.....	78
Figura 19 – Média anual de precipitação em (mm) para o Município de Terra de Areia/RS.....	79
Figura 20 – Extravasamento das margens e depósito de aluvião no Rio Três Forquilhas, nov/2007. Foto Michele Monguilhott.....	80
Figura 21 – Perfil esquemático de solos transportados, destaque para o trecho da Mata Paludosa na Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas.....	81
Figura 22 – Mapa geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas.....	85
Figura 23 – Perfil dos tipos de rochas e modelado dos vales fluviais.....	86
Figura 24 - Mapa de Vegetação da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas.....	88
Figura 25 – Mapa de Uso do Solo.....	90
Figura 26 – Grau de proteção associados ao uso do solo.....	92
Figura 27 – Mapa de Unidades Ecodinâmicas da Bacia Hidrográfica do Três Forquilhas – adaptado de Ross (1991).....	93
Figura 28 – Mapa de declividade.....	96
Figura 29 – Mapa de áreas onde a vegetação pode ser potencializadora a ocorrência de movimentos de massa na RS/486 (Varnes, 1978).....	98
Figura 30 – Mapa de vulnerabilidade a deslizamentos.....	102
Figura 31 – Uso do solo e áreas suscetíveis a movimentos de massa.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Obras de arte da RS/486 – Rota do Sol, adaptado de Nummer (2003).....	24
Tabela 2 - Formas de terreno da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas, adaptado de Nummer (2003).....	26
Tabela 3 – Características de cada unidade de vertente adaptado de (Dalrymple et al. , 1968 citado por Cristofolletti 1980).....	27
Tabela 4 – Bases cartográficas utilizadas.....	59
Tabela 5 – Escala de intensidade de importância dos critérios. Fonte: adaptado de Saaty (1990,1991) apud Granemann e Gartner (2007).....	64
Tabela 6 – Cicatrizes de deslizamentos na rodovia RS/486 – março e novembro/2007.....	72
Tabela 7 –.Potencial de erodibilidade dos tipos de solos face ao escoamento superficial das águas pluviais – adaptado de Ross (1991).....	82
Tabela 8 – Classe de solos e área de abrangência na Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas/RS.....	82
Tabela 9 – . Índices de Dissecção do Relevo – adaptado de Ross (1991)...	84
Tabela 10 – Graus de degradação da cobertura vegetal adaptado de SEMA(2007).....	89
Tabela 11 – Graus de proteção dados ao solo pela cobertura vegetal face à ação das águas pluviais – adaptado de Ross (1991).....	91
Tabela 12 – Relacionamento das variáveis e pontos suscetíveis a deslizamentos de massa na Rodovia RS/486.....	94
Tabela 13 – Índices resultantes de instabilidade potencial – adaptado de Ross (1991).....	95
Tabela 14 – Pesos atribuídos aos critérios/fatores determinados na Análise Hierárquica (AHP).....	100
Tabela 15 – Pesos atribuídos aos critérios/fatores - NDVI, Uso do solo, Declividade.....	100

LISTA DE SIGLAS

CEPSRM	Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
AHP	Análise Hierárquica de Apoio à Decisão Analytic Hierarchy Process
AL/RS	Assembléia Legislativa do RS
APP	Área de Preservação Permanente
CDS	Centro de Desenvolvimento Sustentável da UNB
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infra-estrutura de transporte
EIA	Estudos de Impacto Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAPERGS	Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção do Meio Ambiente
GPS	Global Position System
GRID	Estrutura de células (quadrículas) ou píxeis de igual tamanho
HRG	(High-Resolution Geometric)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, do Ministério do Meio Ambiente – MMA, da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e da Agência Nacional de Águas - ANA.
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MDE	Modelo Digital de Elevação
NDVI	Índice de Vegetação de Diferença Normalizada
ONU	Organização das Nações Unidas
PCMA	Projeto Mata Atlântica
PNDC	Plano Nacional de Defesa Civil
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SEDEC	Secretaria Nacional de Defesa Civil
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente
SHP	Arquivo Vetorial Shapefile
SIBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SINDEC	Sistema Nacional de Defesa Civil
SNDC	Secretaria Nacional de Defesa Civil
TIN	Rede Irregular de Triângulos
UNB	Universidade de Brasília
UNDRO	Organização das Nações Unidas de Socorro
UTM	Universal Transversa de Mercator
WMO	Organização Meteorológica Mundial

SUMÁRIO

Lista de figura	
Lista de tabelas	
Lista de siglas	
Resumo	
Abstract	
1 – INTRODUÇÃO	13
1.1. Temática Abordada.....	17
1.2 Justificativa do Trabalho.....	17
1.3 Objetivos.....	18
1.3.1 Objetivos Específicos.....	19
2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS	20
2.1. Área de Estudo.....	20
2.2. Variáveis Ambientais.....	24
2.2.1 Clima.....	24
2.2.2 Relevo.....	25
2.2.3 Declividade.....	26
2.2.4 Orientação das Vertentes.....	27
2.2.5 Solos.....	30
2.2.6 Geologia.....	33
2.2.7 Geomorfologia.....	35
2.2.8 Hidrografia.....	37
2.2.9 Vegetação e Uso do Solo.....	39
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	41
3.1 Sensoriamento Remoto.....	46
3.2 Geoprocessamento.....	47
3.3 Transporte e Sistema Viário.....	49
3.4 Paisagem.....	52
3.5 Vulnerabilidade Associada a Movimentos de Massa.....	53
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	58
4.1 Base de Dados.....	58
4.1.1 Bases Cartográficas.....	60

4.1.2 Imagem Orbital Multiespectral do Satélite SPOT e Processamento Digital.....	61
4.2 Programas e Equipamentos.....	62
4.3 Análise Espacial.....	63
4.3.1 Processo Analítico Hierárquico (AHP).....	63
4.4 Elaboração dos Mapas Temáticos.....	65
4.4.1 Relevo.....	66
4.4.1.1 Modelo Digital de Elevação.....	66
4.4.1.2 Declividade.....	67
4.4.1.3 Orientação das Vertentes.....	67
4.4.2 Imagem NDVI.....	68
4.4.3 Uso e Ocupação do Solo.....	70
4.4.4 Registro das Ocorrências de Movimentos de Massa na RS/486.....	70
5 RESULTADOS	75
5.1 Determinação de Áreas Suscetíveis a Movimentos de Massa.....	99
6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	105
REFERÊNCIAS	108

RESUMO

O desenvolvimento de novos aglomerados urbanos bem como a necessidade de escoamento da produção de bens e a maior circulação de pessoas exige a intervenção do homem em espaços antes não habitados ou preservados da interferência humana. Fatores ligados à infra-estrutura e ao meio ambiente destacam os impactos decorrentes de obras rodoviárias e esses impactos são constantemente estudados. Estas obras de infra-estrutura têm efeito direto sobre os ecossistemas, e a legislação ambiental busca minimizar os efeitos causados pelas obras de infra-estrutura através da obrigatoriedade de Estudos de Impacto Ambiental (EIA). Inserida no bioma Mata Atlântica, a RS/486 provoca, além do impacto visual na paisagem, uma forte fragmentação deste bioma. A retirada da vegetação no entorno da rodovia pode facilitar a ocorrência de desastres naturais relacionados com a geomorfologia, o intemperismo, a erosão e a acomodação do solo. Com o objetivo de mapear essas áreas vulneráveis e suscetíveis a movimentos de massa na Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas, optou-se, para a rodovia RS/486, pela elaboração de mapas de vulnerabilidade ambiental que vêm sendo usados desde a década de 70 e que são uma importante ferramenta para eleição de ambientes mais frágeis e, portanto, com maior necessidade de proteção. Com o uso de geoprocessamento e sensoriamento remoto com o auxílio de programas específicos, foram analisadas as variáveis como o uso do solo, geomorfologia, geologia, Modelo Digital de Elevação/MDE, declividade e índices de vegetação NDVI, aplicando-se o método de análise hierárquica de apoio à decisão conhecido como AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Os mapas resultantes, denominados de mapas de vulnerabilidade ou suscetibilidade, atendem ao propósito de definir áreas prioritárias para a atuação da Defesa Civil do Estado. Esta metodologia objetiva contribuir com o uso de informações georreferenciadas para o monitoramento destas áreas.

Palavras-Chave: vulnerabilidade; bioma; rodovias, geoprocessamento, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The development of new urban areas and the need to dispose of the production of goods and increased movement of people requires the intervention of man in areas previously not inhabited or preserved of human interference. Factors related to infrastructure and the environment the impacts arising from road works and those impacts are constantly studied. These works of infrastructure has direct effect on ecosystems and environmental legislation seeks to minimise the effects caused by the works of infrastructure through the requirement for Environmental Impact Studies (EIA). Inserted in the Atlantic forest biome RS/486 causes beyond the visual impact in the landscape a strong fragmentation of this biome. The removal of vegetation around the highway can facilitate the occurrence of natural disasters related to the geomorphology, the weathering erosion and soil accommodation. With the goal of mapping these areas vulnerable and susceptible to mass movements of the Basin of the River Three Forquilhas, opted for the road RS/486, by drawing up maps of environmental vulnerability that has been used since the decade of 70 and are an important tool of choice for most fragile environments and thus in greater need of protection. With the use of remote sensing, geoprocessing and with the help of specific programmes, the variables were analyzed as the use of soil, geomorphology, geology, Model Digital Elevation / MDE, slope and vegetation indices of NDVI, according to the method of Hierarchical analysis to support decision known as AHP (Analytic Hierarchy Process). The produced maps, known as maps of vulnerability or susceptibility, serve the purpose of defining priority areas for action of the State Civil Defense. This approach aims to contribute to the use of information georeferencing for monitoring these areas.

Keywords: vulnerability; biome; roads, geoprocessing, remote sensing.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho representa o resultado de pesquisa realizada junto ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CEPSRM) visando à conclusão do Curso de Mestrado em Sensoriamento Remoto. Esta pesquisa está inserida na área de concentração “Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento”, na linha de pesquisa denominada Recursos Naturais e Meio Ambiente.

O desenvolvimento de novos aglomerados urbanos bem como a necessidade de escoamento da produção de bens e a maior circulação de pessoas exige a implantação de obras de infra-estrutura que podem impactar os ecossistemas onde se inserem. Fatores ligados à infra-estrutura e ao meio ambiente destacam os impactos decorrentes de obras rodoviárias. Esses impactos são constantemente estudados por pesquisadores e profissionais buscando minimizar os efeitos destas obras de infra-estrutura sobre os ecossistemas. A legislação ambiental, que busca minimizar esses efeitos, impõe a obrigatoriedade de Estudos de Impacto Ambiental (EIA).

Pesquisadores do CEPSRM têm trabalhado com o bioma Mata Atlântica do Rio Grande do Sul, desde 1988 com o objetivo de estudar sua distribuição geográfica. Naquela ocasião, foi utilizada a metodologia de classificação visual por aferição de campo para a geração de cartas de uso do solo em escala 1:250.000.

Essas cartas distinguem classes como: floresta ombrófila densa, floresta ombrófila mista, floresta estacional, mata galeria, mata de restinga, campos de

altitude, campos do planalto médio, banhados, reflorestamentos, cultivo agrícola e pastagens. Esta classificação foi utilizada posteriormente pela FEPAM (Fundação Estadual de Proteção do Meio Ambiente) para monitoramento e definição da área de Conservação da Mata Atlântica descrita pelo Decreto n° 750/1993.

O Bioma Mata Atlântica, que atualmente ocupa uma área de 7.496,67 km² no estado do Rio Grande do Sul, tem reconhecimento nacional e internacional como objeto de proteção pelo seu valor inestimável devido a sua alta biodiversidade.

É considerado um refúgio para fauna e flora, com espécies ameaçadas de extinção, abrangendo 289 municípios do nordeste gaúcho.

Além desse trabalho, entre 1995 e 1999, em parceria com a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e o Sindicato de Indústrias Madeireiras do RS, pesquisadores do CEPSRM identificaram e diferenciaram áreas de florestas nativas das florestas de exóticas entre outras feições territoriais do nordeste sul-rio-grandense, em imagens Landsat, por meio de classificação automática.

Já em 2004 foi realizada pelo CEPSRM nova pesquisa para o mapeamento das florestas nativas e florestas exóticas com o objetivo de investigar o uso de imagens orbitais do sensor ASTER, diagnosticando o impacto das atividades agrícolas nos campos de cima da serra e em áreas de ocorrência de Mata Atlântica. Neste trabalho também foi utilizado um sistema de classificação automática.

Atualmente o CEPSRM desenvolve o mapeamento do uso e cobertura do solo através do emprego de técnicas de classificação supervisionada em imagens SPOT com resolução espacial de 10m.

É nesta temática que este trabalho se concentra, buscando analisar como a inserção de uma rodovia de porte regional pode alterar tanto o ambiente natural como o ambiente sócio-cultural. Inserida no bioma Mata Atlântica, a rodovia RS/486 provoca além do impacto visual na paisagem uma forte fragmentação deste bioma. A retirada da vegetação no entorno da rodovia durante a fase de instalação e na fase operacional, quando inserida em áreas de ecossistemas sensíveis associados à geodinâmica terrestre, pode facilitar a ocorrência de desastres naturais relacionados com a geomorfologia, o intemperismo, a erosão e a acomodação do solo na área.

Segundo a Secretaria Nacional de Defesa Civil (SNDC) a ocorrência e a intensidade desses desastres dependem muito mais do grau de vulnerabilidade dos cenários de desastres e das comunidades afetadas do que da magnitude dos eventos adversos. Dessa forma, a SNDC alerta que uma mesma quantidade de chuva em municípios diferentes pode ter danos humanos, ambientais e materiais completamente diferentes, em função especificamente desta vulnerabilidade. Onde houver um sistema de monitoramento, entre outras ações, os danos decorrentes desses desastres diminuem e, portanto, os prejuízos associados a eles também.

No intuito de monitorar as áreas suscetíveis a movimentos de massa na Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas, local de inserção da rodovia RS/486, serão elaborados mapas de vulnerabilidade ambiental determinando classes de suscetibilidade. Estes mapas vêm sendo usados desde a década de 70 e são uma importante ferramenta para eleição de ambientes mais frágeis e, portanto, com maior necessidade de proteção.

A análise das variáveis como solos, geomorfologia, geologia, relevo (Modelo Digital de Elevação/MDE, Declividade e orientação das vertentes) e uso e ocupação do solo e da aplicação do método de Análise Hierárquica de Apoio à Decisão (AHP - Analytic Hierarchy Process) visa à elaboração de mapas de vulnerabilidade.

Já na década de 1970-1980, segundo o estudo realizado pela Comissão Especial para Estudo Sócio-Econômico do Litoral do Rio Grande do Sul, na Assembléia Legislativa do Rio Grande do Sul (AL/RS) havia a indicação que a população do litoral, naquela época, reivindicava melhores níveis de desenvolvimento econômico e social para a região.

“(…) é das zonas potencialmente mais ricas do estado, estando a economia da região calcada, fundamentalmente, na produção de cebola, pesca, orizicultura, fruticultura, bovinocultura, produção leiteira, cultura de cana-de-açúcar, artesanatos diversos, algumas indústrias e turismo...”

(Comissão Especial para Estudo Sócio Econômico do Litoral do Rio Grande do Sul - AL/RS)

Identificou-se, naquele momento histórico, que o setor viário já era um dos problemas básicos para os municípios de Torres, Tramandaí e Osório, pois prejudicava o escoamento do leite e de outras produções do setor primário, bem

como a quase inexistência de eletrificação rural e serviços da Companhia Estadual de Energia Elétrica - CEEE. Neste relatório é citado com maior detalhe, o município de Torres. A área aqui pesquisada, naquela época, pertencia a este município. Naquele momento, os problemas do setor de estradas para esse município envolviam aspectos como a necessidade de construção de: 1) estrada Interpraias; 2) Estrada do Sol ligando Caxias ao Litoral com saída em Torres; 3) estrada Capão, com 60km para o desenvolvimento das praias pequenas e 4) ampliação da bacia leiteira e da RS/81 com o levantamento e a pavimentação de 15km de estrada entre Terra de Areia e Arroio Teixeira.

Reivindicações antigas, problemas atuais. Uma forte evidência citada por Martins e Lemos (2006), quando destacam:

“a insuficiência de investimentos na infra-estrutura desde os anos de 1970. Vários projetos de desenvolvimento da infra-estrutura foram elaborados recentemente (...), numa perspectiva de redes intermodais e de compatibilização com outras necessidades (tais como: energia, transportes, telecomunicações), com forte viés para regiões menos favorecidas na dotação de sistemas de transporte e de ocupação econômica recente, numa tentativa de compensar os desequilíbrios do passado.”

Assim, o sistema viário foi amplamente desenvolvido na região e, portanto, selecionado para esta pesquisa. Essa escolha foi reforçada tendo em vista os possíveis impactos causados quando as estradas são construídas em áreas sensíveis, podendo provocar alterações significativas em um substrato que sustenta complexos conjuntos bióticos, como no caso do Bioma Mata Atlântica.

Entendendo que o impacto possa ter um caráter positivo e/ou negativo, a necessidade de desenvolvimento local e regional vinculado à rodovia construída neste trecho não acarreta somente os impactos negativos referentes ao substrato, mas tem fins econômicos e sociais que podem ser entendidos como impactos positivos da rodovia RS/486.

Nesse aspecto, este trabalho pretende contribuir no sentido de identificar áreas suscetíveis a danos causados por desastres naturais provavelmente provocados por eventos pluviométricos extremos. Através da aplicação do método de análise hierárquica de apoio à decisão, (AHP - *Analytic Hierarchy Process*), uso de geoprocessamento e sensoriamento remoto, busca-se elaborar mapas de

vulnerabilidade que podem servir para a eleição de áreas prioritárias e auxiliar na atuação da Defesa Civil do Estado, por apresentarem os dados espacializados de maneira a facilitar a tomada de decisão.

1.1 Temática Abordada

Projetos de mapeamento de áreas de risco de desastres contribuem para a geração de um cadastro de áreas suscetíveis a riscos ambientais e que servem de embasamento para os Planos Diretores de Defesa Civil do Estado.

Informes da Organização das Nações Unidas (ONU), em 2007, indicam o aumento de episódios meteorológicos extremos registrando um recorde de eventos no começo do citado ano, relacionando-os, segundo a Organização Meteorológica Mundial (WMO), ao aumento das temperaturas das áreas de terra firme do planeta - as mais altas desde 1880.

Esses episódios, atribuídos a causas naturais ou antrópicas, têm ocorrido com maior frequência e proporcionalmente com maior intensidade. São esses eventos adversos que provocam dano em ecossistemas, trazendo prejuízos econômicos e sociais muitas vezes de difícil reparação. As estatísticas comprovam essa frequência através de registros no Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC). Sendo assim, a Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul tem tido papel importante no atendimento a essas ocorrências, preservando o bem-estar da população.

1.2 Justificativa do Trabalho

Esta pesquisa, junto à rodovia RS/486 (Rota do Sol) se justifica, pois, os dados da Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul, em 2007, registram q

ocorrência de inundações significativas na área de influência da rodovia, ocasionando danos materiais e ambientais provocados por fortes precipitações. Além disso, foram registrados desastres súbitos como deslizamentos de material da encosta. Estes deslizamentos, também chamados de movimentos de massa, estão associados à fragilidade do terreno e provavelmente intensificados, em determinadas áreas da faixa de domínio da rodovia RS/486, pela abertura da estrada.

A Organização das Nações Unidas de Socorro (UNDRO), denomina desastre natural como “(...) uma condição ou fenômeno geológico natural ou induzido pelo homem que apresenta um risco ou é um perigo potencial para a vida e o patrimônio”.

Entre estes fenômenos causadores de riscos, os movimentos de massa são classificados como deslizamentos ou escorregamentos, corridas de massa, rastejos, quedas, tombamentos e/ou rolamentos de matacões e/ou rochas e estão associados à fragilidade do terreno e provavelmente facilitados pela abertura da estrada. Todos esses eventos são ocorrências consideradas como eventos naturais associados à interação atmosfera-superfície terrestre.

Nos últimos anos, a freqüência destes eventos tem provocado grandes prejuízos a diversos municípios do estado. Estes episódios meteorológicos extremos estão cada vez mais freqüentes e suas conseqüências, mais significativas.

Historicamente, a região de estudo está sujeita a precipitações elevadas e desastres naturais. Neste sentido, este trabalho pode contribuir agregando informações sobre as áreas vulneráveis e, dentro do possível, evitando futuros danos de grande monta, calamidades e até perdas de vidas humanas.

Esta pesquisa se justifica, portanto, visando a identificar previamente as ocorrências e os mecanismos que desencadeiam os movimentos de massa na rodovia RS/486 (Rota do Sol) em períodos de extremas precipitações, permitindo uma visão integrada dos possíveis danos sociais e ambientais oriundos destes mecanismos.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo gerar, através de técnicas de geoprocessamento, um mapa de vulnerabilidade das áreas suscetíveis a ocorrência de movimentos de massa na faixa de domínio da rodovia RS/486. Visa também, através de mapeamento temático, facilitar o monitoramento da área e contribuir para a prevenção de desastres naturais ou mistos.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Definir a área de influência (através de um *buffer* adequado), como sendo o limite do fragmento em estudo a partir da rodovia RS/486, identificando pontos susceptíveis aos movimentos de massa;
- Digitalizar mapas de solo, geomorfologia, geologia, relevo (MDE, declividade e orientação das vertentes) e uso e ocupação do solo para o fragmento em análise; e
- A integração dos mapas do meio físico, visando à análise da dinâmica ambiental frente aos eventos extremos.

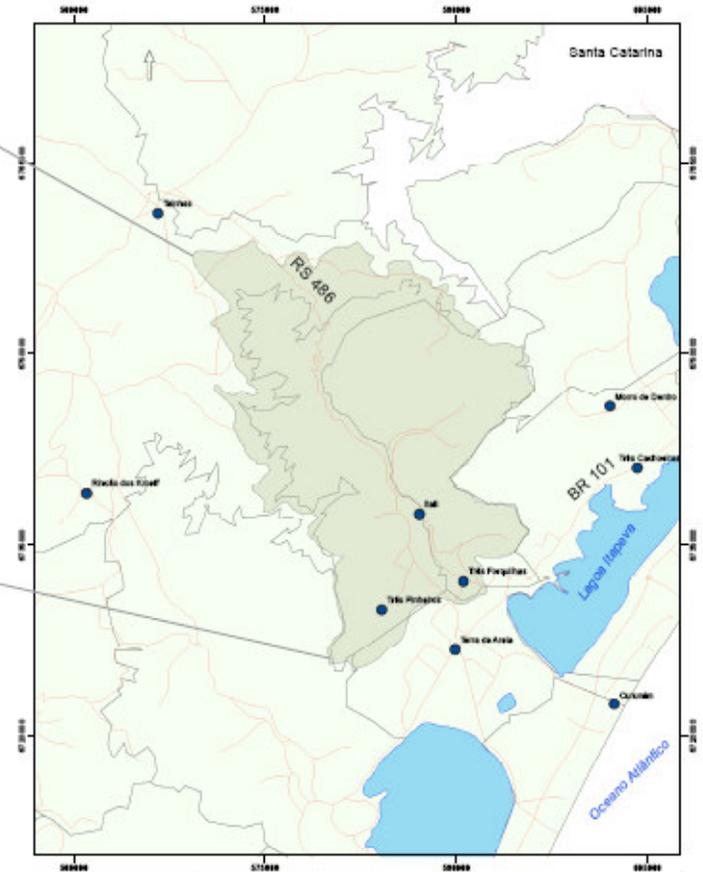
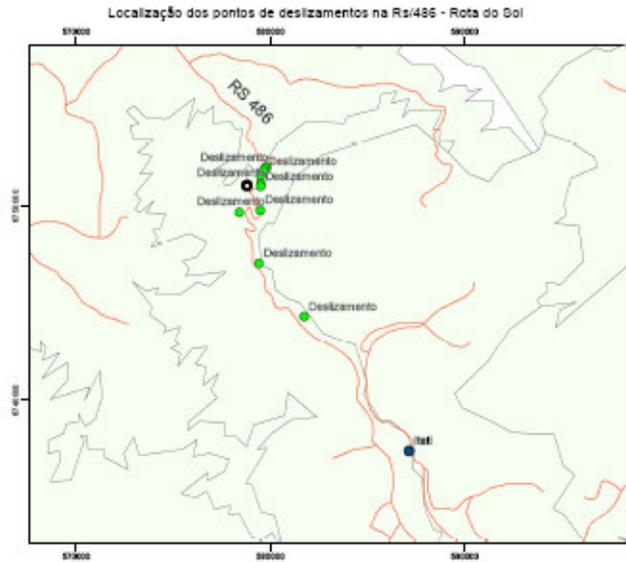
2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS

2.1 Área de Estudo

A Rodovia RS/486 - Rota do Sol, em detalhe na figura 1, antes denominada RS 25, faz a integração da BR-101 na zona litorânea, junto à cidade de Terra de Areia, à localidade de Tainhas, no Planalto Meridional, junto à rodovia RS-020, une as cidades de São Francisco de Paula a Cambará do Sul. Para Nummer (2003), essa rodovia se constitui em uma rota de fundamental importância econômica e turística no Rio Grande do Sul, uma vez que permite a ligação da região serrana ao litoral gaúcho.

Situa-se na região nordeste do Rio Grande do Sul, promovendo a ligação dos municípios integrantes desta região ao litoral norte do estado. Fazem parte da área de estudo os municípios de Três Forquilhas, Itati, Três Cachoeiras e Terra de Areia, como pode ser observado na figura 1. Sua extensão é de 53,458 km, localizada entre as coordenadas 29°15' e 29°35' de latitude Sul e 50° 00' e 50° 30' de longitude Oeste.

A Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas tem uma extensão de aproximadamente 33 km de comprimento e uma área de 510 km², seus rios e afluentes nascem na província do Planalto tendo como foz a Lagoa Itapeva. A Bacia Hidrográfica foi definida como limite para facilitar as análises espaciais da área de influência da rodovia RS/486 – Rota do Sol, por análise de proximidade, uma área (buffer) de 2 quilômetros foi delimitada no entorno da rodovia.



Fonte:
 Base Cartográfica do Rio Grande do Sul
 em Escala 1:250.000, preparada para SIG
 da Fundação Estadual de Proteção Ambiental
 FEPA/ Serviço de Geoprocessamento (2005)
 MIRS36
 Base Municipal do IBGE - Escala 1:250.000 (arquivo 43MU2500G2)

Projeção UTM
 Datum Horizontal: Ajustado para SAD69 (Brasil)
 Fuso 22S

- Legenda**
- Base Municipal
 - Rodovias
 - Sede municipal
 - Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas
 - lagoas

Universidade Federal do Rio Grande do Sul Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CPSRM/UFRRGS Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto		
Descrição Mapa Administrativo e de localização de RS486 - Rota do Sol e da Bacia Hidrográfica		
Autores Geop. Michele Monguillot Orientadora: Prof.ª Dr.ª Dejanira Luderitz Saldanha Co-orientador: Prof. Dr. Sérgio Florença de Souza		Figura 1
Arquivo eletrônico Projeto Rota do Sol	Escala de Apresentação: 1:250.000 da fonte de dados: 1:500.000	Março 2006

Integram a área de estudo parte do bioma Mata Atlântica localizado na área de influência da rodovia RS/486 - Rota do Sol. A definição da área de influência foi motivada pela proposta de Forman *et al* (2003), *apud* Freitas e Metzger (2007) por considerar que “em estudos de paisagens fragmentadas, as estradas são analisadas quanto a sua distância em relação ao fragmento de habitat ou quanto a sua densidade (comprimento total da estrada/área) na paisagem ou no entorno do fragmento.”

A estrada, inicialmente projetada com a finalidade turística, passou a ser uma importante rota para o escoamento da produção do oeste do Estado e teve seu trajeto modificado através da construção de algumas obras de arte de grande porte como os túneis e os viadutos construídos como medida mitigadora dos impactos ambientais resultantes da construção da estrada. Essas obras de arte mudaram a característica inicial da estrada, que passou, então, a integrar um conjunto de objetos de grande porte que traduzem a mudança na paisagem em toda sua extensão (EIA. 1990).

O Estudo de Impacto Ambiental – RIMA da rodovia, datado de maio de 1990, já alertava para a reavaliação dos sistemas de proteção dos taludes de aterro com a intenção de evitar a “descida de materiais em direção ao sopé das encostas”, o RIMA reforçou também a necessidade de que os dispositivos de drenagem na região da Serra fossem superdimensionados para evitar o transbordamento e a indução de processos erosivos.

Os viadutos e túneis sem dúvida, são objetos que provocam um forte impacto visual mais caracterizados segundo o RIMA como um impacto positivo, explicando que a obra de arte “marca com personalidade a presença do homem no meio ambiente”. Para o autor do relatório de impacto ambiental, as obras de arte são construídas para adequar a rodovia à topografia, pontes e viadutos muitas vezes evitando o desmatamento, cortes ou grandes aterros e preservando os cursos d’água.

Caracterizada pela grande quantidade de aterros e cortes em sua extensão, os fenômenos erosivos da Rodovia RS/486 são facilitados pela abertura de taludes de corte em solo; Nestes taludes, a associação da sensibilidade do solo à erosão relacionada principalmente pela intensidade de chuvas facilita a erosão pela

inclinação e altura dos cortes. Neste aspecto, a proteção vegetal da superfície dos taludes e obras de contenção atenuam os processos erosivos instalados.

As obras de arte (Fig. 2) construídas para a Rodovia RS/486 – Rota do Sol, mesmo que para mitigar o impacto ambiental inicial, causam um forte impacto visual, cortando a paisagem da rodovia.

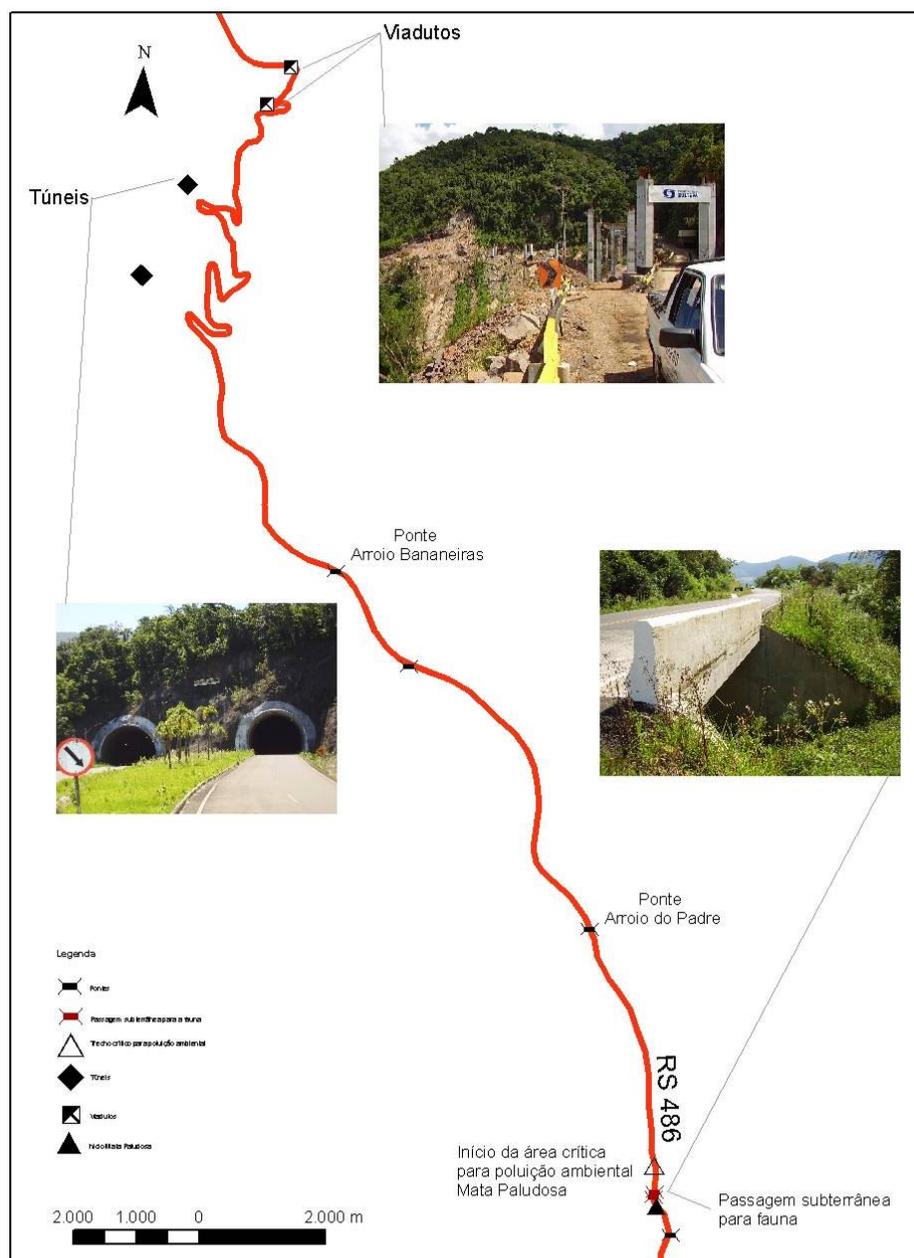


Figura 2 – Localização das principais obras de arte da rodovia RS/486 – Rota do Sol

Nummer (2003), identifica as obras de arte projetadas para o trecho Terra de Areia e Aratinga da RS/486 – Rota do Sol, descritas na tabela 1.

Tabela 1 – Obras de arte da RS/486 –

Rota do Sol, adaptado de Nummer, (2003)

Tipo de obra	Extensão em (m)
Ponte sobre o Arroio do Padre	43
Ponte sobre o Arroio Bernardes	40
Ponte sobre o Arroio Pinheiros	40
Ponte sobre o Arroio Carvalho	291
Viaduto Humaitá I	53
Viaduto Humaitá II	53
Viaduto Reversão	100
Ponte sobre o Rio Contendas	62
Túnel do Km 5	-
Túnel II	-

As variáveis ambientais integrantes do estudo da vulnerabilidade aos movimentos de massa na área de influência da Rodovia RS/486 – Rota do Sol envolvidas nesta análise são: clima; relevo; solos; geologia; geomorfologia; Uso e ocupação do solo e Hidrografia. Foram utilizadas como fortes condicionantes dos pontos de instabilidades dos taludes da rodovia RS/486 as variáveis climáticas dando ênfase para o regime pluviométrico regional; o substrato rochoso com ênfase no tipo de rocha, solo e estrutura geológica (fraturas); a geomorfologia com ênfase no perfil da encosta; caracterização do uso e ocupação do solo e maior ênfase na cobertura vegetal de grande.

2.2 Variáveis Ambientais

2.2.1 Clima

Para Hoffmann *et alli* (1992), “o clima do Rio Grande do Sul faz parte da faixa subtropical, estando situado na transição do clima tropical para o temperado” Segundo o sistema de Köppen, o clima da região caracteriza-se como Cfb,

subtropical, com verões brandos e invernos mais acentuados. Abrange a região nordeste do estado, sendo a temperatura amenizada pela altitude da região.

Esta classificação considera apenas as variáveis de temperatura, umidade e latitude. Atualmente a climatologia, além destas variáveis, tem considerado também a dinâmica das massas de ar, cuja importância para o autor é fundamental nas alterações das condições atmosféricas.

Para Guerra (1996) *apud* Costa (2006), “os desequilíbrios que se registram nas encostas ocorrem na maioria das vezes, em função da participação do clima e de alguns aspectos das características das encostas que incluem a topografia, geologia, grau de intemperismo, solo e tipo de ocupação”. Os eventos meteorológicos extremos agem diretamente sobre o modelado e influenciam na micro dinâmica climática do local.

Tendo isso em vista, a necessidade de determinação de uma área de influência para a delimitação do fragmento a ser monitorado, optou-se pelo uso da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas como limite de influência e foi delimitado um buffer de 2km em torno da rodovia.

Esta delimitação possibilita a espacialização de determinada área em um intervalo de tempo definido, facilitando a análise associada de fenômenos naturais e artificiais, podendo servir de base para as operações dos órgãos ambientais e para o planejamento territorial de órgãos públicos associada ao uso do sensoriamento remoto.

2.2.2 Relevo

As diferentes estruturas e formas de relevo que compõem o Estado do Rio Grande do Sul resultam da ação do intemperismo físico e químico, que modelam o relevo terrestre em escalas diferenciadas de tempo.

O intemperismo físico, aqui abordado como a ação da precipitação pluviométrica acima da média na região, provoca alterações significativas nos elementos que compõem o terreno.

Muller (1970) *apud* Gomes (1976), destaca estudo que denominou de Rebordo do Planalto, onde distinguiu dois seguimentos para esta região: “um em que a escarpa tem orientação SW-NE e faz face ao Atlântico Nordeste do Estado, e o outro, cuja frente é meridional, prolongando-se de E para W e contata com a Depressão e com a Cuesta.”

Nummer (2003), classifica as formas de terreno da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas associando sistema de terreno, unidade de terreno, forma das vertentes, altimetria, amplitude, declividade, substrato e processos morfodinâmicos e movimentos de massa resultantes, resumidos na tabela 2.

Tabela 2 - Formas de terreno da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas, adaptado de Nummer (2003).

Sistema de terreno	Substrato	Processos morfodinâmicos e movimentos de massa
Planalto	Rochas vulcânicas ácidas	Escoamento laminar, sulcos, ravinas, pequenos escorregamentos.
Alta Encosta	Rochas vulcânicas ácidas	Escoamento laminar, sulcos, ravinas, pequenos escorregamentos. Corridas, quedas (rolamento e tombamento)
Meia Encosta	Rochas vulcânicas básicas, colúvios e sedimentos inconsolidados	Escoamento Superfície Difuso, erosão laminar, escorregamento rotacional e planar, rastejo de solo, escorregamento superfície concentrado, fluxo de detritos, escorregamento rotacional e translacional, quedas (rolamento e tombamento), erosão laminar.
Baixa Encosta	Rochas vulcânicas básicas, solo residual, colúvios, tálus e sedimentos inconsolidados	Escoamento rotacional e planar, rastejo, erosão laminar, solapamento das margens e inundação.

2.2.3 Declividade

Conforme Valdameri (1997), o fator declividade interfere de forma significativa na distribuição das classes de solo bem como no processo de erosão.

Para Kulman *et al.* (2004), “A análise da declividade é importante para que possamos evidenciar e identificar as potencialidades das vertentes de uma bacia

hidrográfica para fins conservacionistas de uso e ocupação, e para cadastro e identificação de unidades de relevo.”

Conforme Nummer (2003), a declividade do topo da área da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas varia de 5° a 12° e das vertentes entre 35° a 45° ou maior que 45° encontrando-se os movimentos de massa mais comuns na forma de rolamentos, de tombamentos de blocos, com depósito de tálus na base das vertentes.

2.2.4 Orientação das Vertentes

Nummer (2003) propõe que os movimentos de massa desenvolvem-se mesmo em áreas florestadas, pois os mecanismos envolvem as mais diversas variáveis, incluindo intemperismo e principalmente a estrutura geológica da área, confirmando a continuidade dos movimentos de massa atuais proposta por Gomes (1976).

Proposto por Dalrymple *et al.*(1968) *apud* Cristofolletti (1980) e Nummer (2003), os diferentes processos morfogenéticos envolvidos na caracterização das unidades de vertentes são os demonstrados na tabela 3.

Tabela 3 – Característica de cada unidade de vertente adaptado de (Dalrymple et al. , 1968 citado por Cristofolletti, 1980).

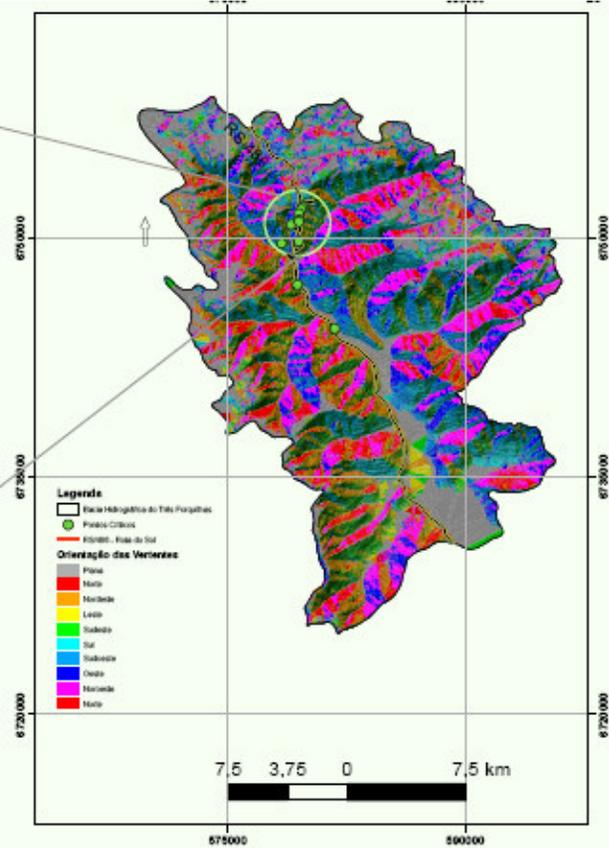
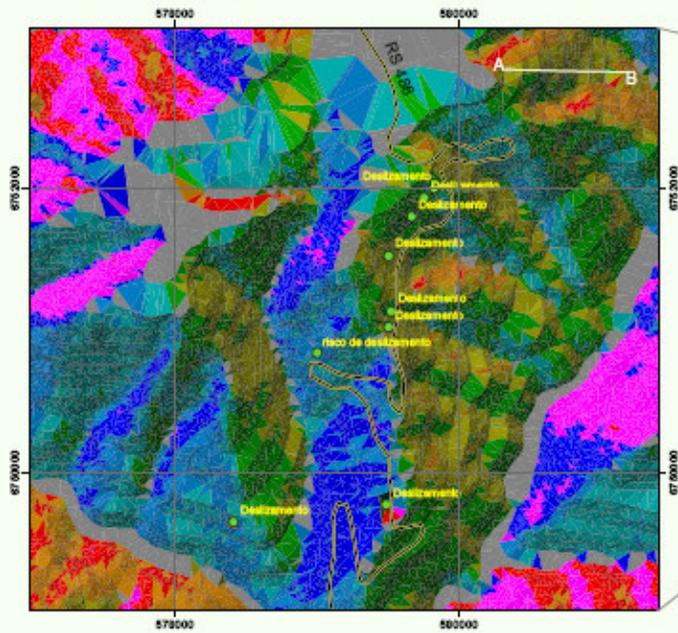
Unidade de Vertente	Processo geomórfico dominante
1 – Interflúvio (0° - 1°)	Pedogenéticos associados ao movimento vertical da água superficial.
2 – Declive com infiltração (2° - 4°)	Eluviação mecânica e química pelo movimento lateral da água subsuperficial.
3 – Declive convexo com reptação	Rastejo de solo e formação de terracetes
4 – Escarpa (ângulo mínimo de 45°)	Quedas, deslizamentos, intemperismo químico e mecânico
5 – Declives intermediário de transporte	Transporte de material por movimentos de massa (fluxo, rastejo, etc), formação de terracetes, ação de água superficial e subsuperficial.
6 – Sopé coluvial (ângulos entre 26° e 35°)	Redeposição de material pelos movimentos de massa e escoamento superficial, formação de cones de dejeção, transporte de material, rastejo, ação subsuperficial da água.
7 – Declive aluvial (0° - 4°)	Deposição aluvial, processos oriundos do movimento subsuperficial da água.
8 – Margem de curso d'água	Corrassão, deslizamento, queda
9 – Leito do curso d'água	Transporte de material para jusante pela ação da água superficial, gradação periódica e corrassão

Para o autor, as avalanches ou corridas de detritos são os eventos mais comuns na região, que são movimentos típicos, de regiões montanhosas que se depositam e dão origem às bacias de recepção, canal de escoamento e cone de detritos. Essas bacias encontram-se nas partes altas das vertentes, na parte da Alta Encosta e início da Meia Encosta. Segundo o autor, na Rota do Sol encontram-se esses tipos de canal de escoamento nos leitos dos arroios do Padre e Bernardes, sendo que no sistema de Baixa Encosta os rastejos de colúvios são mais significativos.

A amplitude das vertentes pode ser compartimentada, como sugerido por Kulman *et al.* (2004), sendo que o primeiro perfil sugere maior amplitude da bacia com uma variação de amplitude de aproximadamente de 600m; já no centro da bacia, as amplitudes variam entre 175m e 150m; próximo à foz do Rio Três Forquilhas, as amplitudes ficam em torno de 20m.

Na avaliação do mapa de exposição das vertentes, verifica-se o predomínio de orientação no sentido Noroeste (Fig. 3).

Detalhe da área de concentração dos pontos críticos para deslizamentos na RS-486



Universidade Federal do Rio Grande do Sul Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CIPERM/UFGRS Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto		
Descrição Mapa de Orientação das Vertentes da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas		
Autores Geog. Michele Mongulhott Orientadora: Prof.ª Dr.ª Dejenira Luderitz Sakderha Co-orientador: Prof. Dr. Sérgio Florencio de Souza		
Arquivo eletrônico Projeto Rota do Sol		Figura 03 Escala de Apresentação: 1:250.000 da fonte de dados: 1:250.000 Março 2008

Projeção UTM - Datum Horizontal: Ajustado para SAD/59 (Brasil) - Fuso 228

2.2.5 Solos

Os solos predominantes no trecho, segundo classificação brasileira, são: solos litólicos eutróficos (RE) associados com Brunizém avermelhado (BV) associado com Areias Quartzosas Distróficas (AQd) e Areias Quartzosas Hidromórficas Húmicas Álicas (HAQHa).

Garcia (1982), cita que “as propriedades do solo são determinadas por diferentes fatores físicos, químicos e biológicos. A maior parte das feições do terreno tem uma certa relação com as condições do solo ou com os fatores de formação tais como, clima, vegetação, relevo, material de origem, tempo e ação do homem.”

O perfil do solo é resultante da ação dos processos de formação do solo (processos pedogênicos), mostrando uma seqüência vertical de camadas chamadas de horizontes pedogenéticos diferenciadas entre si pela espessura, cor, textura, estrutura. Classificados por Streck *et al.* (2008), conforme propõe o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS, as classes de solo da área têm a seguinte conotação:

Cambissolos – Horizonte B incipiente e apresenta fragmentos de rocha;

Chernossolos – Horizonte A chernozêmico - baixa lixiviação, baixa acidez e boa fertilidade química, com alta saturação por bases, razoável teor de matéria orgânica, condicionando uma boa estruturação e cores escuras.

Neossolo - novo solo em formação;

Para o autor, a distribuição do solo nesta paisagem integra uma região “em altitudes entre 300m e 500m nos patamares da Serra Geral, que formam a região da Encosta Inferior do Nordeste, bem como as escarpas da Serra Geral com face para o litoral. A litogia dominante é o basalto em relevo ondulado a montanhoso, onde predominam Neossolos (Un. Charrua), Chernossolos (Un. Ciríaco), Cambissolo (Un. Ciríaco degradada) e situados em relevo ondulado Nitossolos (Un. Estação).

Nas porções mais baixas situadas nos vales em U dos rios são encontrados Chernossolos (Un. Vila) e inclusões de Cambissolos, Neossolos e Gleissolos (Fig. 4).



Foto 1 - Corte - Início do Perfil (A-B) - Aratinga/RS



Foto 2 - Corte - Início do Perfil (A-B) - Aratinga/RS

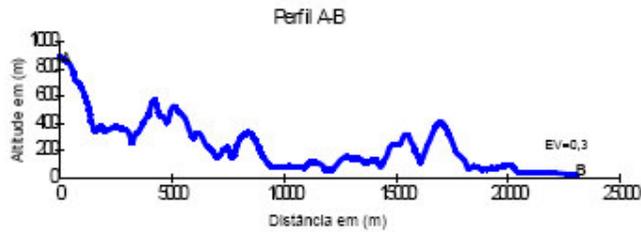
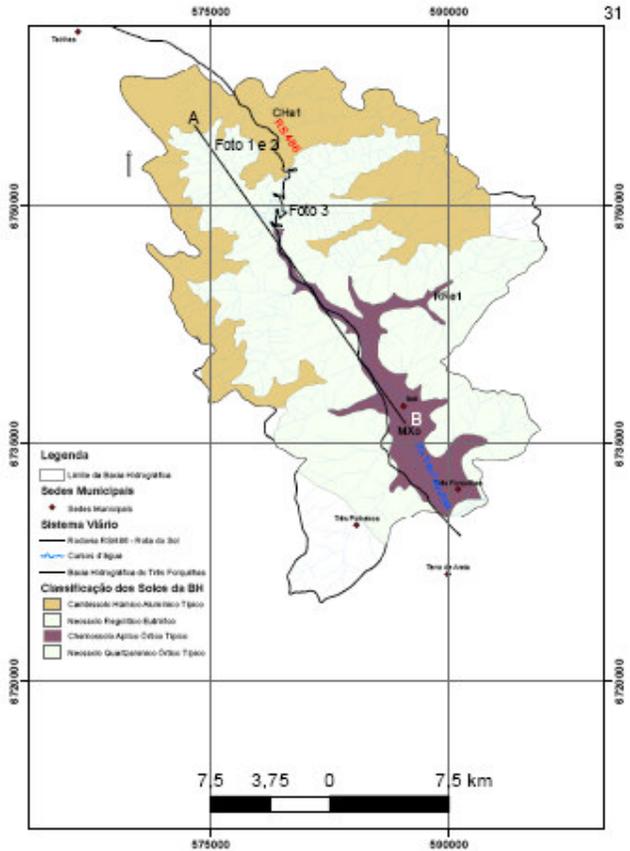


Foto 3 - Corte - Entrada do 2º Túnel

Base Cartográfica: Redução das Cartas do Serviço Geográfico do Exército, Escala 1:50.000 - Levantamento Aerofotogramétrico de 1975, Publicação 1980
 Folhas: Tainhas (SH.22-X-C-II-3), Barra do Ouro (SH.22-X-C-VH)
 Aratinga (SH.22-X-C-II-4), Macuiné (SH.22-X-C-VI)

Projeção UTM - Datum Horizontal: Ajustado para SAD69 (Brasil)/Zona 22 S



Universidade Federal do Rio Grande do Sul Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CPSRM/UFGRS		
Descrição Mapa de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas		
Autores Geop. Michel Mangalhot Orientador: Prof. Dr. Depairino Luizetiz Saldanha Co-orientador: Prof. Dr. Sérgio Florentino de Souza		
Figura 4		
Arquivo eletrônico Projeto Rota do Sol	Escala de apresentação: 1:250.000 de fonte de dados: 1:100.000	Data Março 2008

Formadas, segundo Streck *et. al.* (2008), por uma sucessão de pacotes de rochas vulcânicas (rochas originadas por magma resfriado na superfície da crosta terrestre: basaltos e riolitos da Formação Serra Geral), essas rochas apresentam um relevo aproximadamente tabular, muito escavado pelos rios, em alguns pontos formando escarpas e vales profundos.

Propõe o autor que “(...) as diferenças entre os tipos de solos são explicadas pelas várias combinações possíveis de associação entre os fatores ambientais, as quais condicionam a ação dos processos (físicos, químicos e biológicos) atuantes na formação do solo.” Os que mais influenciaram no RS foram o material de origem (geologia), o relevo e o clima.

Os Neossolos são solos de formação muito recente, desenvolvidos a partir dos mais diversos tipos de rochas.

Um terceiro nível de diferenciação ainda classifica os solos da área como Neossolos Litólicos Eutróficos e Quartzarênicos. Os eutróficos apresentam alta saturação por bases (>50%) num quarto nível, os Neossolos Regolíticos lépticos, quando apresentam contato lítico (rocha) entre 50cm e 100cm da superfície do solo e típicos quando apresentam feições normais de sua classe. Já os Neossolos Quartzarênicos são distinguidos no terceiro nível conforme as condições de drenagem: em hidromórficos e órticos, pois são bem drenados. No quarto nível, esses solos são argissólicos típicos.

O Chernossolo Argilúvico Férrico típico da Unidade Ciríaco (perfil RS 148) foi classificado na área de estudo em conjunto com a Unidade Charrua, sendo feita associação das duas classes no mapeamento do EIA/RIMA da Rota do Sol (1990). Esses solos têm características de degradação pelo uso agrícola e conseqüente erosão do horizonte A. Os Chernossolos da Unidade Vila, situam-se nas várzeas encaixadas dos rios que drenam a Encosta Inferior do Planalto Nordeste. Apresentam alto potencial para culturas anuais, entretanto têm risco de inundação ocasional. Nesta área, este tipo de solo tem como material de origem o basalto.

2.2.6 Geologia

Gomes (1976), descreve os diferentes aspectos morfodinâmicos, estruturais atuantes na área da Escarpa do Planalto Meridional, diferenciando essa dinâmica em: 1) movimentos de massa: facilitados pela geologia estrutural; 2) erosão linear: ravinas ativas e inativas; 3) dinâmica fluvial: solapamento das margens e acumulação. Para o autor, os movimentos de massa iniciam para o aperfeiçoamento das vertentes e continuam ocorrendo até os dias atuais, facilitados pelas argilas que auxiliam o descalçamento e fornecem o material viscoso para o deslizamento.

Reginato *et al.* (2006), propõem que os condicionantes estruturais dos aquíferos fraturados da Formação Serra Geral estão relacionados “com as estruturas geológicas (fraturas e zonas de fraturas), com a litologia (tipo e estruturação) com o tipo e espessura do solo e com o relevo (grau de dissecação).

Para Lisboa (1996) *apud* Betiollo (2006) a estrutura geológica desta unidade favorece os processos erosivos pelo incremento da interação água-rocha característico de zonas fraturadas por lineamentos; o grau de alteração dessa rocha aumenta conforme a maior ou menor ocorrência de fraturas.

Streck *et al.* (2008) citam que a província do Planalto “é formada por uma sucessão de pacotes de rochas vulcânicas apresentando relevo tabular, muito escavado pelos rios em alguns pontos formando escarpas e vales profundos.”

Nummer (2003), descreve que os derrames basálticos da região do Vale do Rio Três Forquilhas apresentam diversas discontinuidades (ou estruturas) que influenciam a estabilidade dos taludes e classifica as discontinuidades quanto à origem como de origem tectônica (juntas e falhas com direções gerais NW-SE, NE-SW, E-W e N-S) e de origem não tectônicas (fluxo, fraturas de resfriamento e juntas de alívio).

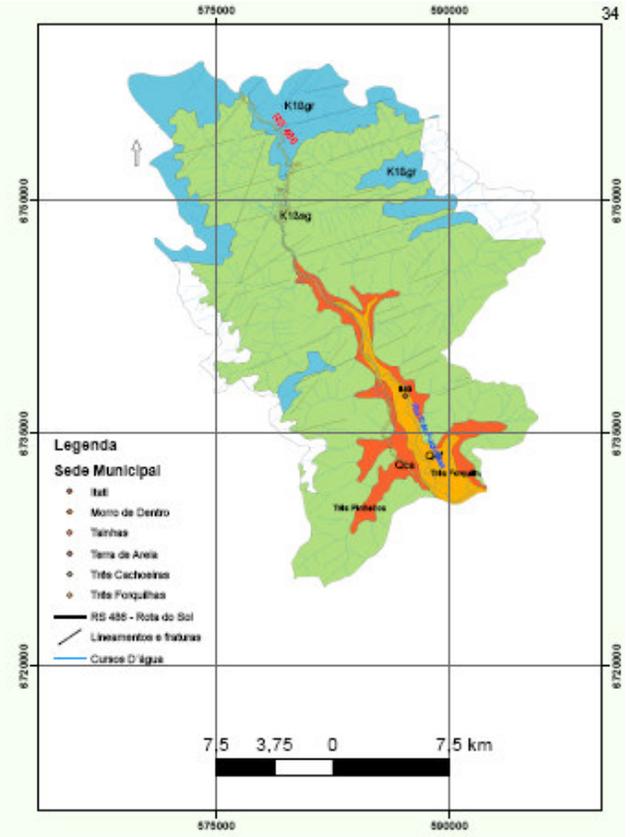
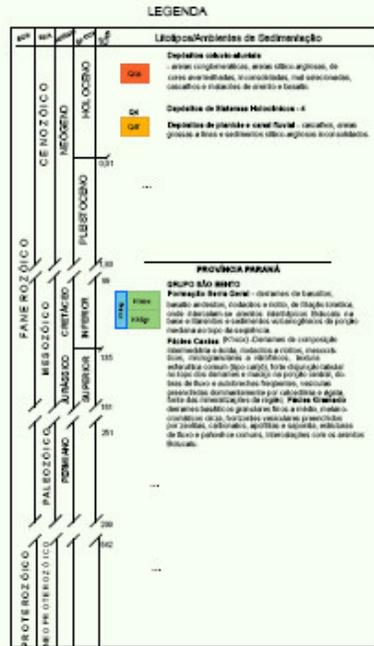
A estrutura geológica da área está inserida na Unidade Hidrogeológica da Fachada Atlântica Aplainada, subdivisão das Unidades Morfotectônicas da Fachada Atlântica proposta por Lisboa (1996) *apud* Betiollo (2006). Para o autor, na Unidade Hidrogeológica da Fachada Atlântica Aplainada com lineamentos de médio e pequeno porte (Fig. 5), abastecem as fraturas em profundidade.



Foto ilustrativa de rochas fraturadas



Foto ilustrativa de seqüência de derrame



Fonte: Adaptado de base analógica do Mapa Geológico Regional - Projeto Rota do Sol - Estudo de Impacto Ambiental - EIA e Relatório de Impacto Ambiental - RIMA em escala 1:100.000 elaborado por HAR Engenharia e Meio Ambiente Ltda.
 Base Cartográfica: Redução das Cartas do Serviço Geográfico do Exército, Escala 1:50.000 - Levantamento Aerofotogramétrico de 1975, Publicação 1980
 Folhas: Tamnas (SH.22-X-C-II-3), Barra do Ouro (SH.22-X-C-V-I)
 Aratinga (SH.22-X-C-II-4), Maquiné (SH.22-X-C-V-II)
 Projeto UTM
 Datum Horizontal: Projetado para SADI69 (Brasil)
 Zona 22 S

Universidade Federal do Rio Grande do Sul Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CPSRMAUFRRS Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto		
Descrição Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas		
Autores Geog. Michele Morguillotti Orientadora: Profª Drª Dejanira Luderitz Saldanha Co-orientador: Prof. Dr. Sérgio Florenço de Souza		
Arquivo eletrônico Projeto Rota do Sol	Escala de Apresentação: 1:250.000 do base de dados: 1:100.000	Figura 5 Março 2006

Para Zalán *et al.* (1990) *apud* Nummer (2003), descreve a fragilidade tectônica da área com lineamentos predominantes NW e NE em toda Bacia do Paraná. Para o autor, “os movimentos das zonas de falhas NW e NE tiveram componentes horizontais e verticais que influenciaram na sedimentação das várias unidades estratigráficas da Bacia do Paraná”. Continua o autor, informando que no vulcanismo da Bacia do Paraná, originada no Cretáceo Inferior (140 milhões de anos), predominam rochas basálticas com andesitos que constituem a base deste vulcanismo. Foi proposto por Roisemberg e Viero (2000) *apud* Nummer (2003), que as ocorrências de lentes de arenitos eólicos se intercalam com os primeiros derrames básicos, podendo aparecer até os níveis superiores da seqüência vulcânica.

2.2.7 Geomorfologia

O Rio Grande do Sul apresenta cinco grandes províncias geomorfológicas que têm origens geológicas distintas: Planalto, Depressão Periférica, Escudo Sul-riograndense, Cuesta do Haedo e Planície Costeira.

Para Garcia (1982), “Ao lado da drenagem, o relevo é de capital importância nesse tipo de estudo, uma vez que ele representa um dos fatores de formação do solo, e parece, ao mesmo tempo, ter sua evolução dependente da natureza desse próprio solo.”

Segundo esse autor, “A Geomorfometria é definida como a ciência que trata da geometria da paisagem, descrevendo quantitativamente a forma da superfície do terreno, sendo parte da Geomorfologia.” Refere-se a rugosidade da superfície para definir as medidas da superfície do terreno, nestas incluídas toda a geometria da paisagem.

Toda essa geometria resulta assim, no que define o autor como “as relações entre as dimensões horizontal e vertical da topografia podem ser englobadas no declive do terreno e na magnitude e orientação da dispersão do declive, enquanto que a distribuição de massa sob a superfície topográfica faz parte do conceito de hipsometria.

Ainda para o autor, “Estudos mostraram que a maioria das medidas de relevo dependem dos valores extremos das elevações...”. Sugere que se use, como índices, amostras de relevo, razão de relevo, variância da amostra, razão da elevação do relevo além da taxa de mudança dos declives e de aceleração da gravidade.

Define-se a encosta como o aspecto mais importante da geometria da paisagem, que, para Garcia (1982), o autor, é onde “os ângulos de inclinação controlam as forças gravitacionais disponíveis para o trabalho geomórfico”.

Gomes (1976), define “a posição dos vales, com direções predominantes NE-SW, estão em parte abrigados dos ventos predominantes no inverno, de direções SW e S. As temperaturas apresentam um acréscimo, mesmo em relação à região litorânea, e sob condições também particulares de umidade”.

Ross (1991), diz que a “partir de trabalhos de geomorfologia aplicada, categoriza-se o comportamento morfodinâmico em duas fases estáveis e três instáveis sendo as estáveis relacionadas com a morfodinâmica natural, de origem antrópica e de origem moderada. As fases de instabilidade classificou com morfodinâmica fraca e forte relacionadas principalmente com a topografia e modelado do terreno.” Foram usadas para ponderação de pesos da variável geomorfologia.

Na planície costeira interna o relevo é mais suave e ondulado, apresentando amplitude de 80m a 15m variando cotas de 100m a 20m e 20m a 5m. A declividade é moderada e fraca, 2° - 10° (15°). A estabilidade morfodinâmica é estável, incluindo baixa encosta e depósito de leques aluviais.

Nessa região, segundo RADAM/BRASIL (1986), dominam os modelados esculpidos em depósitos de origem continental, com predomínio da vegetação pioneira alterada pela ação antrópica dominando os Planossolos, Gleissolos e Areias Quartzosas. Abrange duas unidades geomorfológicas: Planície Lagunar e Planície Alúvio-Coluvionar. A Planície Lagunar é caracterizada conforme o autor, como uma área plana, homogênea e sem dissecação, dominada por modelados de acumulação representados pelas “planícies e terraços lacustres.

A Planície Alúvio-Coluvionar, caracteriza-se por uma superfície plana, rampeada suavemente para leste, em alguns trechos descontínua”, predominam os modelados planos ou embaciados e formas de topo planos ou baixos tabuleiros.

Na Planície costeira externa, o relevo tem amplitudes de 5 metros e cotas variando de 5 a 15 metros. A declividade das vertentes é fraca, 0° a 2°. A estabilidade morfodinâmica é estável, incluindo planície lagunar e depósitos deltáicos intercalados a restingas arenosas.

A unidade geomorfológica mais representativa da área com aproximadamente 28.000 ha pertence ao domínio geomorfológico da serra geral e é neste domínio que se concentra a maior parte dos pontos críticos de deslizamentos da área de estudo. Esta associação foi confirmada por Vanacôr (2006), em estudo realizado para a RS 122 na região nordeste do Estado encontra aproximadamente 99% das ocorrências registradas no domínio geomorfológico da serra geral.

2.2.8 Hidrografia

Para Chistofolletti (1981), “O estudo de vales fluviais é complexo, pois envolve a atuação do curso de água e os processos morfogenéticos atuantes nas vertentes. Representando formas de relevo em maior escala, o vale não se restringe só a receber as influências do rio que se escoia pelo seu fundo, mas expressa influências advindas das forças morfogênicas externas e das forças internas. A tectônica e a litologia são fatores de importância muito grande”.

O autor conceitua vale como sendo “a designação dada às formas de relevo entalhadas como corredor ou depressão longitudinal, de tamanho e aspectos, variados, e ocupados pelos cursos d’água. Vários autores conceituam vale e em comum encontramos a inclinação e topografia como preponderante nas descrições.

Ressalta ainda que somente no século XIX a ação erosiva passou a ser considerada como fator importante no modelado dos vales e que a esculturação do vale é resultante “da interferência de três linhas evolutivas: escavamento do leito ou aprofundamento do talvegue, alargamento das vertentes e aumento da extensão ou encomprimento.”

Propõe Christofolletti (1981), que o escavamento do Vale “está relacionado com a dinâmica fluvial, já o alargamento está relacionado com a atuação dos processos morfogenéticos sobre as vertentes, resultando principalmente da ação dos processos de erosão lateral, escoamento pluvial, ação das enxurradas e a meteorização e movimentos de massa. A erosão lateral que pode promover o solapamento basal e causar o desmoronamento de material até o rio. O escoamento pluvial promove o rebaixamento e ampliação das vertentes, as enxurradas escava sulcos e ravinas nas vertentes e a meteorização e os movimentos de massa contribuem para a ampliação dos vales.

Segundo o autor, “Quando as vertentes são muito abruptas, pouco material detrítico permanece sobre elas e os fragmentos detríticos liberados movimentam-se para jusante até o curso de água formando os solos aluviais”.

Conforme o autor, as formas de relevo originadas em ambientes fluviais estão relacionadas aos processos de sedimentação e aos erosivos. (...) O entrelaçamento das ações erosivas e deposicionais, no tempo e no espaço, produz complexos de formas topográficas (...) Segundo ainda o autor, “cada ambiente reflete não só a ação fluvial como também a interferência de condicionamento exercido por outros fatores, como o marinho, o lacustre, fluvial, na escala temporal, pode ser a responsável pela formação de terraços fluviais e pelo estabelecimento de vales fluviais.

Considerando os dados morfométricos obtidos por Nummer (2003), a Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas, caracterizada por seu rio principal com 26,4 km de extensão, possui comprimento de 33,56km com perímetro de 131,85km. Os canais de 1ª e 2ª ordem, segundo o autor, nascem no Planalto ou na zona de encosta e normalmente estão associados às rochas vulcânicas ácidas, sofrendo desgaste com a ação fluvial. Os canais de 3ª, 4ª e 5ª ordem ocorrem em rochas basálticas abaixo da cota 540-550m ocorrendo nesta área um acelerado desgaste das rochas e maior entalhamento do vale do Rio Três Forquilhas.

2.2.9 Vegetação e Uso do Solo

A cobertura vegetal é uma importante variável para a determinação das áreas vulneráveis a movimentos de massa; a distribuição da cobertura vegetal tem grande importância nas áreas planas e de média encosta; já para as áreas com declividade alta para Varnes (1978) *apud* Nummer (2003), a cobertura vegetal de grande porte passa a ser potencializadora dos movimentos de massa, pois, com a incidência dos eventos meteorológicos extremos e o solo residual de pouca profundidade, sobrecarrega a camada superficial do substrato rochoso potencializando os deslizamentos e escorregamentos de massa da área; nas demais áreas, a cobertura vegetal é uma variável que minimiza a ação erosiva.

O tipo vegetal característico da área é subdividido por RADAM/BRASIL (1986), em cinco formações que são ordenadas pela topografia do terreno, refletindo fisionomias segundo as variações ecotípicas das faixas altimétricas resultantes de ambientes distintos com variação de temperatura de 1º C a cada 100m de altitude senso superior no caso de considerar-se a temperatura biológica desses substratos. A subdivisão proposta classifica essas formações como: Formações Aluviais, Formações de Terras baixas, Formação Submontana, Formação Montana e Formação Alto-montana.

A Floresta Ombrófila Densa Submontana representa o dissecamento do planalto com solos medianamente profundos e formação florestal de altura uniforme.

A Floresta Ombrófila Densa Montana está situada entre 400m e 1000m de altitude com manutenção de sua estrutura próxima ao cume dos relevos dissecados com estrutura florestal de dossel uniforme.

A Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária), também conhecida como pinheiral é uma vegetação típica do planalto meridional; apresenta quatro formações distintas: Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Floresta Ombrófila Mista Submontana, Floresta Ombrófila Mista Montana e Floresta Estacional Semidecidual, condicionado seu conceito ecológico a seca fisiológica provocada pelo intenso frio do inverno com temperaturas médias inferiores a 15°C. A Formação das Terras baixas ocorre entre 5m a 30m nesta latitude, a formação Submontana de 30m a 400m e a formação Montana de 400m a 1.500m de altitude. Fazem parte da paisagem refúgios

ecológicos, ou seja, “comunidades de vegetação totalmente diferentes do tipo em que estão inseridas”. A área é amplamente ocupada por vegetação secundária que, para RADAM/BRASIL (1986), são “áreas onde houve a intervenção para o uso da terra, seja por finalidade mineradora, agrícola ou pecuária, descaracterizando a vegetação primária”, esta vegetação secundária surge após o abandono da terra.

Na figura 6 é possível observar o perfil esquemático dos ambientes fisionômicos da média e baixa encosta.

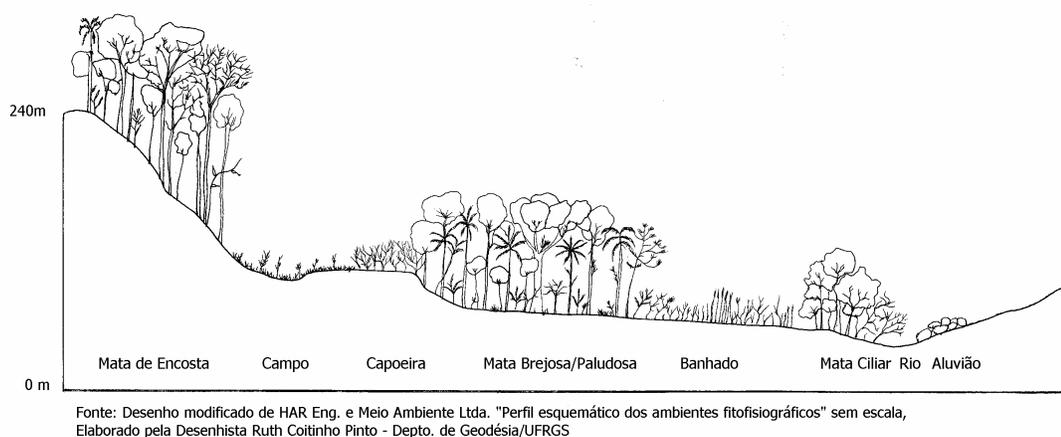


Figura 6 – Perfil esquemático dos ambientes fitofisiográficos do trecho da Mata Paludosa na Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas

Neste perfil estão representados os ambientes fitofisionômicos de Mata de encostas onde encontram-se espécies como catiguá, bananeira-do-mato, corticeira da serra, sorococo, cedro e tanheiro. Nos campos encontram-se principalmente erva lanceta, pega-pega, grama Santa Catarina entre outros. Nas capoeiras marica, carobina. Na mata brejosa ou paludosa encontram-se palmitreiro, gerivá, canela-guaruva, xaxim do banhado, figueira-do-mato, xaxim-de-espino, embaúba, lírio-do-brejo. No banhado tiririca, taboa, cruz-de-malta, pata-de-vaca. Na mata ciliar encontram-se rabo-de-bugio, branquilha e sarandi-branco (EIA/RIMA, 1990).

3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na presente pesquisa, consideramos como risco ou evento perigoso os movimentos de massa na forma de deslizamento.

Fernandes e Amaral (1996), definem deslizamentos como um dos processos resultantes dos movimentos de massa citando “as várias formas e processos de movimentos de massa, destacam-se os deslizamentos nas encostas em função da sua interferência grande e persistente com as atividades do homem, da extrema variância de sua escala, da complexidade de causas e mecanismos, além da variabilidade de materiais envolvidos.”

Para os autores o Brasil “por suas condições climáticas e grandes extensões de maciços montanhosos, está sujeito aos desastres, associados aos movimentos de massa nas encostas.” Dividem deslizamentos em “quatro grandes grupos: deslizamentos seguidos de corridas de terra, deslizamentos de detritos, corridas de detritos e quedas ou deslizamento de rocha”.

Esses autores definem deslizamento como “processos de intemperismo e erosão, fenômenos naturais e contínuos de dinâmica externa, que modelam a paisagem da superfície terrestre“. Essa modelagem da paisagem, mesmo ocorrendo de forma natural, provoca, em áreas de risco, danos ao homem e ao meio ambiente. Os deslizamentos configuram cicatrizes nas encostas. A figura 7 apresenta a cicatriz de um deslizamento ocorrido em novembro de 2007 na localidade de Itati/RS. Já na figura 8, percebemos um conjunto de cicatrizes resultantes de deslizamento ocorridos em novembro de 2007 no município de Maquine/RS.

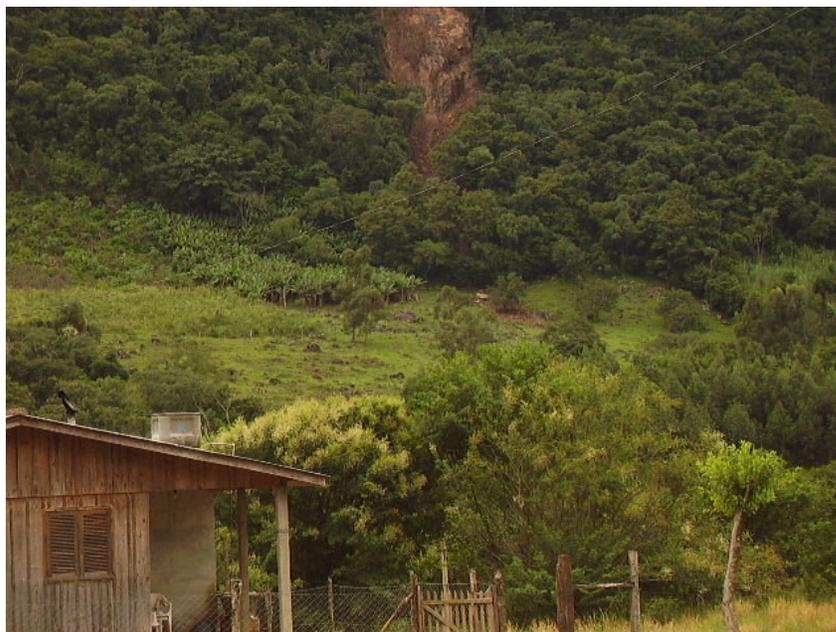


Figura 7 – Detalhe da cicatriz provocada por movimento de massa próximo a uma residência, Itati/RS, nov/2007. Foto: Michele Monguilhott



Figura 8 – Cicatrizs encontradas na região provocadas por movimentos de massa, Maquine/RS, nov/2007. Foto: Michele Monguilhott

Esses movimentos de massa apresentam-se como diferentes feições geradas pelos deslizamentos e podem ser denominadas, segundo Cunha (1991), como:

Tálus: depósitos de sopé de escarpas, originados principalmente por efeito da gravidade sobre fragmentos soltos. Os seus constituintes são angulosos e dispõem sem acamamento regular. Esses movimentos de massa ocorrem segundo o autor, na forma de:

Rastejos: movimentos lentos, associados a alterações climáticas sazonais;

Escorregamentos: movimento rápido de massas de solo ou rocha, com limites laterais e profundidade bem definidos;

Deslizamentos ou escorregamento: Movimento gravitacional, de massa rochosa ou intemperizada, ruptura de solo de encostas íngremes e que pode provocar catástrofes pelo deslizamento de grandes massas de terra e rochas em áreas urbanas e em rodovias. Resultante de ruptura basal, há boa definição de sua superfície de cisalhamento, onde o corpo deslocado mantém certa coesão e organização interna. O termo escorregamento tem sido aplicado ao deslizamento de blocos de rochas - (rockslide); deslizamento de solo - (landslide), ou deslizamento subaéreo;

Quedas: processos rápidos, envolvendo blocos ou lascas de rochas em movimento do tipo queda livre;

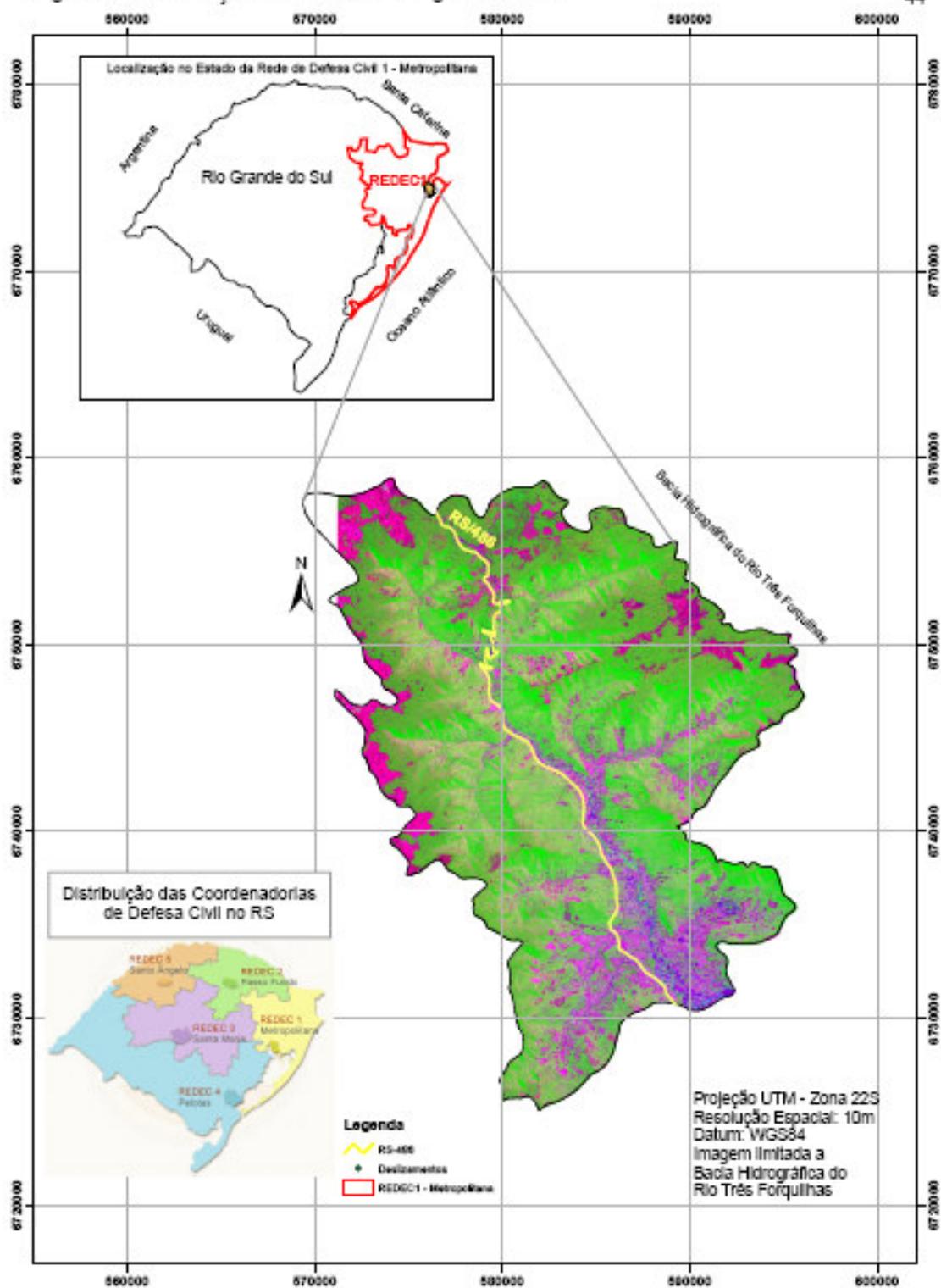
Tombamento: acontece em encostas/taludes íngremes em rochas fraturadas, facilitando o tombamento do talude; e

Corridas de massa: geradas a partir de um grande aporte de material para a drenagem, que, combinado com o volume de água, gera uma massa viscosa com alto poder destrutivo e de transporte e com extenso raio de alcance.

A identificação destas áreas está associada ao risco de deslizamento classificado por (IPT, 1991 apud Fernandes e Amaral 2006) como atual “quando instalado em áreas já ocupadas, ou potencial, quando envolve a susceptibilidade de ocorrência em áreas ainda desocupadas”.

No Estado a Defesa Civil atua através de coordenadorias regionais - REDEC tem sua principal atuação no atendimento a situações de emergência provocadas por eventos meteorológicos extremos que na área de estudos caracterizam-se como os movimentos de massa na forma de deslizamentos e enxurradas. A área de estudo faz parte da REDEC1 - Coordenadoria Regional de Defesa Civil Metropolitana localizada na figura 9.

Figura 9 - Localização da REDEC e Imagem SPOT 5



O Plano Nacional de Defesa Civil - PNDC define situação de emergência como sendo o “Reconhecimento legal pelo poder público de situação anormal, provocada por desastre, causando danos suportáveis à comunidade afetada”. Sendo dano uma

“Medida que define a intensidade ou severidade da lesão resultante de um acidente ou evento adverso. Perda humana, material ou ambiental, física ou funcional, que pode resultar, caso seja perdido o controle sobre o risco. Intensidade das perdas humanas, materiais ou ambientais, induzidas às pessoas, comunidades, instituições, instalações e/ou ecossistemas, como consequência de um desastre” (PNDC).

O encaminhamento desta pesquisa aconteceu na fase de operacionalização da rodovia RS/486 – Rota do Sol. A rodovia faz parte de um sistema viário inserido em um bioma sensível onde às consequências desta inserção não envolvem somente questões econômicas e políticas, mas, principalmente, sociais e ecológicas.

As mudanças ocorridas no ambiente requerem o constante monitoramento, que, por sua vez, requer que as informações sejam atualizadas. O sensoriamento remoto favorece o monitoramento dessas informações através do uso de imagens multiespectrais, pois estas estão constantemente sendo adquiridas por sensores orbitais.

Dessa forma, a facilidade para o mapeamento e visualização de informações após a classificação e análise auxilia na tomada de decisão e minimiza os possíveis riscos e danos ambientais locais.

A rodovia RS/486 – Rota do Sol é parte integrante de um sistema de transporte que, para Lima (2003), é definido como um “Conjunto das vias, dos meios e das instalações complementares que, formando um todo, contribui para alcançar, de maneira mais racional, o deslocamento de pessoas e coisas.”

Para abranger o tema desta pesquisa, os seguintes tópicos foram abordados: Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento; Transporte e Sistema Viário, Paisagem e Vulnerabilidade associada a movimentos de massa.

3.1 Sensoriamento Remoto

Teixeira e Christofolletti (1997), conceituam sensoriamento remoto como uma “técnica que utiliza sensores na captação e no registro da energia refletida ou emitida por elementos na superfície terrestre ou por outros astros”.

Diversas ciências se utilizam desta técnica para fins de estudo dos objetos da superfície terrestre. Considerações foram feitas por Carraro (1982), sobre a interação dessa energia com a superfície e as trocas dessa radiação entre os objetos e o meio ambiente. Para os autores, “As superfícies naturais emitem, transmitem, absorvem e refletem seletivamente a radiação eletromagnética. Ao fazerem isto geram informações a respeito das características físicas, químicas e geométricas dos objetos.” Essa radiação tem características e as principais delas são a frequência, o comprimento de onda, a velocidade e a polarização.

Amplia-se, assim o sensoriamento remoto ao estudo de “problemas ecológicos, urbanos e de recursos naturais, com ênfase na observação periódica dos fenômenos dinâmicos como a atividade agrícola, o uso do solo urbano, o desmatamento florestal, a erosão e a inundação”. Os autores citam a importância do sensoriamento remoto para facilitar o estudo de áreas ainda não estudadas no território nacional.

Definido por Lillesand & Kiefer (2004), como “... a ciência e arte de receber informações sobre um objeto, uma área ou fenômeno pela análise dos dados obtidos de uma maneira tal que não haja contato direto com este objeto, esta área ou este fenômeno”.

Já Jardim (1995) *apud* Chanam (1997), destacam que: “cada objeto na superfície terrestre possui um comportamento de reflectância diferente para cada região do espectro eletromagnético, representado por uma curva de reflectância espectral. Esta curva é denominada de assinatura espectral.”

Para Moraes (2007), o comportamento espectral dos objetos “pode ser definido como sendo o conjunto dos valores sucessivos da reflectância do objeto ao longo do espectro eletromagnético, também conhecido como a assinatura espectral do objeto.” Para o autor pelo fato de os objetos interagirem de forma diferenciada conforme suas propriedades físico-química e biológica a interação entre estas e a

radiação eletromagnética incidente define o comportamento ou assinatura espectral do alvo.

Meneses (2001), alerta para o fato de que “a radiação eletromagnética refletida, cuja intensidade e qualidade é função das propriedades espectrais, define a absorvância e a transmitância dos objetos. Contudo, não se pode desconsiderar que a reflectância é também dependente de propriedades espaciais do objeto, tais como tamanho, forma, estrutura e textura de sua superfície.” A soma desses atributos caracterizam a imagem do objeto registrada pelo sensor. Essa característica, segundo o autor, é expressa em valores digitais dos pixels ou em níveis de cinza e representam a intensidade de reflectância do alvo.

A cobertura vegetal foi considerada como uma importante variável para a determinação das áreas vulneráveis, a movimentos de massa. Ocorre que o comportamento espectral da vegetação, como destaca Meneses (2001), é alterado de forma complexa e, para o autor, “para minimizar a variabilidade causada por fatores externos, a reflectância espectral tem sido transformada e combinada em vários índices de vegetação”.

É evidente que os autores citados anteriormente evidenciam a importância do sensoriamento remoto citando o geoprocessamento como uma ferramenta fundamental para a análise das informações geradas pelo sensor.

3.2 Geoprocessamento

Mundim (2001) *apud* Caldas (2006), define geoprocessamento como “um conjunto de ferramentas e técnicas usadas para interpretar, analisar e compreender o espaço em diferentes perspectivas”.

Burrough & McDonnell, (1998); Lamparelli, Rocha & Borghi, (2001); e Pires, Santos & Del Prette, (2002) *apud* Caldas (2006) propõem que a modelagem de processos “é uma ferramenta analítica, e baseia-se na noção de que o SIG não representa simplesmente um determinado ambiente, mas ele é um ambiente artificial, capaz de ser medido, trabalhado e dirigido por processos geográficos e temporais. Prevê padrões espaciais de processos ecológicos, com relação a

possíveis cenários decorrentes do tipo de ocupação do solo ou uso dos recursos naturais.”

Os autores evidenciam ainda a importância da modelagem para o geoprocessamento quando destacam o trabalho de Câmara e Medeiros (1998) *apud* Caldas (2006), onde os autores revelam que “as contribuições mais relevantes da modelagem de dados em geoprocessamento são: a integração das imagens de sensoriamento remoto e modelos digitais de elevação com mapas temáticos; suporte para representações geométricas múltiplas de uma mesma entidade do mundo real; e coexistência de representações vetorial e matricial num mesmo sistema”.

Rocha (2000) cita que, com “o advento da informática na automação de processos, surgiram várias ferramentas para a captura, armazenamento, processamento e apresentação de informações espaciais georreferenciadas.” Cita, ainda, que o geoprocessamento seria a ligação técnica e conceitual destas ferramentas e a estrutura base para o processamento de dados geográficos.

Para conceituar geoprocessamento, Rocha (2000), aborda três autores: Silva (2004), “Geoprocessamento é um conjunto de técnicas de processamento de dados, destinado a extrair informação ambiental a partir de uma base de dados georreferenciada.” Câmara & Medeiros (1998), “Geoprocessamento denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas”.

Diferentemente de Câmara e Medeiros (1998), que definem que o geoprocessamento acontece somente após a montagem do banco de dados, Rodrigues (1993) *apud* Rocha (2000) considera a coleta de dados também como integrante da técnica de geoprocessamento. Neste trabalho entendemos que, sem a preparação e coleta dos dados, o geoprocessamento não seria possível e que, portanto, não se pode excluir essas etapas importantes na aplicação da técnica.

Rocha (2000), após abordar todas as etapas do geoprocessamento, definiu o mesmo como sendo “uma tecnologia transdisciplinar, que através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados.”

3.3 Transporte e Sistema Viário

Para o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER “a estrada representa um elemento de fundamental importância no sistema de viação interna de qualquer país.”

Fraenkel (1959), propõe que o uso do “transporte rodoviário significa nos nossos dias eficiência, conforto, progresso, segurança e independência política e econômica (...)” . Isso na época era o pensamento sobre as vantagens do sistema rodoviário.

Transporte, na definição do Departamento Nacional de Transportes – DNIT, é o deslocamento de pessoas ou de bens sobre um itinerário previamente preparado.

Para a Secretaria de Coordenação e Planejamento do Rio Grande do Sul (2006), “o setor de transportes abrange o transporte de carga em todas as modalidades existentes, pertencendo ao sistema de infra-estruturas relevantes sob o ponto de vista econômico e social. Entendendo infra-estrutura por um conjunto de obras e instalações físicas que possui vida útil resultante de investimentos passados.”

Segundo Novaes *apud* Lima (2003), “se aplicássemos uma classificação ABC às modalidades de transporte, no setor de transporte de cargas, o grupo A seria formado pelo transporte rodoviário (aproximadamente 60%), o grupo B pelo ferroviário (aproximadamente 20%) e o grupo C pelos demais (20%)” comprovando-se a importância desta interação quando se fala de transporte rodoviário e ambiente.

O sistema rodoviário no Rio Grande do Sul é responsável pela maior parte da carga transportada e pela quase totalidade do transporte de passageiros, sendo o sistema viário o principal meio de acesso às comunidades.

Para Santos (2002), as vias de transportes se constituem em macrossistemas técnicos proporcionando operacionalização aos demais sistemas técnicos. Para o autor, “o sistema técnico é o conjunto formado por objetos técnicos, cuja produção

tem como base intelectual a pesquisa e não a descoberta ocasional, a ciência e não a experiência”.

Depende deste sistema o desenvolvimento de uma região, não tendo, portanto, um papel passivo na economia em escala local ou regional e, segundo Lima (2003), “...é um importante elemento modificador do panorama econômico”.

Conforme o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) de 1990, a rodovia RS/486 foi construída principalmente para integrar a região nordeste do Rio Grande do Sul com o restante do Estado, gerando desenvolvimento econômico, social e cultural do local.

Para o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem - DAER, o objetivo da rodovia é atender ao fim específico de prover o Estado de uma malha rodoviária eficiente, moderna e bem distribuída, atendendo as expectativas das comunidades locais para o seu desenvolvimento.

O Centro de Desenvolvimento Sustentável da UNB (CDS) propõe que a interação do sistema de transporte ao ambiente acontece, primeiro, em atendimento às políticas públicas de curto prazo e, em segundo, integradas em mudanças culturais de longo prazo.

Com a necessidade principal de diminuir a distância e com o aumento significativo do volume de produção, o sistema de transporte evolui e torna-se favorável ao ambiente. Essa evolução pode chegar a atingir um nível danoso entre o setor de transporte, o meio ambiente e a paisagem, pois a relação de dependência do setor produtivo com o setor de transporte leva necessariamente ao aumento de possibilidade de danos ambientais e à modificação da paisagem.

Em relação aos danos ambientais Forman *apud* Freitas e Metzger (2004) é feito um alerta ao fato de que “as estradas afetam a atmosfera, o solo, a vegetação, a fauna e as comunidades humanas que estão em suas proximidades; e por sua vez, as estradas são afetadas pelo ambiente onde são construídas.”

Na interação entre a rodovia RS/486 e o ambiente, destaca-se a necessidade da preservação de áreas frágeis e a minimização dos efeitos de uso e manutenção da rodovia. Podemos observar na figura 10 que a rodovia RS/486 atravessa quatro Unidades de Conservação, sendo uma delas a Área de Preservação Ambiental -

APA Rota do Sol, criada por lei, após o início das obras da rodovia durante a fase de implantação da estrada.

Figura 10 - Unidades de Conservação integrantes da área de estudo

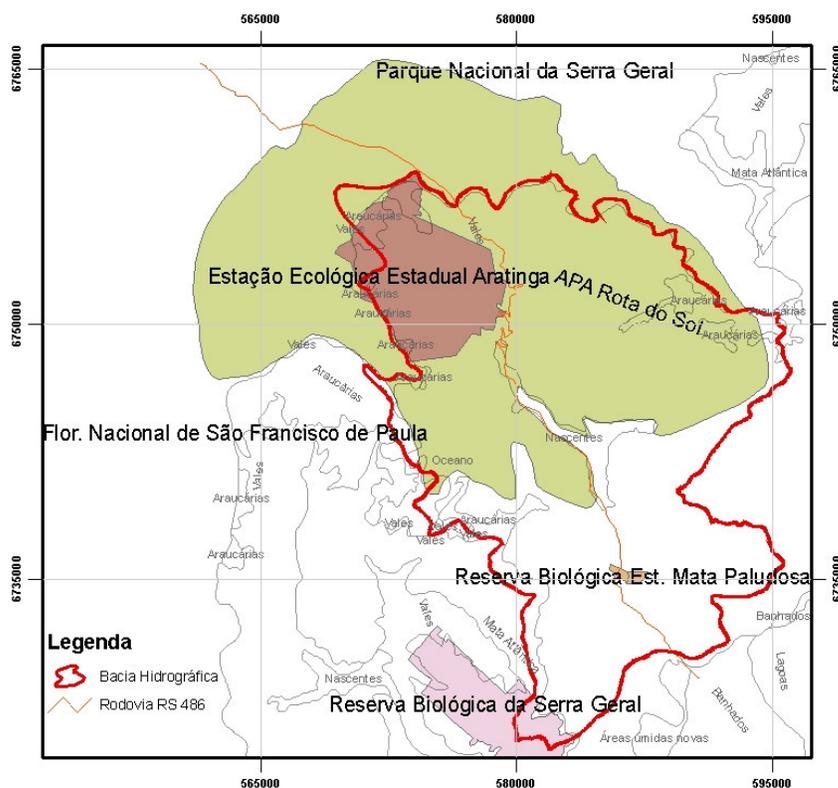


Figura 10 – Unidades de Conservação - UCs

Para Barclay apud Morelli (2005), o ambiente é a dimensão do espaço geográfico que abriga o ser e seu entorno, ou seja, a sociedade nas suas interações, onde esta é o sujeito das transformações ocorridas neste dinâmico palco tridimensional.

(...) as condições, circunstâncias e influências sob as quais existe uma organização ou um sistema. Pode ser afetado ou descrito pelos aspectos físicos, químicos e biológicos, tanto naturais como construídos pelo homem. O ambiente é comumente usado para referir-se às circunstâncias nas quais vive o homem. Barclay (1988).

Neste sentido, Suertegaray (2000), alerta que a Geografia tem pensado o ambiente diferentemente da Ecologia, onde o homem se inclui não como ser naturalizado, mas como um ser social, produto e produtor de várias tensões ambientais.

Falar da interação do setor de transporte ao ambiental não é possível sem necessariamente citar a questão do desenvolvimento sustentável, que, segundo o Relatório Brutland (WCED, 1987), é o “desenvolvimento que proporciona as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das futuras gerações obterem as suas próprias. Logo a interação sugerida deve abordar os aspectos social, econômico e ambiental deste setor com as comunidades envolvidas”.

3.4 Paisagem

Como uma fotografia, a paisagem contém tudo o que podemos enxergar. Assim, os elementos definidores desta paisagem são os objetos e/ou o conjunto de objetos que apresentam forma, textura, cor, brilho, traçado e que formam o espaço. O que enxergamos neste espaço, interpretamos de forma subjetiva e percebemos o mesmo de diferentes maneiras.

Diferentes linhas de pensamento definem paisagem, e o entendimento desta paisagem requer o conhecimento e a integração de diferentes variáveis como o clima, a geologia, a geomorfologia, a pedologia e o uso da terra em si.

Segundo Santos (1982), “a paisagem não tem nada de fixo, de imóvel.” Os elementos formadores da paisagem são em sua totalidade objetos móveis, seja pela ação do homem, seja da própria natureza.

Para este mesmo autor, “a paisagem representa diferentes momentos do desenvolvimento de uma sociedade, compreendendo dois elementos: os objetos naturais que não são obras do homem nem jamais foram tocados por ele e os objetos sociais, testemunhas do trabalho humano tanto no passado como no presente”.

A paisagem é, portanto, o resultado de uma acumulação desigual de tempos. “Para cada lugar, em cada porção do espaço, essa acumulação é diferente: os objetos não mudam no mesmo lapso de tempo, na mesma velocidade ou na mesma direção”. (Santos, 1982)

Para esse autor, o sistema viário é formado por um conjunto de objetos técnicos que vão sendo modificados conforme a evolução da sociedade de um lugar. Por este motivo, a paisagem contém objetos técnicos de diferentes idades e diferentes funções e é considerada como um processo em constante transformação.

Aqui destacamos a implantação e a operação de um sistema viário denominado RS/486 “Rota do Sol”, para uma região específica. Esta paisagem formada pela rodovia e pelos elementos naturais do seu entorno está inserida no bioma Mata Atlântica.

3.5 Vulnerabilidade Associada a Movimentos de Massa

Se formos tratar a vulnerabilidade no sentido de fragilidade de formas, Santos (1982), alerta que a paisagem, como acúmulo desigual de tempo, altera-se continuamente para poder acompanhar as transformações da sociedade. A forma é alterada, renovada, suprimida, para dar lugar a uma outra forma que atenda às necessidades novas da estrutura social.

Vulnerabilidade, segundo o Programa Nacional de Defesa Civil - PNDC é “(...) condição intrínseca ao corpo ou sistema receptor que, em interação com a magnitude do evento ou acidente, caracteriza os efeitos adversos, medidos em termos de intensidade dos danos prováveis. Relação existente entre a magnitude da ameaça, caso ela se concretize, e a intensidade do dano conseqüente”.

Para Alves (1994) *apud* Suertegaray *et al.* (2000), “(...) a vulnerabilidade é a característica intrínseca de um sujeito, sistema ou elementos, que estão expostos a um evento perigoso e que corresponde à sua predisposição em ser afetado ou estar suscetível a sofrer perdas (danos)”.

Assim, no caso da rodovia RS/486, o sistema viário, seus usuários e os moradores do entorno da rodovia submetem-se a uma situação de risco e possíveis eventos perigosos.

Tricart (1969), propõe que as vertentes são em sua maioria instáveis, sujeitas a movimentos de massa.

Para Zuquette (1994) *apud* Suertegaray *et al.* (2000): o risco é o resultado entre o evento e a vulnerabilidade dos elementos do ambiente a esse evento. Evento perigoso é a ação externa a que está exposto um sujeito ou um sistema, representando um perigo (latente) relacionado a fenômenos resultam no risco quando associados a vulnerabilidade que envolve aspectos geográficos e humanos. Matematicamente, é a probabilidade de exceder a um nível aceitável de ocorrência do evento, com determinada intensidade, em lugar específico em um período determinado.

Os movimentos de massa ocorridos na área de estudo são considerados pequenos a grandes em intensidade e são comuns nas encostas dos vales da escarpa do Planalto Meridional, segundo Dias *et al.* (1999). Para o autor, os movimentos de massa ocorridos na região “ameaçam destruir vidas, casas, bem como aumentam os custos de construção e manutenção das estradas”. O autor classifica estes movimentos de massa como do tipo “fluxo de detritos originados na parte superior da escarpa, no setor dos derrames ácidos, durante, ou logo após episódios de chuvas torrenciais. Têm forma erosiva de cicatrizes lineares, desenvolvidas desde o topo até o fundo dos vales, onde deixam depósitos recentes não intemperizados em forma de leque, de material em que predominam blocos e seixos angulares não intemperizados.” Observados no detalhe da figura 11.

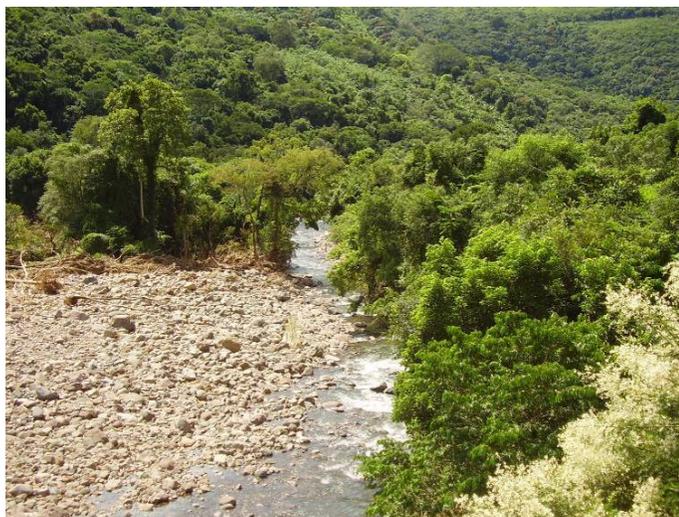


Figura 11 – Fluxo de detritos originados na parte superior da escarpa. Rio Três Forquilhas, Três Forquilhas/RS, nov/2007. Foto: Michele Monguilhott

Os processos erosivos ocorridos iniciam-se facilitados pelo intemperismo, pelos altos índices pluviométricos da área e facilitam, através de processos erosivos, a ocorrência de movimentos de massa. Esses processos ocorrem na forma de erosão laminar como propõe Alberton (2004), que é quando a encosta é lavada pela água que desce a superfície do terreno sem formar canais de escoamento superficial, ou na forma de erosão por sulcos, que, é a concentração de água em caminhos preferenciais arrastando partículas maiores, formando sulcos ou ravinas. Os principais fatores que desencadeiam esses processos são: a ação da água das chuvas, o tipo de cobertura vegetal, o tipo de solo/rocha, a profundidade do lençol freático e a topografia.

A erosão linear é dividida por Gomes (1976) em escoamento e ravinas, onde o escoamento transporta os elementos finos e, após saturação do solo, após fortes precipitações, desloca o material grosseiro, em blocos de tamanhos pequenos a médios. As ravinas encontradas na área, são classificadas pelo autor como ravinas em anfiteatros erosivos, que são ravinas fixas, de grandes proporções, recobertas atualmente por vegetação, onde rios até hoje descem em formas de filetes d'água intermitentes nos períodos chuvosos. Já as ravinas ativas relacionadas ao atual regime hídrico apresentam-se como ranhuras de menor porte, ocorrendo nas

vertentes mais íngremes, arrastando a vegetação além de partículas, deixam cicatrizes verticais, onde a vegetação se recupera, essas ravinas realimentam o fundo dos vales com material oriundo dos depósitos retrabalhados pela ação da drenagem. Quanto à dinâmica fluvial, Gomes (1976), destaca que devido a distribuição anual das chuvas e ao elevado grau de umidade nos vales, os rios são perenes no médio e baixo curso e intermitentes, devido ao rápido escoamento, nos altos cursos, mantendo-se ativa sua planície de inundação. O autor considerou apenas dois tipos de processo no caso da dinâmica fluvial do Planalto Meridional, o solapamento das margens e a acumulação. O solapamento das margens é consequência da concentração de grandes volumes de água nas cabeceiras dos rios, provocando pela vazão do rio o remodelamento das margens formadas por seixos, nos médios cursos. Esta dinâmica provoca um rearranjo da drenagem, originando novos canais; a acumulação é resultante das freqüentes inundações da área, causando um maior espalhamento de seixos que se acumulam no fundo dos leitos; o material mais fino é transportado e se deposita no baixo curso, formando os diques aluviais; durante as cheias o material grosseiro é transportado.

Pelo que propõe Gomes (1976), no Planalto Meridional são distinguíveis em princípio três séries de movimentos de massa associados ao: 1) baixo-terraço, Quaternário recente, com material e formas frescas ao; 2) Quaternário médio, com formas um pouco obliteradas, algumas vezes retomadas pelos movimentos de massa ligados ao Quaternário recente e constituídos de blocos e cascalhos basálticos sem alteração após a deposição do material; 3) Quaternário antigo, que sofreram dissecação por ações torrenciais, formados de material que sofreu forte alteração depois de cessada as corridas de lama. Para o autor todos esses materiais podem ser retomados por movimentos de massa atuais, pois se localizam em encostas fortemente associados a umidade e a litologia, formando cicatrizes. Para o autor, é um processo constantemente realimentado e contínuo.

Já Nummer (2003), descreve que os principais processos morfogenéticos atuantes nas vertentes da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas são a erosão e os movimentos de massa. Destaca ainda que a erosão na área é minimizada pela cobertura vegetal da Mata Atlântica, contrariando o que propôs Varnes (1984) *apud* Nummer (2003), quando ressalta os aspectos negativos da cobertura vegetal de grande porte em áreas de alto declive para a estabilidade das encostas.

Mioto e Carlstron Filho *apud* Nummer (2003), propõem como fenômenos de instabilidade característicos na Bacia Sedimentar do Paraná e segundo o tipo de material envolvido no movimento de massa (solo, rocha e misto) o talude terroso; talude misto e talude rochoso. Para o autor, a instabilidade do talude e encosta tem sua origem com a formação da própria rocha associada a sua história geológica-geomorfológica atuando sobre os taludes ou encosta mais de um condicionante, agente, fator ou causa, existindo como agente efetivo diretamente responsável pelo desencadeamento do movimento de massa: a erosão pela água ou vento, variação da temperatura, ação de fontes e mananciais, oscilação do lençol freático, ação humana, entre outros agentes efetivos desse desencadeamento. Já a ação erosiva imediata seria a ocorrência de chuva intensa, fusão de gelo e neve, terremotos, ondas, vento, ação do homem, etc...

Ainda o autor, destaca que o termo escorregamento (*landslides*) é utilizado como sinônimo de movimento de massa (*mass movements*), significando “todo e qualquer movimento de materiais terrosos ou rochosos, sob ação da gravidade, na presença, ou não, de água, gelo ou ar, não importando sua forma, velocidade e nem o processo que o gerou”.

Para Sharpe (1938) *apud* Nummer (2003), é de ampla aceitação e este considera que os movimentos de massa baseiam-se nos seguintes fatores: quantidade de água ou gelo atuante no processo; natureza do movimento: escorregamento ou queda, quando massa coerente e corrida quando há deformação interna; e velocidade do movimento.

Uma classificação empregada no Brasil e reconhecida internacionalmente, foi proposta por Jones (1973) e Thomas (1994) *apud* Nummer (2003), classificando os movimentos de massa em quatro categorias: 1) colapso; 2) escorregamento de detritos e avalanches; 3) corrida de detritos e lama; 4) quedas de blocos e deslizamentos de rocha.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A proposta deste trabalho é elaborar mapas que representem a vulnerabilidade física/ambiental da fase operacional da rodovia RS/486 Rota do Sol. Estes mapas possibilitarão a espacialização de áreas de instabilidade para o sistema de transportes naquele trecho. O primeiro trabalho de campo desta pesquisa aconteceu devido a uma situação de emergência que resultou na interdição da rodovia na época.

É importante destacar que o trabalho limitou-se temporalmente a abordagem da realidade física da rodovia RS/486 quando da etapa de operacionalização da rodovia. Dessa forma, os mapas de geomorfologia, geologia, solos e localização do trecho da rodovia RS/486 foram usados como base, pois já estavam elaborados e estruturados, encontrando-se disponíveis para uso.

Para cumprir os objetivos proposto, foram associadas técnicas de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento, possibilitando a integração dos aspectos naturais referentes à área de estudo, no sentido de facilitar a sua análise espacial.

Diferentes variáveis foram analisadas para o estudo e caracterização dessa área onde se localiza o trecho da rodovia RS/486 visando sua correlação com a vulnerabilidade para movimentos de massa.

4.1 Base de Dados

As bases utilizadas foram reduzidas de sua abrangência territorial apenas para a área da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas-RS, limitada pelas

coordenadas UTM 569400/E 6758000/N e 594200/E 6725400/N. A base cartográfica das variáveis estudadas resultaram da vetorização dos mapas analógicos de solos, geologia e geomorfologia.

A primeira fase do trabalho foi destinada à aquisição de dados geográficos em meio digital e alguns destes dados foram adquiridos através do acesso *on line* à plataforma de dados para uso em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) disponibilizados por organismos públicos estaduais e federais, conforme descrito na tabela 4.

Tabela 4 – Bases cartográficas utilizadas

Informação	Origem da informação - compilado de
Divisão territorial	Existente em formato digital – IBGE 2001
Geologia	Carta Geológica em escala 1:250.000 – CPRM Existente em formato analógico: Mapa Geológico Regional em escala 1:100.000 – RADAM BRASIL, (1986). Convertido para o formato vetorial através de vetorização em tela e apresentado em escala 1:250.000.
Geomorfologia	Existente em formato analógico: Mapa Geomorfológico Regional em escala 1:100.000 – RADAM BRASIL, (1986). Convertido para o formato vetorial através de vetorização em tela.
Solos	Existente em formato analógico: Mapa de Solos Regional em escala 1:100.000 – RADAM BRASIL, (1986). Convertido para o formato vetorial através de vetorização em tela.
Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas	Existente em formato digital na escala 1:100.000 – Lageo/UFRGS
Fragmento 2km da RS/486	Elaborado a partir de <i>buffer</i> da estrada RS/486 – Rota do Sol
Pontos levantados em campo	Transferidos do GPS com o uso do programa TrackMaker e convertidos em shapefile para uso no ArcGis
Vegetação	Existente em formato digital em escala 1:250.000 – MMA 2007, coordenadas geográficas, Datum SAD 69
Unidades de Conservação Áreas indígenas	
Hipsometria	Existente em formato digital – FEPAM 2005 em escala 1:250.000, coordenadas geográficas, Datum SAD 69
Recursos hídricos	
Estrada RS/486	Elaborada a partir de navegação em campo e transferida do GPS com o uso do programa TrackMaker após conversão para formato .shapefile (shp) para uso no ArcGis
MDE	Elaborada a partir de arquivo vetorial de Curvas de Nível disponível em CD ROM em escala 1:250.000 da Base Cartográfica do Rio Grande do Sul preparada para SIG pela FEPAM (2005)
Declividade	Elaborada a partir de MNT gerado através de arquivo vetorial de Curvas de Nível disponível em CD ROM em escala 1:250.000 da Base Cartográfica do Rio Grande do Sul preparada para SIG pela FEPAM (2005)

Os dados analógicos foram convertidos para o meio digital (vetorial) em formato shapefile, através da digitação em tela utilizando o software ArcGis.

Além da identificação das cicatrizes, foram feitos registros fotográficos e utilizadas cartas topográficas do Serviço Geográfico do Exército em diferentes escalas.

4.1.1 Bases Cartográficas

A base cartográfica digital do Rio Grande do Sul na escala 1:250.000 está disponível na Biblioteca Digital da Fundação Estadual de Proteção ao Meio Ambiente – FEPAM/RS (http://www.fepam.rs.gov.br/programas/gerco_norte.asp). As demais bases digitais de dados vetoriais estão disponíveis através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, do Ministério do Meio Ambiente – MMA, da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e da Agência Nacional de Águas - ANA.

O IBGE disponibiliza o acesso à informação de cadastro municipal e à malha viária em escala 1:250.000 além das informações tabulares de dados censitários dos municípios pesquisados.

A ANA dispõe de acesso online através de SIG a um extenso banco de dados geográficos. Neste trabalho foram utilizadas as bases em escala 1:250.000 do sistema hidrográfico da Bacia do Atlântico Sul.

A ANEEL disponibiliza, em seu banco de dados, bases em escala 1:1.000.000 de Usinas Hidroelétricas, Unidades de Conservação, Áreas Indígenas, Sistema de Alta e Baixa tensão de energia elétrica e Linhas de Transmissão e foi utilizada neste trabalho a base vetorial de Unidades de Conservação.

4.1.2 Imagem Orbital Multiespectral do Satélite SPOT e Processamento Digital

Para a geração do mapa de Uso do Solo foi utilizada a imagem do Satélite SPOT 5, sensor HRG obtida através do convênio do Projeto Mata Atlântica/SEMA/CEPSRM/UFRGS.

O sensor HRG (High-Resolution Geometric) gera imagens no modo pancromático (banda P) com resolução espacial de 5 ou 2,5 metros, no modo multiespectral com resolução espacial de 10m nas bandas 1, 2, 3 e 4. Esse sensor faz o imageamento em modo multiespectral em 4 bandas: B1 (verde – 0,50 μm a 0,59 μm), B2 (vermelho – 0,61 μm a 0,68 μm), B3 (infra-vermelho próximo – 0,78 μm a 0,89 μm), B4 (Infra-vermelho médio – 1,58 μm a 1,7559 μm).

A imagem SPOT, sensor HRG, utilizada da órbita 712/409 de 27/08/20027, com ponto central da imagem, na latitude 29° 27' 51" S e longitude 50° 06' 05" O. Essa imagem foi processada no programa MultiSpec versão 3.30 para gerar composições e índices normalizados de vegetação. Após a normalização da imagem - NDVI foi analisado o resultado no sentido de verificar a distribuição da cobertura vegetal em contraste com as áreas não vegetadas. O processamento digital na imagem SPOT foi realizado somente para gerar obtenção da imagem NDVI. Posteriormente, foi extraído um recorte da imagem para facilitar o processamento no software. A imagem resultante foi georreferenciada para a adequação do sistema de projeção cartográfica no sentido de evitar conflitos de bases cartográficas na manipulação das ferramentas de análise espacial.

As bandas utilizadas para a obtenção do NDVI foram as bandas 2, 3, vermelho e infra-vermelho próximo respectivamente. A classificação de uso do solo foi elaborada e cedida pelo Projeto Mata Atlântica do CEPSRM.

Considerando o proposto por Meneses (2001), para minimizar a variabilidade causada por fatores externos, e no sentido de proporcionar melhor interpretação da cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas, foi aplicado à imagem SPOT o NDVI descrito por Rouse *et al.* (1973) *apud* Meneses (2001), como o uso de informações de refletâncias dos dosséis através da razão de bandas do vermelho e do infravermelho próximo, expresso através da fórmula a seguir:

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V})$$

As etapas deste processamento foram divididas em: correção atmosférica e geométrica das imagens; elaboração de composição colorida das bandas B2 e B3 para aplicação do Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (NDVI). Este processamento foi realizado no programa MultiSpec3. Na imagem gerada pode-se observar o mosaico da imagem SPOT 5 e os respectivos dados estatísticos considerados pelo programa para o cálculo do NDVI.

4.2 Programas e Equipamentos

O processamento das informações só foi possível com a utilização de diferentes programas e equipamentos que garantiram o suporte para o desenvolvimento deste trabalho. O objetivo inicial foi priorizar o uso de softwares gratuitos, porém, devido à complexidade de algumas rotinas empregadas, outros softwares de geoprocessamento foram necessários. Os programas licenciados utilizados para o trabalho pertencem ao Laboratório de Pesquisas em Geodésia do Departamento de Geodésia desta Universidade.

O programa ArcGis foi utilizado para processamento, análise e modelagem dos dados e o programa GPS *TrackMaker* para processamento e conversão das informações obtidas em campo (.gtm) para o formato *shapefile* (shp).

Após a compilação das bases cartográficas, foi iniciada a etapa de preparação para o trabalho de campo.

Foram elaborados mapas de apoio para o trabalho de campo. Nesta primeira fase, o objetivo foi identificar com o uso de equipamento de navegação *Global Position System* – GPS os pontos de deslizamento na faixa de domínio da rodovia RS/486 e localizar os demais itens previamente determinados em laboratório, tais como: obras-de-arte especiais (túneis e viadutos), passa-bicho para proteção da fauna, sinalização da rodovia, equipamentos públicos, escolas, igrejas, cicatrizes de deslizamentos anteriores, sítios arqueológicos, pedreiras e bota-fora.

Para tanto, foi percorrido todo o trecho da Rodovia RS/486 – Rota do Sol detalhadamente e foram validados todos os pontos de interesse em campo.

4.3 Análise Espacial

As bases utilizadas para a análise espacial são representadas por dados matricial e vetorial respectivamente. Arquivos no formato vetorial são, para Neto *et.al* (1993), “feições do mundo real representadas por pontos, linhas e polígonos, cuja posição espacial é definida por um sistema de coordenadas.

Já para o autor, o formato matricial é a representação regular do espaço subdivido em células. A localização das feições é definida pela posição das linhas e das colunas das células que a feição abrange.

A análise espacial aplicada neste trabalho baseada na proposta de Neto *et al.* (1993), empregando as “transformações de formato de dados”, são aplicadas através de reclassificação dos dados raster após a conversão de arquivos vetoriais para o formato grid. Essas conversões são realizadas por algoritmos utilizados pelo software ArcGis através da ferramenta *3D Analyst* destinados a integração/sobreposição (overlay) de dados com o objetivo de adicionar múltiplos valores aos temas originando um arquivo raster (grid) de mesmo tamanho e resolução além da associação de pesos às classes de cada variável resultante.

A adição de múltiplos valores aos arquivos/temas permite a geração de novas informações derivadas das anteriores. Uma das formas usadas para integração de dados resulta da utilização de operadores booleanos básicos (AND, OR, NOT), aplicadas entre as variáveis temáticas.

4.3.1 Processo Analítico Hierárquico (AHP)

Os arquivos vetoriais foram integrados usando operadores booleanos para a posterior atribuição de pesos ao modelo matricial (raster/grid). Buscou-se também definir uma área de influência através de análise de proximidade resultando na definição de um buffer delimitando o fragmento da rodovia RS/486 (Rota do Sol). Em etapa posterior, com os arquivos já convertidos para o modelo matricial realizou-se o cruzamento das informações aplicando o método de Processo Analítico Hierárquico -

AHP que é uma ferramenta de extensão disponível no ArcGis. Esta técnica desenvolvida por Saaty (1977), sendo um método muito utilizado para ponderação de valores na tomada de decisão. A ferramenta utiliza uma matriz de preferência onde todos os critérios relevantes são identificados e comparados uns contra os outros possibilitando mudar os critérios para as variáveis desejadas quando necessário.

Todos os critérios ou fatores considerados relevantes para a decisão são comparados “par-a-par” em uma matriz que se torna uma medida relativa para expressar a preferência entre os fatores.

Os dados utilizados na análise, para Câmara *et al.* (1996), *apud* Carvalho (2004), são processados por combinação numérica, através da seguinte média ponderada: $S = \sum S_{ij} \cdot W_i / \sum W_i$ onde:

S = valor do peso para a área

W_i = peso atribuído ao mapa temático

S_{ij} = peso atribuído para cada classe do mapa

Saaty & Vargas (1991), sugerem uma escala de comparação, constituída por valores que vão de 1 a 9, e descrevem a intensidade da importância (preferência/dominância) entre cada fator com a seguinte escala: O valor de 1 (um) manifesta "igualdade de importância " já o valor 9 (nove) é dado para aqueles fatores com uma "extrema importância" em detrimento de outros o exemplo desta escala de valores adotada pelo método AHP são descritos na tabela 5.

Tabela 5 - Escala de intensidade de importância dos critérios. Fonte: adaptado de Saaty (1990,1991) *apud* Granemann e Gartner (2007)

Intensidade de Importância	Definição
1	Importância igual
2	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes
3	Importância fraca de uma sobre a outra
4	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes
5	Importância forte
6	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes
7	Importância muito forte
8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes
9	Importância absoluta

Para Araújo (1999) *apud* Carvalho (2004), a análise AHP, por atribuir a devida importância para cada variável (peso), permite uma análise completa, constituindo-se em uma abordagem muito utilizada em Sistemas de Informação Geográfica – SIG.

O autor propõe que a atribuição de pesos seja feita baseada no conhecimento dos profissionais sobre o assunto, neste trabalho usou-se índices atribuídos propostos por especialistas nas diferentes áreas envolvidas estes índices foram adquiridos através de pesquisa bibliográfica. Após a definição dos índices, as variáveis foram reclassificadas através da atribuição de pesos segundo: sua importância relativa e igual importância (geomorfologia, geologia e solos) pela relação entre movimento de massa, características geomorfológicas, estrutura geológica (lineamentos e fraturas) e a composição do solo. O relevo foi avaliado considerando a associação entre alta declividade e orientação das vertentes, sendo o segundo critério de maior importância. Como a variável vegetação para alguns autores potencializa os processos de movimento de massa foi atribuída a esta variável o terceiro critério de maior importância. As análises foram feitas par-a-par, no primeiro momento comparando as variáveis geomorfologia, geologia e solos, sendo em seguida aplicada novamente a análise e comparadas na nova matriz as variáveis de declividade, vegetação e uso do solo resultando em um mapa dos aspectos fisiográficos ou Unidades ecodinâmicas como proposto por Ross.

4.4 Elaboração dos Mapas Temáticos

O mapa de solos identifica classes de solos as quais podem ser associados potenciais de erosão. O mapa-base regional compilado do Estudo de Impacto Ambiental da Rota do SOL (1990), na escala 1:100.000 apresenta uma classificação com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2006). As classes foram ordenadas conforme maior ou menor grau de risco à erosão levando em consideração o que, propõe Salomão, Iwasa (1995), *apud* Chanan (1997), considerando que “as propriedades físicas do solo (textura, estrutura, permeabilidade e densidade) e as características químicas, biológicas e mineralógicas exercem diferentes influências na erosão, ao conferir menor ou maior

resistência à erosão das águas.” Após a vetorização, o arquivo foi convertido para o formato matricial (grid), reclassificado para atribuição de pesos segundo os índices propostos por Ross (1991), aplicando aos diferentes tipos de solos locais, os graus de fragilidade 1, 2 e 3, fragilidade fraca, média e forte, respectivamente.

O mapa geomorfológico foi definido a partir do mapa-base regional compilado do Estudo de Impacto Ambiental da Rota do SOL (1990), na escala 1:100.000, este mapa identifica os diferentes domínios, regiões e unidades geomorfológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas. Após a vetorização das classes, o arquivo foi convertido para o formato matricial (grid) e reclassificado para a determinação da fragilidade da dinâmica da bacia com base nos índices propostos por ROSS (1991), esses índices foram adaptados à morfologia representativa da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas, atribuídos através de graus de dissecação ordenados hierarquicamente de um a 5, sendo estes atribuídos à classificação de graus de dissecação muito fraca, fraca, média, forte, e muito forte

O mapa geológico foi confeccionado a partir do mapa-base regional compilado do Estudo de Impacto Ambiental da Rota do SOL (1990), na escala 1:100.000. Este mapa identifica as diferentes formações geológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas. Após a vetorização das classes, o arquivo vetorial foi convertido para o formato raster (grid) e reclassificado para atribuição dos índices. Sendo o solo resultante da ação do intemperismo químico e físico sobre as camadas que recobrem as rochas, adotou-se para a reclassificação e atribuição de pesos desta variável os mesmo índices de fragilidade propostos por Ross (1991), graus 1, 2 e 3, fragilidade fraca, média e forte respectivamente.

Após realizou-se a integração e reclassificação da nova base para integração das variáveis: solos, geomorfologia e geologia obtendo-se o mapa de aspectos fisiográficos da área ou unidade ecodinâmica como proposto por Ross (1991).

4.4.1 Relevô

4.4.1.1 Modelo Digital de Elevação

Para Burrough (1986) *apud* Neto *et al.* (1993), um “modelo número de terreno – MNT, ou modelo digital de elevação - MDE é definido como um modelo

matemático tratável computacionalmente e representa a variação contínua do relevo no espaço sendo gerado a partir de amostras tridimensionais da superfície real, onde as coordenadas bidimensionais (X,Y) relacionam-se à posição de amostragem da superfície, e a cota - coordenada Z (X,Y,Z) está associada a característica que se quer modelar”.

O modelo digital de elevação resultou em uma grade triangular - TIN, utilizada para representar tridimensionalmente a superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas. A obtenção do TIN para a Bacia Hidrografia do Três Forquilhas foi realizada segundo proposto por Valeriano (2004), elaborado por krigagem das curvas de nível das folhas Tainhas, Barra do Ouro, Aratinga e Maquiné, processado com o uso da ferramenta *3D Analyst* do programa ArcGis 9.0, para a amostra tridimensional da Bacia Hidrográfica foram usados os dados tabulares do arquivo vetorial das curvas de nível da área de estudo em escala 1:50.000 que apresentam valor de elevação definido em intervalos distribuídos em 9 classes.

4.4.1.2 Declividade

A partir do modelo digital de elevação foi usado o comando slope do *Spatial Analyst* ferramenta disponível no ArcGis, para gerar o mapa de declividade para a Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas. O MDE foi reclassificado em valores percentuais de declividade e os intervalos de classes foram distribuídos em seis classes de declividade: entre 0% - 5% (plano), 5% - 13% (suave), 13% - 21%(suave e ondulado), 21% - 30% (morros e ondulado), 30% - 42% (escarpado) e maiores que 42% (fortemente escarpado) adaptado de Ross (1991).

4.4.1.3 Orientação das Vertentes

Também utilizando a reclassificação do MDE, com o uso do ArcGis aplicando a ferramenta *aspect* do *Spatial Analyst* onde foram definidas as direções das vertentes. Os quadrantes solares identificados foram: -1 a 0° - Plano, 0 – 22,5° e 337,5 a 360° - Norte (N), 22,5 a 67,5 – Nordeste (NE), 67,5 a 112,5° - Leste (E), 112,5 a 157,5° - Sudeste (SE), 157,5 a 202,5° - Sul (S), 202,5 a 247,5° - Sudoeste

(SW), 247,5 a 292,5° - Oeste (W), 292,5 a 337,5 – Noroeste (NW). Após, a identificação dos quadrantes solares e para o cruzamento das informações o arquivo gerado foi reclassificado e redistribuído para fins de padronização da variável.

4.4.2 Imagem NDVI

Citado por Kuwakubo *et alli* (2004), o NDVI é usado para estimar a proporção de biomassa através da diferença de brilho das bandas do vermelho e infravermelho próximo. Para a imagem SPOT 5 do sensor HRG utilizada neste trabalho, o NDVI foi calculado no programa Multispec3, através de operação aritmética que gera a imagem normalizada, a operação aritmética aplicada foi:

$$NDVI = \frac{B3-B2}{B3+B2} * 256$$
onde para a determinação do B3 foi utilizada a Banda HRG3 e para o B2 foi utilizada a Banda HRG2, o resultado do índice normalizado é apresentado na figura 12. A média resultante da imagem normalizada demonstra que existe uma grande parte da cena apresenta densidade média de áreas florestadas.

Input Parameters:

Image file = '712409.tif'
Lines 1 to 3448 by 1. Columns 1 to 2839 by 1

Channels used: 1-4

Output Information:

New output Image file name: '712409_erdas'

Output Information:

Statistics computed from base Image file and saved in '712409_erdas.sta'
Number of Bad Lines = 0
Total Number of Pixels = 1223609

Histogram Summary Table
First Last Line First Last Column
Line Line Interval Column Column Interval
1 3448 8 1 2839 1

Channel Standard	Channel Description	Data Range	Mean	Median	Deviation
1	9 to 18	132	53.7	54	17.2
2	18 to 33	255	36.8	32	12.6
3	33 to 5	255	51.2	49	10.0
4	5 to 202	202	53.1	52	18.9

Reformat (MultiSpec3.30.2005)

Input Parameters:

Image file = '712409_erdas'
Create transformed Channel Image
= 0.000000 + (C3-C2)/(C3+C2) * 255.000000
Lines 1 to 3448 by 1. Columns 1 to 2839 by 1

Channels used: 2-3

Output Information:

New output Image file name: '712409_erdas_NDVI.lan'
-100.846 is lowest calculated value
147.62 is highest calculated value
133189 pixels saturated at low end: 0
0 pixels saturated at high end: 255

Input Parameters:

Image file = '712409_erdas'
Lines 1 to 3448 by 1. Columns 1 to 2839 by 1

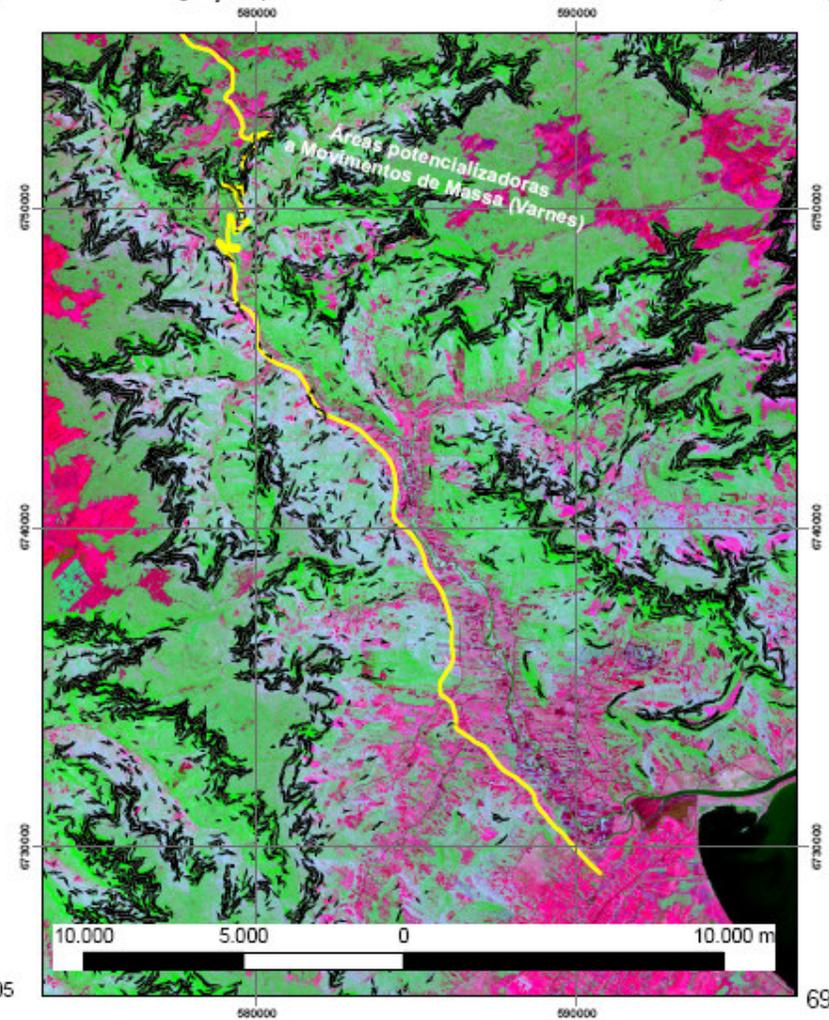
Channels used:

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Imagem satélite Spot5 - Sensor HRG
Projeção UTM - Zona 22S Escala 1:175.000
Resolução Espacial: 10m
Datum: WGS84
NDVI aplicado no software MultiSpec3.30.2005

SPOT 5 - NDVI

Em negro as áreas onde a vegetação é potencializadora da ocorrência de movimentos de massa (Varnes, 1984)



O Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) para Forman (1995) *apud* Guasselli *et al.* (2004), é um índice capaz de capturar características espaciais relevantes para o entendimento dos processos físicos e ecológicos da paisagem. Para o autor a característica das imagens NDVI é que realça as áreas florestadas usados para estudos de biomassa.

4.4.3 Uso e Ocupação do Solo

O mapa de uso do solo, foi reclassificado para padronização da variável segundo critérios e pesos definidos por Ross (1991) para as classes de uso do solo. O arquivo vetorial foi convertido para o formato raster (grid) novamente reclassificado e reduzido para o limite da área de estudo, ou seja, a área de abrangência da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas.

4.4.4 Registro das Ocorrências de Movimentos de Massa na RS/486

Para Guerra (1996) *apud* Alves (2004), “os desequilíbrios que se registram nas encostas ocorrem na maioria das vezes, em função da participação do clima e de alguns aspectos das características das encostas que incluem a topografia, geologia, grau de intemperismo, solo e tipo de ocupação”. Os eventos meteorológicos extremos agem diretamente sobre o modelado e influenciam na micro dinâmica climática do local.

Os pontos foram obtidos em campo com equipamento GPS Garmin 76, após a coleta, os pontos foram transferidos para o programa GPS TrackMaker através de interface GPS e, posteriormente, convertido para o formato vetorial shapefile.

A figura 13 mostra a localização dos pontos de deslizamentos ocorridos nos meses de novembro de 2006 e março de 2007.

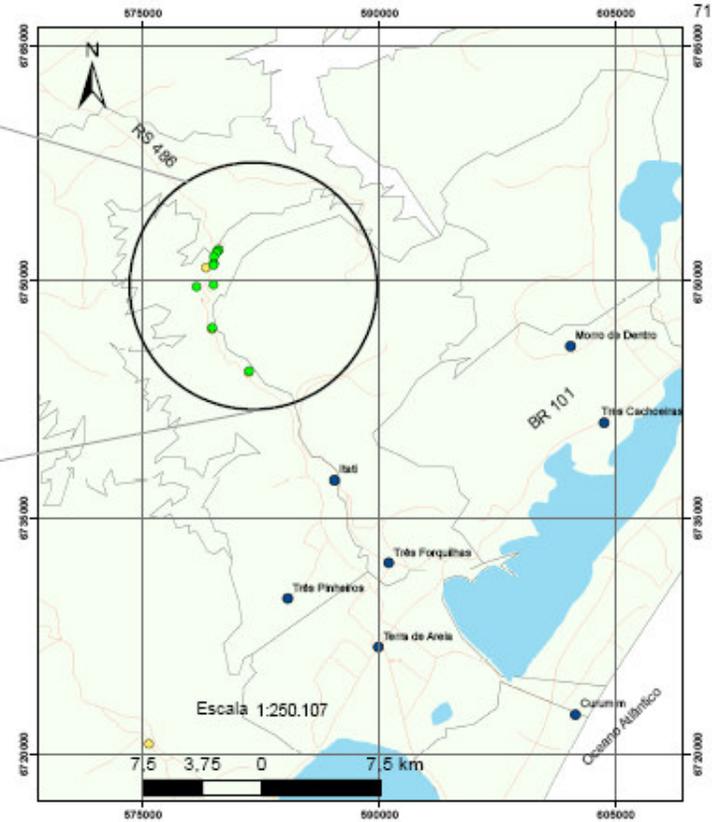
Localização dos pontos críticos na rodovia RS/486



Fonte:
 Base Cartográfica do Rio Grande do Sul
 em Escala 1:250.000, preparada para SIG
 da Fundação Estadual de Proteção Ambiental
 FEPA/MS/Serviço de Geoprocessamento (2005)
 MRS36
 Base Municipal do IBGE - Escala 1:250.000 (arquivo43MU2500G02)

Projeção UTM
 Datum Horizontal: Ajustado para SAD/69 (Brasil)
 Fuso 22S

- Legenda**
- Base Municipal
 - Rede Viária
 - Pontos Críticos
 - sedes municipais
 - lagoas



Universidade Federal do Rio Grande do Sul Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CPSRM/UFRGS Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto		
Descrição Mapa de localização dos Pontos Críticos na rodovia RS/486		
Autores Geog. Michele Monguillotti Orientadora: Profª Drª Dejanira Luderitz Saldanha Co-orientador: Prof. Dr. Sérgio Florencio de Souza		Figura 13
Arquivo eletrônico Projeto Rota do Sol	Escala Apresentação: 1:250.000 Arquivo eletrônico: 1:250.000	Março 2008

Há registro das cicatrizes dos deslizamentos ocorridos na rodovia RS/486 – Rota do Sol, em novembro de 2006, conforme a tabela 6.

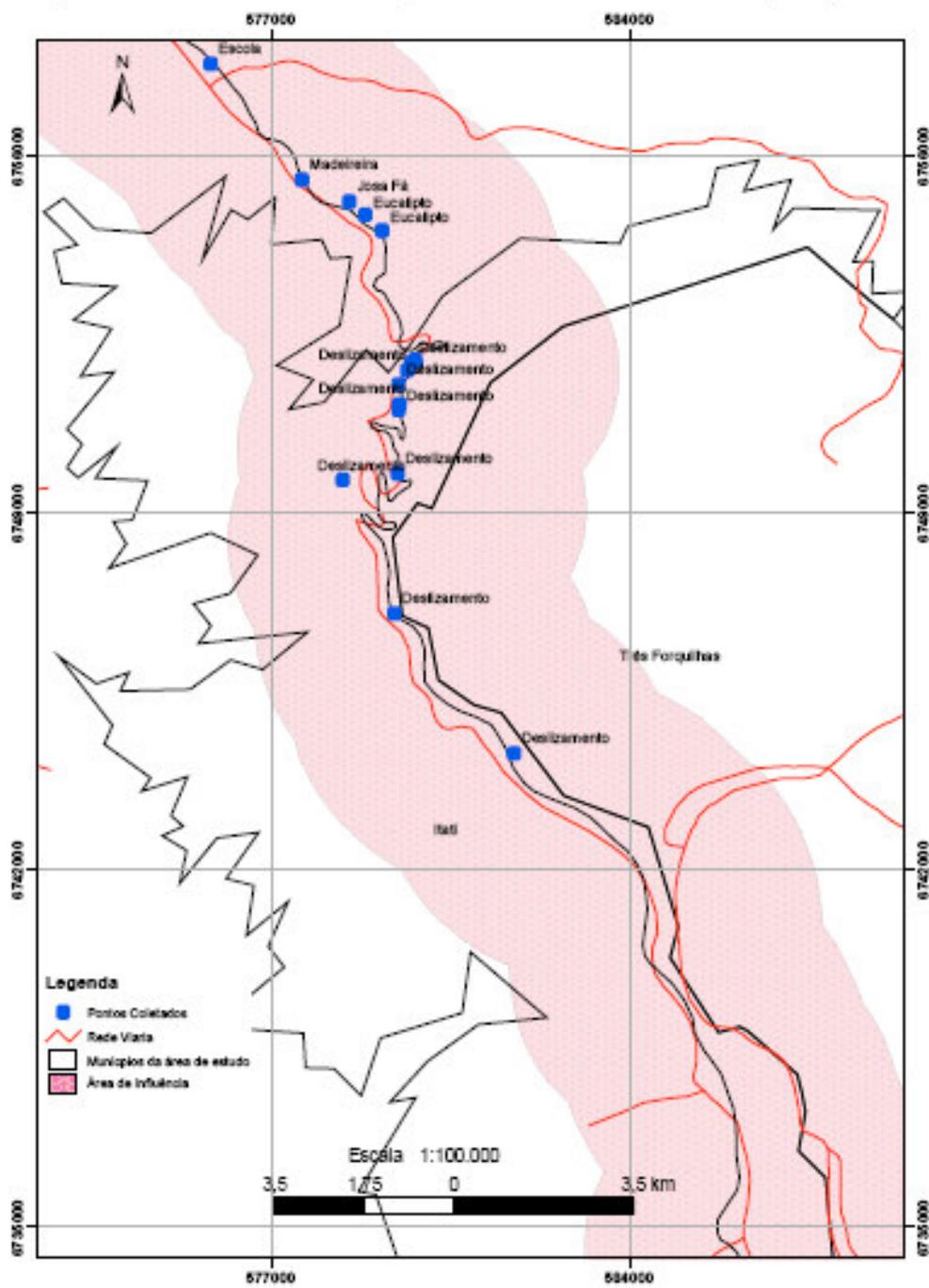
Tabela 6 – cicatrizes de deslizamentos na rodovia RS/486 – Mar e Nov/2007

Ponto	Latitude	Longitude	Cicatrizes	Cota(m)
Ponto1	-29 25,70885'	-50 09,45861'	Deslizamento	
Ponto2	-29 24,23983'	-50 10,90516'	Deslizamento	548
Ponto3	-29 22,14111'	-50 11,15891'	Deslizamento	179
Ponto4	-29 30,01180'	-50 19,19290'	Deslizamento	129
Ponto5	-29 30,19575'	-50 19,22686'	Deslizamento	
Ponto6	-29 38,53378'	-50 13,27449'	Deslizamento	
Ponto7	-29 34,02982'	-50 02,93072'	Deslizamento	
Novembro/2007				
Ponto	Latitude	Longitude	Cicatrizes	Cota(m)
Ponto1	-29 30,01180'	-50 19,19290'	Deslizamento	129
Ponto2	-29 22,14111'	-50 11,15891'	Deslizamento	179
Ponto3	-29 22,76470'	-50 11,48901'	Deslizamento	
Ponto4	-29 22,69486'	-50 10,82472'	Deslizamento	
Ponto5	-29 21,48725'	-50 10,62551'	Deslizamento	
Ponto6	-29 21,52329'	-50 10,66831'	Deslizamento	767
Ponto7	-29 21,59571'	-50 10,72109'	Deslizamento	760
Ponto8	-29 21,74634'	-50 10,82151'	Deslizamento	722
Ponto9	-29 21,95812'	-50 10,80831'	Deslizamento	614
Ponto10	-29 22,01767'	-50 10,81990'	Deslizamento	610

Foi criada, no ArcMap, o projeto onde foram armazenadas as informações nos formatos raster e vetorial de todos os dados utilizados. Nesta etapa projeta-se a confecção dos mapas mais complexos deste trabalho, isto é, aqueles provenientes da sobreposição (*overlay*) dos níveis temáticos originais (arquivos analógicos). O sistema cartográfico definido para o trabalho foi o Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM, Datum WGS84 – Fuso 22S. Os arquivos foram gerados no formato shapefile, para uso no programa ArcMap, e armazenados no banco de dados do projeto. Os mapas temáticos foram gerados na escala 1:100.000 e as bases compiladas de outros órgãos foram convertidas para a projeção e datum adotadas no projeto.

Para delimitar a análise, foi inferida através de análise de proximidade, um buffer de 2km (Fig. 14) como limite da área de influência em torno da faixa de domínio da rodovia RS/486.

Figura 14 - Área de Influência definida para a Rodovia RS/486 - Rota do Sol (2km)



Os mapas de solos, de geomorfologia e de geologia resultaram da base de mapas temáticos do Estudo de Impacto Ambiental da Rota do Sol (1990). Estes mapas analógicos foram escaneizados e georreferenciados. Foram então vetorizados, para posterior análise espacial e adição de vetores e no tema resultante atribuído os pesos determinados para a integração dos dados raster.

5 RESULTADOS

Considerando as movimentações das massas de ar Hoffmann *et alli* (1992), classificam as áreas situadas ao sul do país como controladas por massas de ar tropicais e polares, sendo o Brasil, segundo esta classificação, dividido em cinco tipos climáticos: clima equatorial úmido, clima litorâneo úmido, clima tropical com estação seca, clima tropical semi-árido e clima subtropical, incluindo neste último o Rio Grande do Sul, com temperatura média anual para o Estado em torno de 18°C. Propõe o autor que na dinâmica climática os principais elementos que interferem no clima são: temperatura, pressão, ventos, umidade e precipitação.

A Defesa Civil em 2007 atendeu inúmeras ocorrências, e 123 municípios do Rio Grande do Sul decretaram estado de calamidade pública naquele ano, quando foram notificados 21 desastres no Estado à Secretaria Nacional de Defesa Civil – SEDEC/MI. Dois desses desastres ocorreram nos municípios integrantes da área de estudo, com eventos do tipo enxurradas ou inundações bruscas, atingindo um total de 2.401 pessoas. Nos municípios de Três Forquilhas e Terra de Areia, abrangeu uma extensão territorial de 356,85 km².

Os episódios meteorológicos extremos observados no registro de precipitação do dia 03/03/2007 (Fig. 15) estão mais frequentes atualmente, quer por causas naturais, quer antrópicas (UNDRO, 2007).

Precipitacao Observada (mm) – 03/03/2007

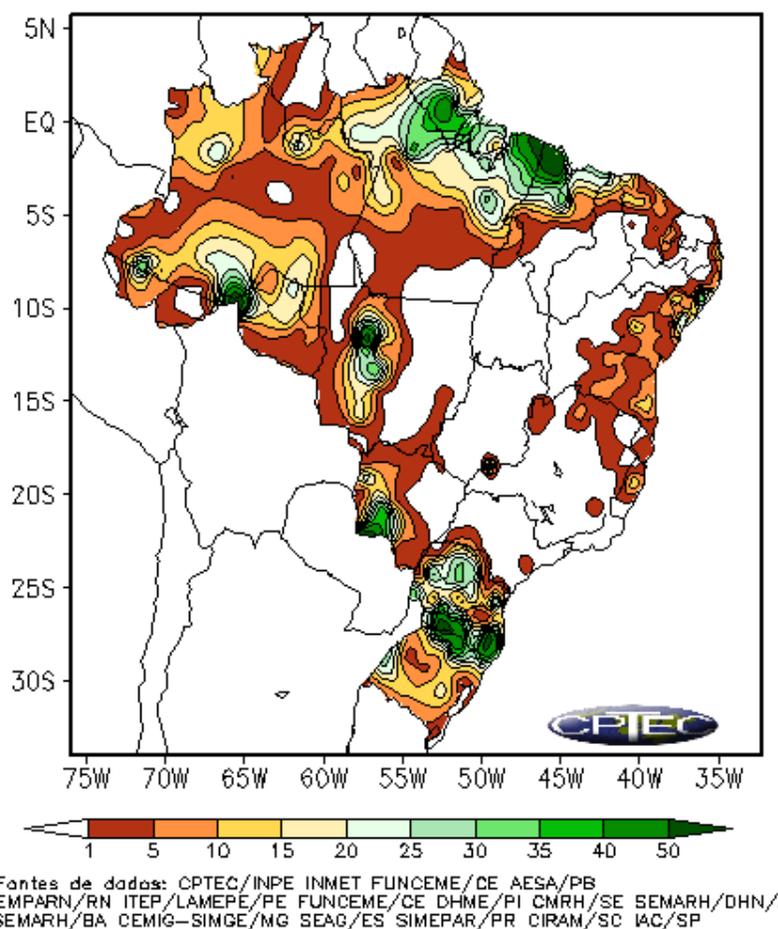


Figura 15 – Episódio Meteorológico Extremo registrado no Brasil em 03/03/2007

Difícilmente poderemos saber a real dimensão quando se trata de analisar os danos ao patrimônio hídrico, à fauna, à flora, à paisagem, bem como aqueles sofridos pela economia local e regional.

Eventos meteorológicos extremos podem assumir grandes proporções futuramente, tendo em vista a maior frequência e intensidade destes episódios.

Na área estudada, foram registrados, nos meses de novembro de 2006 e março de 2007, movimentos de massa relacionados com fortes precipitações acima das médias normais para os respectivos meses, causando danos e a interrupção do tráfego na rodovia RS/486 – Rota do Sol.

Streck *et al.* (2008), sugerem que “nos locais dos fluxos convergentes onde ocorrem maior erosão”, como pode ser observado na (Fig. 16) mostra as margens do Rio Três Forquilhas que necessitam maior atenção para a preservação da mata ciliar.



Figura 16 – Detalhe das margens destruídas pela enxurrada do Rio Três Forquilhas, município de Três Forquilhas/RS, mar/2007. Foto: Michele Monguilhott

Os níveis máximos de chuva registrados para a região estão representados nos gráficos gerados a partir de dados estatísticos da Defesa Civil do Estado (Figs. 17, 18 e 19).

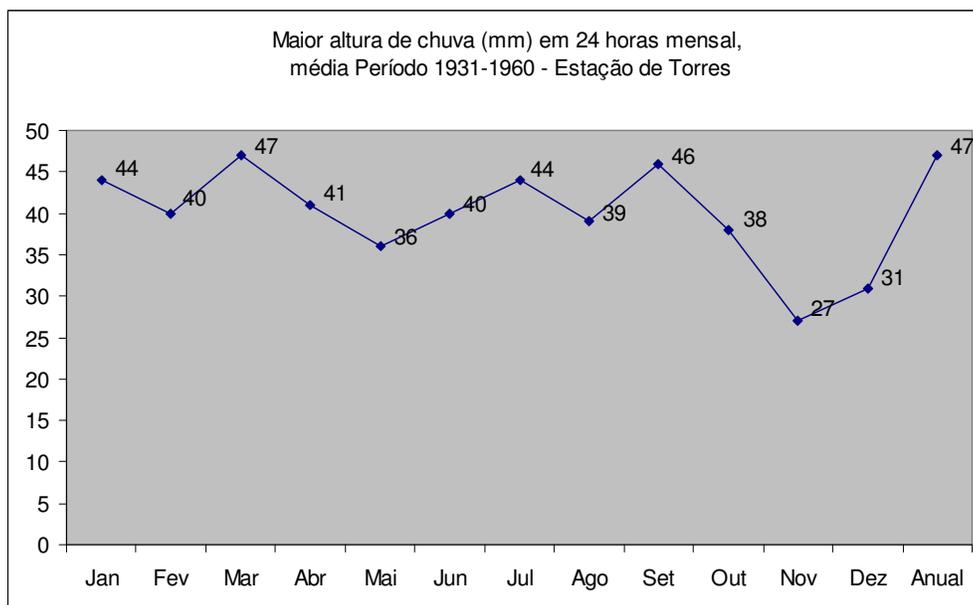


Figura 17 – Altura de chuva (mm) – histórico, adaptado de Gomes (1976)

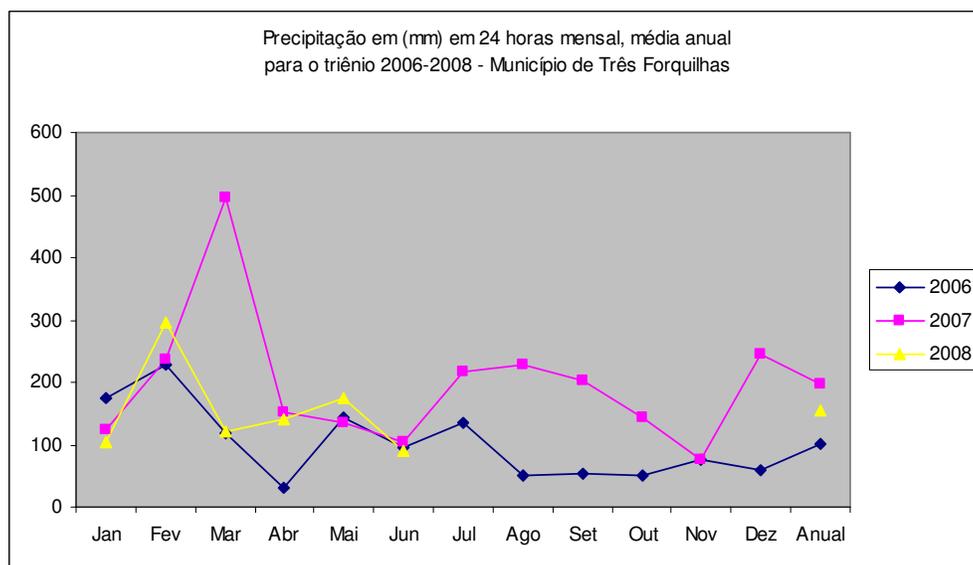


Figura 18 – Média anual de precipitação em (mm) para o Município de Três Forquilhas/RS

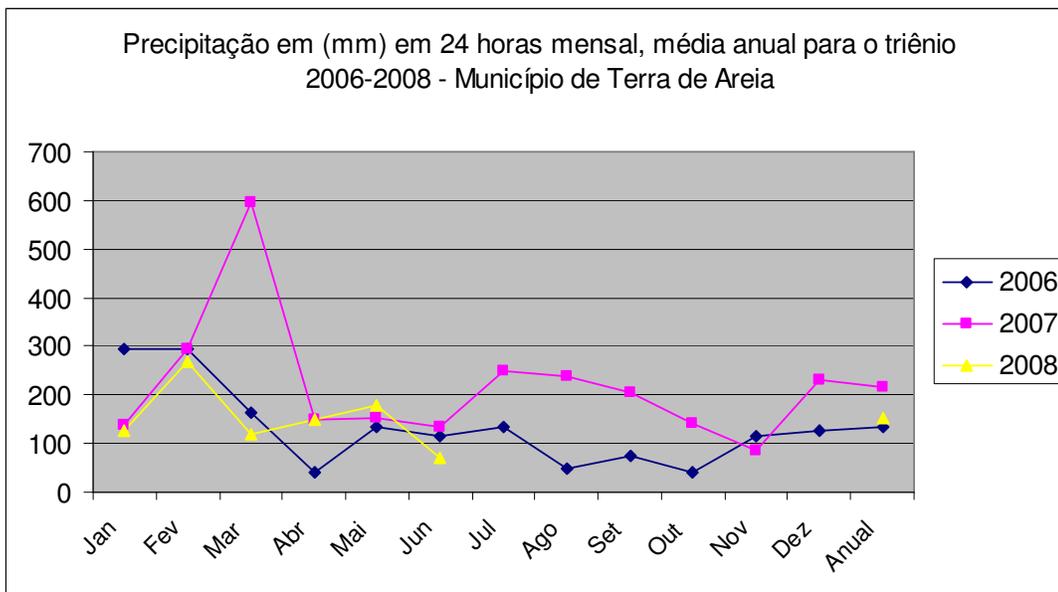


Figura 19 – Média anual de precipitação em (mm) para o Município de Terra de Areia/RS

Conforme registros do EIA/RIMA da Rota do Sol, “Durante as enchentes, com o aumento do volume líquido, ocorre um extravasamento do rio no segmento estrangulado pela presença de seixos, forçando a água a inundar os terrenos mais baixos existentes”.

Quando associado a eventos meteorológicos extremos, esse extravasamento se agrava pela grande quantidade de chuvas e pelo aumento rápido do nível dos rios, causando destruição e danos ao patrimônio físico e natural.

Essas áreas são também de risco, não de movimentos de massa, mas de “acumulo de carga fluvial” relacionado com o incremento das precipitações hídricas, e que pode ser observado na figura 20.



Figura 20 – Extravasamento das margens e depósito de aluvião no Rio Três Forquilhas, município de Três Forquilhas/RS, nov/2007. Foto: Michele Monguilhott

As condições climáticas são, segundo Panizza (1996) *apud* Nummer (2003), causas internas que reduzem a resistência ao cisalhamento do material associadas às precipitações e resultam na diminuição de resistência disponível nos materiais que compõem o substrato local.

Com relação ao tipo de material envolvido nos solos transportados por movimentos de massa, Varnes (1978) e Cruden e Varnes (1996) *apud* Nummer (2003), dividem em classes de materiais: rochas e detritos (20% a 80% das partículas são maiores que 2 mm) e solo quando 80% ou mais das partículas são menores que 2mm, levando-nos a considerar que no topo da escarpa os movimentos de massa predominantes são de blocos de rochas seguidos na média escarpa pelo que classifica Dias *et al.* (1999) como afloramentos dos basaltos intemperizados e ocorrem os depósitos antigos de colúvios retrabalhados pelo intemperismo.

Nummer (2003), destaca que se após o intemperismo das rochas, ocorrer a erosão, o transporte e a deposição desses materiais, forma-se o solo transportado definidos por Pastore e Fortes (1998), como aluviões, terraços fluviais, coluviões,

solos coluvionares e tálus observados no perfil esquemático de parte da área da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas (Fig. 21).

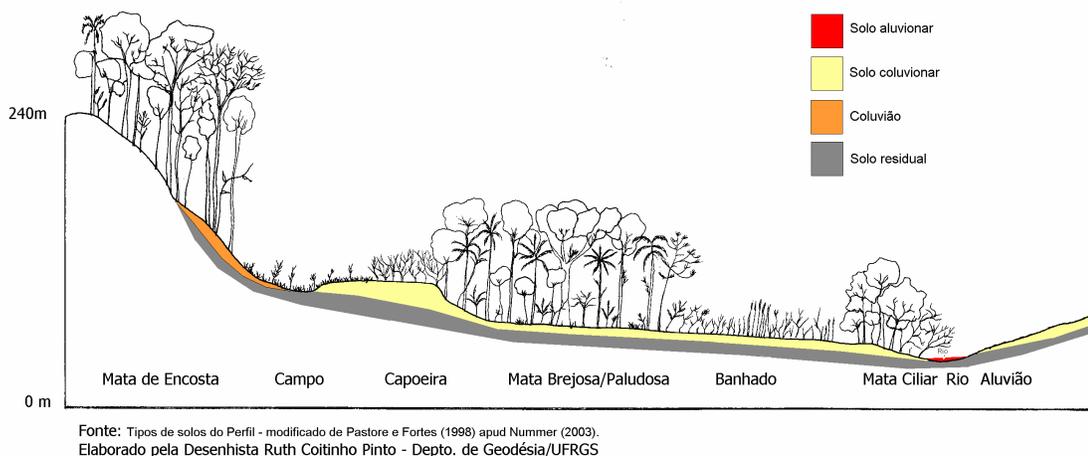


Figura 21 – Perfil esquemático de solos transportados, destaque para o trecho da Mata Paludosa na Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas

Já Leoueil *et al.* (1996) *apud* Nummer (2003), discorda de Varnes (1978), e propõe para o estudo do comportamento geomecânico dos materiais 9 classes de materiais acrescentando a estas subclasses ao tipo de material envolvido no movimento de massa tais como: rocha (rocha dura, rocha mole e formações estruturalmente complexas) e solo (saturado – argilas, siltes e areia fina, detritos de material grosseiro; não saturado - detritos de material grosseiro, material colapsível entre outros). Os autores propõem quatro estágios para o movimento de taludes: 1) estágio de pré-ruptura: quando a massa de solo encontra-se intacta e contínua controlado pelos fenômenos de ruptura progressiva e rastejo; 2) estágio de ruptura: forma-se uma superfície de cisalhamento contínua no solo ou rocha; 3) estágio de pós-ruptura: estabelecido após a ruptura até cessar o movimento; 4) estágio de reativação: quando existe uma ou mais superfícies ao longo do solo ou rocha, comportamento este controlado apenas pelo ângulo de atrito residual do solo.

Os vales que modelam a paisagem do fragmento da rodovia RS/486, são vales com perfil em U que segundo Christofolletti (1981) são (...) elaborados por uma sucessão de fases fluviais e glaciárias, principalmente em rochas resistentes. O

fundo do vale geralmente é amplo e plano, possuindo bacias fechadas(...)“ Vertentes com paredes íngremes, para o autor quase verticais e retilíneas.

Essa correlação entre o modelo escolhido e a dinâmica da paisagem envolvida, fortemente escarpada, pode ser observada no modelo digital de elevação da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas.

A tabela 7 foi adaptada de Ross (1991) e descreve os parâmetros utilizados para a determinação da fragilidade dos solos da área de estudo.

Tabela 7 – Potencial de erodibilidade dos tipos de solo face ao escoamento superficial das águas pluviais – adaptado de Ross (1991)

Potencial de erosão	Tipos de solos da área de estudo
Fraca (1)	- Neossolo Quartzarênico Órtico típico ou argissólico.
Média (2)	- Chernossolos Argilúvicos férrico. - Chernossolo Háptico Órtico Típico.
Forte (3)	- Neossolo regolítico eutrófico léptico ou típico. - Cambissolo Húmico Alumínico típico.

Associados ao domínio geomorfológico da Serra Geral, predominam na região, conforme a tabela 8, os Neossolos Regolítico Léptico com grau de fragilidade 2 (médio), abrangendo uma área de aproximadamente 32.000 ha, associados aos Cambissolos Húmicos que ocupam 15.337 ha, com grau de fragilidade 3 (forte), seguidos dos Chernossolos Hápticos abrangendo 4.480 ha, e dos Neossolos Quartzarênicos com grau de fragilidade 3 (forte).

Tabela 8 – Classe de solos e área de abrangência na Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas/RS

Id	Classe de solo	Sigla	Área
1	Cambissolo Húmico - Alumínio - típico	CHa1	15337,38
4	Neossolo Quartzarênico Órtico Típico	RQo2	158,5455
2	Neossolo Regolítico Eutrófico-lep/tip	RRe1	32007,34
3	Chernossolo Háptico - Órtico - típico	MXo	4480,93

Varnes (1978) e Hutchinson (1988) *apud* Nummer (2003), classificaram geomorfologicamente os movimentos de talude estabelecendo uma ligação entre a

geologia e os movimentos de massa. Dias *et al.* (1999), comprovam esta relação quando acrescentam que, pela estratigrafia vulcânica da Formação Serra Geral no Planalto Meridional, no vale do Três Forquilhas, os movimentos de massa se originam na parte superior da escarpa, onde ocorreram os derrames ácidos associados a episódios de chuvas intensas. Os autores destacam, ainda, que no topo da escarpa também ocorrem quedas, rolamentos e deslizamentos de grandes blocos de rocha não intemperizados que podem ser encontrados nas encostas e nos talwegues do vale do Três Forquilhas.

A amplitude da área de estudo é de 1.080 metros, pois a Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas abrange também cotas ao nível do mar. A área da Bacia Hidrográfica é de 510,60 km².

A abertura da estrada, associada aos fenômenos erosivos naturais das encostas que por sua natureza, são mais suscetíveis aos referidos fenômenos, nos forçam a destacar este importante fator envolvido no processo de movimentos de massa.

O mapa geomorfológico gerado para o fragmento da Rodovia RS/486 evidencia, tendo por base o mapeamento desenvolvido no Estudo de Impacto Ambiental (EIA), os seguintes domínios geomorfológicos: Domínio do Planalto de Campos Gerais, divididos em Planalto de Várzea, Regiões de dissecação de Rios e Borda superior do planalto; Domínio da Serra Geral; e Domínio da Província Costeira dividido em Planície interna e Planície Externa. A base utilizada, conforme informações técnicas do EIA/RIMA, foram cartas planialtimétricas de Cambará do Sul – Canela e redução das cartas 1:50.000 de Maquiné e Barra do Ouro.

Para a determinação da fragilidade da dinâmica local, optou-se por utilizar os índices propostos por Ross (1991); estes índices foram incorporados à variável geomorfologia e são descritos na tabela 9.

Tabela 9 – Índices de Dissecação do Relevo – adaptado de Ross (1991)

Graus de Dissecação	Tipos de Morfologia e Morfometria
Muito Fraca (1)	superfícies planas com declividades inferiores a 2%. Formas de topos planos com drenagem de fraco entalhamento e declividade entre 2 e 5 %.
Fraca (2)	Formas de topos planos ou ligeiramente convexizados, com canais de drenagem de fraco entalhamento e declividade oscilando entre 5% e 10%
Média (3)	Formas de topos convexos de pequena dimensão interfluvial e canais pouco entalhados e formas de topos convexos ou planos de dimensão interfluvial pouco maior e canais medianamente entalhaos – declividades oscilando entre 10% e 20%
Forte (4)	Formas com topos planos a convexos e amplos com canais de forte entalhamento ou formas de topos planos ou convexos de pequena dimensão interfluvial e médio entalhamento dos canais, declividades entre 20% a 30%
Muito Forte (5)	Formas de topos aguçados ou convexos de dimensões interfluviais de média a pequena e forte entalhamento dos canais, declividades acima de 30%.

Os Domínios geomorfológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas (Fig. 22) estão assim divididos: 14.414 hectares são ocupados pelos domínios das Bacias e Coberturas sedimentares característicos das Unidades dos Planaltos dos Campos Gerais, possuindo graus de dissecação variando entre 4 e 5. Já os domínios das Bacias e Coberturas sedimentares da Unidade Serra Geral ocupam 28.302 ha, com graus de dissecação variando entre 3 e 4, sendo que o domínio da Planície Alúvio-coluvionar abrange 6,733 ha, com graus de dissecação variando entre 2 e 3 e o domínio da Planície Lagunar abrange 94,49 ha, com grau de dissecação 1.

Estes Domínios fazem parte de regiões geomorfológicas que são, segundo o projeto RADAM (1986), caracterizados como a região da Serra Geral com relevo escarpado a montanhoso, amplitude topográfica de 700m a 800m, com cotas variando de 800/960m a 1000m. Apresenta vales com profundidades muito fortes, maiores de 300m, declividade das vertentes muito fortes a extremamente forte, 30° a 45°. A densidade da drenagem é alta e a estabilidade geomorfológica é instável. As condições de instabilidade são mais representativas nesta região, facilitadas pela ocorrência de talus e rampas de colúvio; durante a elaboração do RIMA para a rodovia, não foram encontrados processos erosivos significativos que fossem relacionados ao traçado da estrada.



Planalto dos Campos Gerais



Palmares da Serra Geral



Planície Alúvio-colúvionar



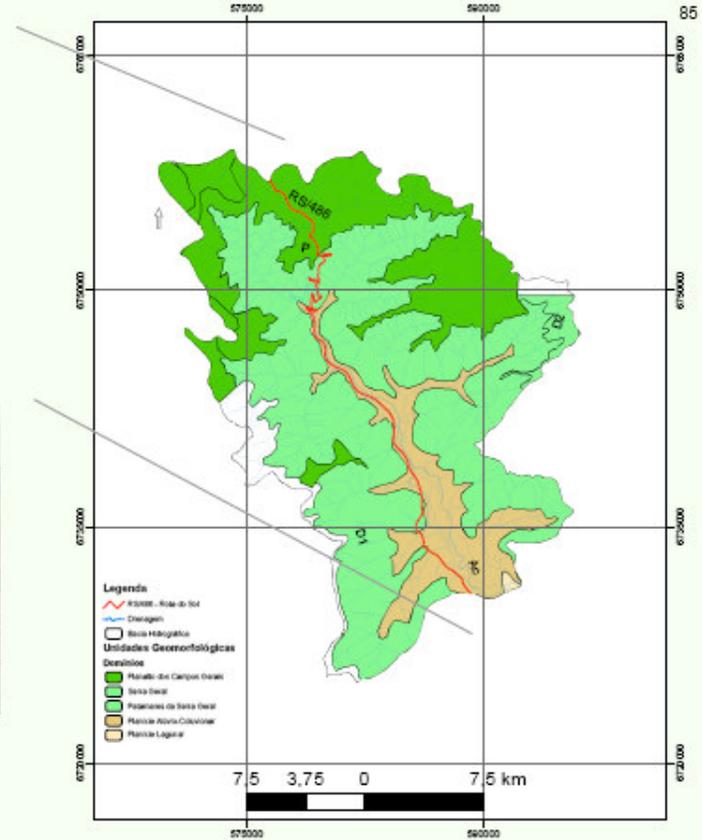
Planície Alúvio-colúvionar

Dominios Morfoestruturais
 Bacias e Coberturas Sedimentares
 Bacias e Coberturas Sedimentares
 Bacias e Coberturas Sedimentares
 Depósitos Sedimentares
 Depósitos Sedimentares

Regiões Geomorfológicas
 Planalto das Araucárias
 Planalto das Araucárias
 Planalto das Araucárias
 Planície Costeira Interna
 Planície Costeira Interna

Unidades Geomorfológicas
 Planalto dos Campos Gerais
 Serra Geral
 Palmares da Serra Geral
 Planície Alúvio-Colúvionar
 Planície Lagunar

Fonte: Adaptado de base analógica do Mapa de Geomorfologia Regional - Projeto Rota do Sol. Estudo de Impacto Ambiental - EIA e Relatório de Impacto Ambiental - RIMA em escala 1:100.000 elaborado por HAR Engenharia e Meio Ambiente Ltda.
 Base Cartográfica: Redução das Cartas do Serviço Geográfico do Exército, Escala 1:50.000 - Levantamento Aerofotogramétrico de 1975, Publicação 1980
 Folhas: Tailinas (SH.22-X-C-II-3), Serra do Ouro (SH.22-X-C-V-I)
 Aratinga (SH.22-X-C-II-4), Maquina (SH.22-X-C-V-II)
 Projeção UTM
 Datum Horizontal: Ajustado para SAD69 (Brasil)
 Zona 22 S



Universidade Federal do Rio Grande do Sul Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - GPSRM/UFRRS Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto		
Descrição <p style="text-align: center;">Mapa Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas</p>		
Autores Geog. Michele Monguilhot Orientadora: Prof.ª Dr.ª Dejanira Luderitz Saldanha Co-orientador: Prof. Dr. Sergio Florencio de Souza		Figura 22
Arquivo eletrônico Projeto Rota do Sol	Escala de Apresentação: 1:250.000 da fonte de dados: 1:100.000	Março 2008

Com relação à classificação de acordo com o controle estrutural proposto por Christofolletti (1981) se dá “em função dos tipos de estruturas geológicas que controlaram a sua evolução.” A figura 23 mostra a relação da estrutura geológica do perfil de parte da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas e o modelo dos vales.

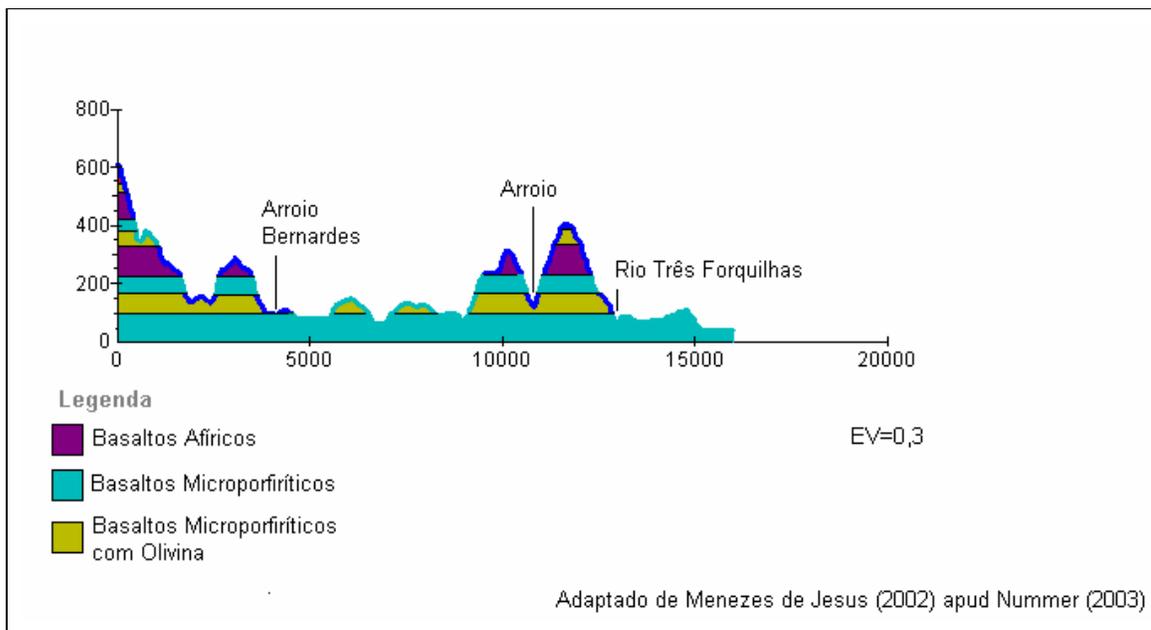


Figura 23 - Perfil dos tipos de rochas e modelado dos vales fluviais da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas.

A área da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas, para o autor, possui 505,99 km². Para a Bacia Hidrográfica delimitada nesta pesquisa, encontramos uma pequena diferença no total da área da Bacia, que pode ser atribuída à eleição de divisores de águas ou diferenças de traçado durante a vetorização manual do arquivo. A área da bacia hidrográfica do rio Três Forquilhas considerada neste estudo é de 510 km² e seu rio principal tem 33 km de extensão.

Nummer (2003), relaciona as cheias ocorridas em algumas áreas específicas com a alta declividade observada na figura 23 junto aos divisores de água que favorecem o escoamento rápido para áreas baixas, o substrato rochoso e solo pouco permeável característico de rochas vulcânicas no curso do Rio Três Forquilhas, dificulta a infiltração da água favorecendo ainda mais o escoamento superficial rápido das águas pluviais para as áreas planas.

O represamento adotado através de aterros durante a fase de obras da rodovia provoca o aumento do assoreamento dos cursos d'água. Esta prática fragiliza as áreas marginais dos cursos d'água e pode estar associada a diferentes graus geradores de degradação destas áreas.

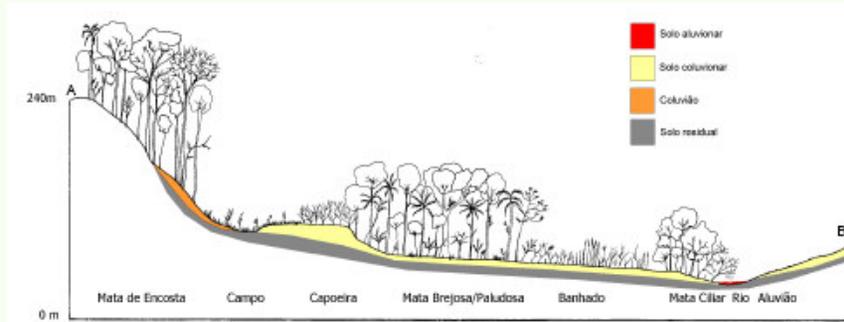
Nummer (2003), assegura que as condições climáticas locais favorecem a variabilidade florestal da área, destacando a dinâmica local associada aos elevados índices de umidade local e conseqüente comportamento hídrico que para Gomes (1976), é o responsável pelo modelado das vertentes.

O autor confirma ainda os efeitos benéficos da vegetação na estabilidade do talude afirmado por Thomas (1994) *apud* Nummer (2003) quando propõe que a vegetação pode ter um papel estabilizador, pois a remoção da cobertura vegetal aumenta a velocidade de atuação dos processos erosivos, porém o autor considera pouco clara o efeito da remoção da vegetação na incidência de movimentos de massa. No entanto, o autor discorda e afirma que a vegetação pode originar efeitos negativos na estabilidade da encosta por aumentar a sobrecarga vertical nos taludes; causar, pela força dos ventos, tensões cisalhantes na superfície de ruptura; e desagregar o solo através da ação de raízes que provocam a dilatação das trincas favorecendo a infiltração das águas superficiais.

Em se considerando o proposto por Gomes (1976), quando este demonstra que o processo de movimentos de massa na área é contínuo e acontece de forma natural, a remoção da vegetação da área com as características geológico-estruturais como a área da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas, notar-se-ia a aceleração dos processos naturais de movimentos de massa, como os recentes de deslizamentos na rodovia RS/486 – Rota do Sol.

O mapa de vegetação (Fig. 24) gerado para o fragmento da Rodovia RS/486 evidencia, com base no mapeamento desenvolvido para o EIA/RIMA da Rota do Sol, os seguintes ecossistemas: a Savana, a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Ombrófila Densa onde ainda é possível encontrar remanescentes de Mata Atlântica. Encontra-se também em parte do fragmento da rodovia RS/486 uma cobertura vegetal característica de áreas litorâneas, citada por Hoffmann (1992), como vegetação herbácea, caracterizada pela presença de espécies halófitas adaptadas a ambientes salinos.

Perfil (A-B) - Vegetação característica

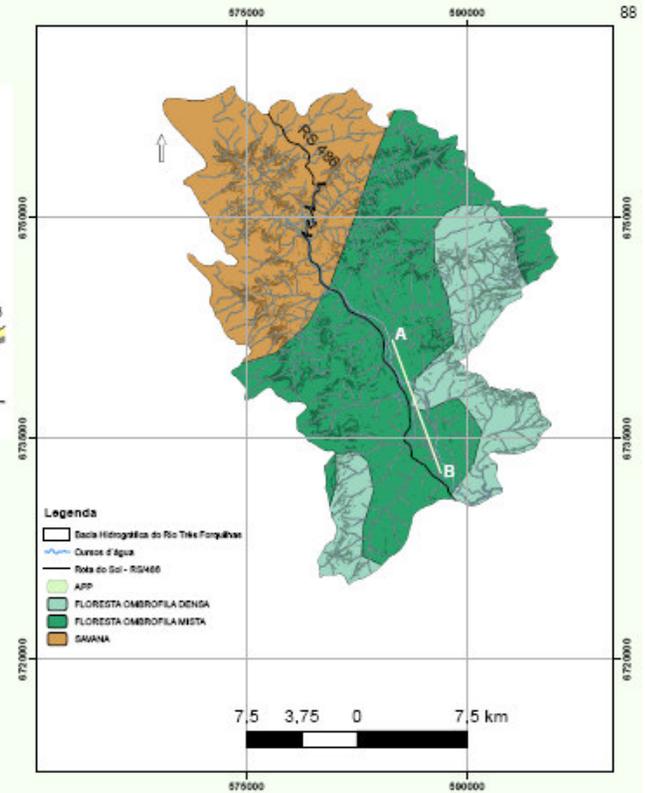


Fonte: Tipos de solos do Perfil - modificado de Pastore e Feres (1968) apud Nummer (2003).
Elaborado pela Desenhista Ruth Colinho Pinto - Depto. de Geodésia/UFRGS



Fonte: IBGE - Mapa de Vegetação do Brasil,
Escala 1:5.000.000, 1988

Projeção UTM
Datum Horizontal: Ajustado para SAD/69 (Brasil)
Zona 22 S



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia -
CPSRM/UFRGS

Descrição
Mapa de Vegetação da Bacia Hidrográfica do Três Forquilhas

Autores
Geog. Michèle Monquihott
Orientadora: Prof.ª Dajana Luteritz Sakelma
Co-orientador: Prof. Dr. Sérgio Florêncio de Souza

Arquivo eletrônico	Projeto Rota do Sol	Escala	Apresentação: 1:250.000 Arquivo eletrônico: 1:5.000.000 (IBGE)	Março 2008
--------------------	---------------------	--------	---	------------

Figura 24

A figura 24 representa o tipo vegetal característico da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas.

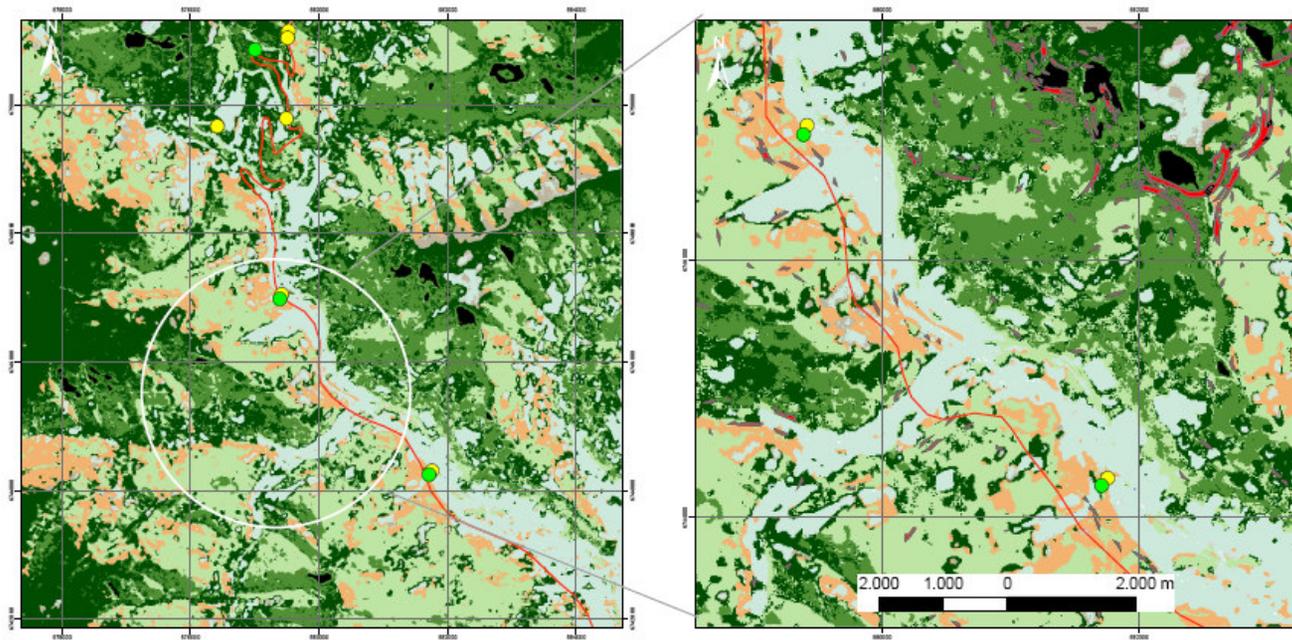
Para SEMA (2007), diferentes fatores são geradores de degradação da cobertura vegetal, o autor adota diferentes graus para representar a degradação da cobertura vegetal, apresentados na tabela 10.

Tabela 10 – Graus de degradação da cobertura vegetal adaptado de SEMA (2007)

Características	Graus de Degradação		
	Baixo	Médio	Alto
Sem cobertura vegetal e com presença de erosão (solo nu)			X
Formação de clareiras no interior da floresta		X	
Presença de desbarrancamento das margens		X	
Formação florestal sem ocorrência de regeneração natural	X		
Retirada da formação arbórea, permanecendo somente gramíneas e herbáceas		X	

No mapa de uso do solo (Fig. 25), classificado pelo Projeto Mata Atlântica, percebe-se a concentração dos deslizamentos em áreas de formações florestais secundárias, e em áreas de ocupação agrícola e solo agrícola. O mapa foi elaborado a partir da aplicação de algoritmo de classificação supervisionada cujas classes foram previamente definidas por interpretação visual buscando a melhor descrição da diversidade de uso do solo da região usando classificação por Máxima Verossimilhança (MAXVER) aplicado em imagem SPOT, sensor HRG, nas quatro bandas espectrais, disponibilizado pelo Projeto Mata Atlântica (PCMA).

As categorias (Tab. 11) foram definidas como: 1 – alta proteção: áreas de florestas; 2 – média proteção – agricultura permanente e pastagens; 3 – baixa proteção – agricultura de ciclo curto e desmatamentos recentes. Ross (1991) ainda considerou os dados pluviométricos, valorizando os episódios de chuvas intensas por elevarem a capacidade erosiva, descritos na tabela adaptada de Ross.



Legenda

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ● Deslizamentos Nov/2007 ● Deslizamentos 03/2007 — RS 465 - Rota do Sol Bacia Hidrográfica do Três Forquilhas | <p>Classes de Uso do Solo</p> <ul style="list-style-type: none"> Florestamento - FL1 Formações Florestais Secundárias - MS Estepe Gramíneo-Lenhosa - EGL Área de Ocupação Agrícola - AOA Solo Agrícola - SA Floresta Ombrófila Mista - MOM Floresta Ombrófila Densa - MOD |
|---|--|

Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM - Datum Córrego Alegre - MG/Fuso 22 S

Universidade Federal do Rio Grande do Sul Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CPERM/UFRGS Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto		
Descrição Mapa de Uso do Solo do Projeto Conservação da Mata Atlântica no RS Recorte das áreas de ocorrência dos deslizamentos		
Autores Geog. Michele Monquiholtz Orientadora: Profa. Dra. Dajana Luderitz Saldanha Co-Orientador: Prof. Dr. Sérgio Florencio de Souza		Figura 25
Arquivo eletrônico Projeto Rota do Sol	Escala de apresentação: 1:50.000 da base de dados: 1:50.000	Março 2008

Tabela 11 – Graus de proteção dados ao solo pela cobertura vegetal face à ação das águas pluviais. (Adaptado de Ross, 1991)

Graus de proteção	Tipos de Cobertura Vegetal/uso do solo
Forte (1)	<ul style="list-style-type: none"> - florestas naturais (Floresta Ombrófila) - florestas cultivadas com diversidade de espécies e vários estrados (Mata de encosta)
Média (2)	<ul style="list-style-type: none"> - formações arbustivas densas de origem secundária (capoeira) - formações naturais ou cultivadas de gramíneas (estepe)
Fraca (3)	<ul style="list-style-type: none"> - áreas desmatadas recentes (abertura do talude para construção da estrada) - agricultura de ciclo curto (área de ocupação agrícola e solo agrícola)

A proposta de associação sugerida pelo autor foi aplicada na área de estudo (Fig. 26) demonstra uma forte correlação dos deslizamentos e áreas com fraco grau de proteção (3), colaborando para a confirmação da fragilidade da paisagem em associação com suas classes de uso do solo.

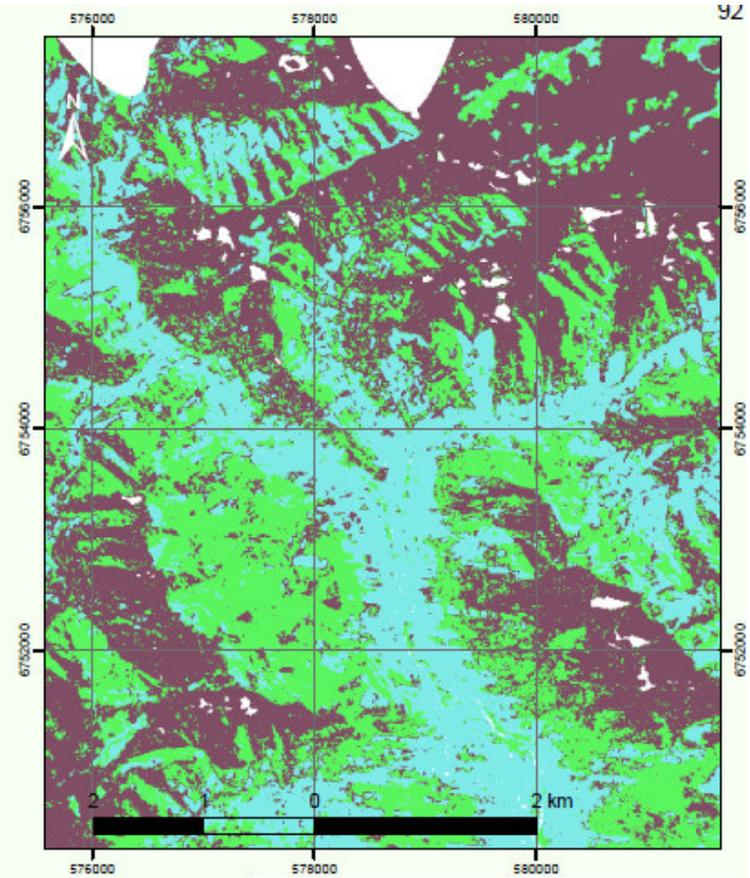
Mesmo ainda não tendo sido realizada a análise hierárquica de tomada de decisão integrando as demais variáveis, indica uma forte relação das áreas de deslizamentos com a fragilidade do sistema, mostrando que essas áreas podem estar relacionadas a eventos naturais facilitados também pela ação antrópica.

O Mapa dos Aspectos Fisiográficos ou Dinâmica das Unidades (Fig. 27) resultou da integração das variáveis: solo, geologia e geomorfologia realizada através do operador booleano *AND*. Estes operadores permitem a união das variáveis e resultam no mapa de dinâmica das unidades. O resultado permitiu realizar relacionamentos entre os pontos críticos da área de estudo e seu aspecto fisiográfico. Favorecendo a correlação entre os pontos de ocorrência de deslizamentos, tipos de solos e formas de relevos relacionados.



Fotos: Michele Mongulihott

Graus de proteção	Tipos de Cobertura Vegetal/uso do solo
Forte (1)	- florestas naturais (Floresta Ombrófila) - florestas cultivadas com diversidade de espécies e vários estrados (Mata de encosta)
Média (2)	- formações arbustivas densas de origem secundária (capoeira) - formações naturais ou cultivadas de gramíneas (estepe)
Fraca (3)	- áreas desmatadas recentes (abertura do talude para construção da estrada) - agricultura de ciclo curto (área de ocupação agrícola e solo agrícola)



Legenda
 Graus de Proteção (Ross, 1991)
 Classes x fator

- FL1MOMMOD - 1
- MB/EGL - 2
- AOA/BHD/SA 3

Universidade Federal do Rio Grande do Sul		
Descrição		
Graus de Proteção Associados ao Uso do Solo		
Autores		
Geog. Michele Mongulihott		Figura 26
Orientadora: Profª Drª Dejanira Luderitz Saldanha		
Co-orientador: Prof. Dr. Sérgio Florencio de Souza		
Arquivo eletrônico	Escala	Março 2008
Projeto Rota do Sol	de Apresentação: 1:50.000 de fonte de dados: 1:50.000	

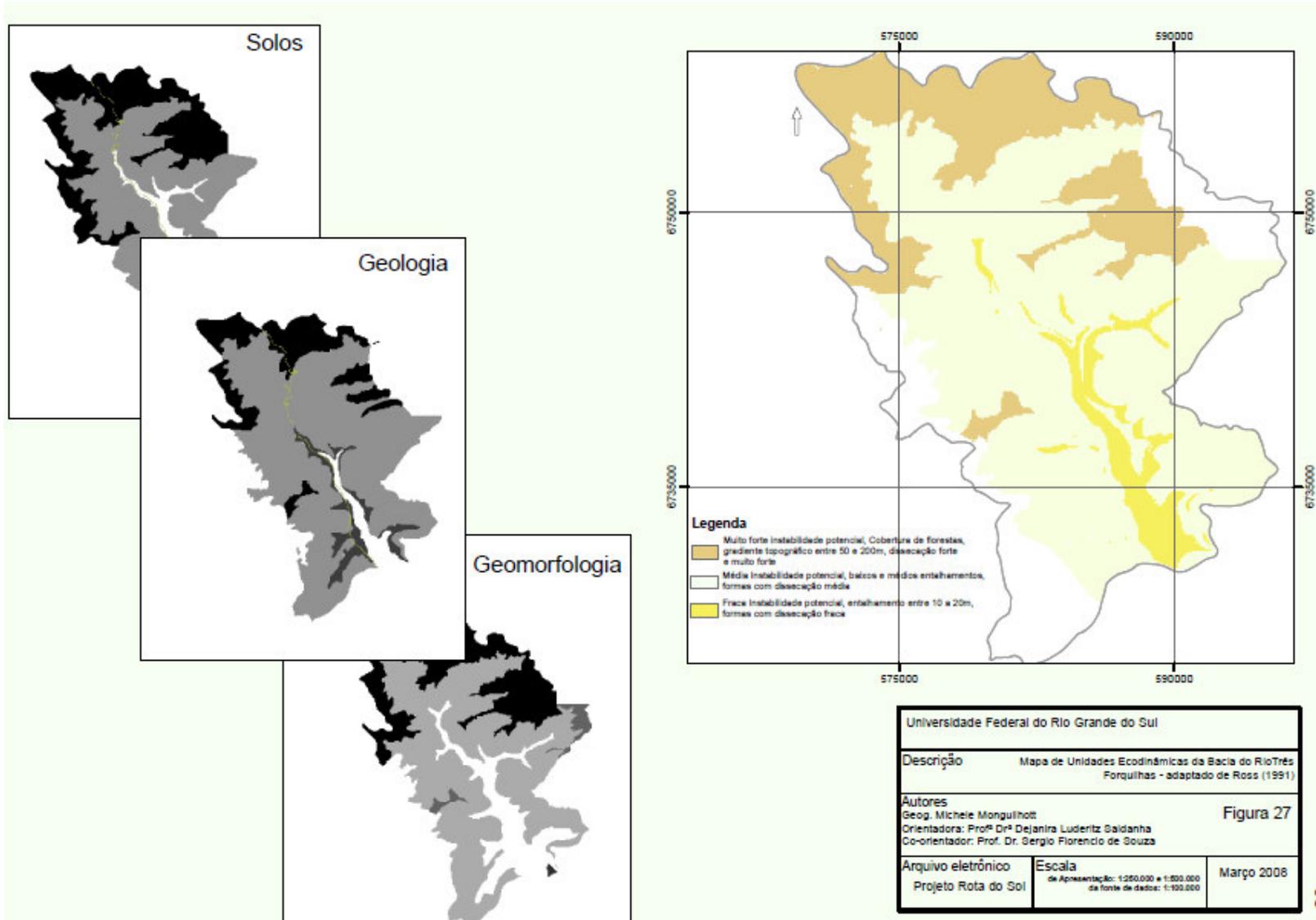


Figura 27

A localização dos pontos críticos de movimentos de massa identificados em campo na Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas e a correspondência entre as variáveis e os demais fatores são listados na tabela 12.

Tabela 12 – Relacionamento das variáveis e pontos suscetíveis a deslizamentos de massa na Rodovia RS/486

Nome	UTM E	UTM N	Ponto Crítico	Classe de Solo
P1	581755	6744291	Deslizamento	Neossolo Regolítico Eutrófico-lep/tip
P2	579416	6747035	Deslizamento	Neossolo Regolítico Eutrófico-lep/tip
P3	578412	6749650	Deslizamento	Neossolo Regolítico Eutrófico-lep/tip
P4	579488	6749772	Deslizamento	Neossolo Regolítico Eutrófico-lep/tip
P5	579826	6752000	Deslizamento	Neossolo Regolítico Eutrófico-lep/tip
P6	579756	6751934	Deslizamento	Cambissolo Húmico - Alumínio - típico
P7	579669	6751800	Deslizamento	Cambissolo Húmico - Alumínio - típico
P8	579505	6751523	Deslizamento	Neossolo Regolítico Eutrófico-lep/tip
P9	579524	6751132	Deslizamento	Neossolo Regolítico Eutrófico-lep/tip
P10	579504	6751022	Deslizamento	Neossolo Regolítico Eutrófico-lep/tip

Os pontos críticos associadas ao solo da classe Cambissolos podem estar relacionados, além da declividade, às proporções de silte e areia fina características desses solos. As propriedades e características dos Cambissolos como a maior proporção de silte e areia fina e que, segundo Diniz *et al.* (2004), nestes tipos de solos as relações solos, relevo e erosão podem estar relacionadas com “o impacto da chuva, as partículas de areia fina, associadas a maiores quantidades de argila dispersa em água e conseqüente baixo grau de flocculação (...)”.

Isso leva, conseqüentemente, ao aumento do escoamento superficial, principalmente em chuvas de alta intensidade, facilitando o transporte de sedimentos finos e diminuindo a espessura do horizonte de solo associado ao aumento da erosão laminar. Para o autor este processo leva a ocorrência de cicatrizes (sulcos e ravinas) no solo, principalmente na baixa vertente, onde a quantidade de silte, areia fina e a estrutura maciça são ainda mais significativas.

O resultado do uso de operadores booleanos como a união hierárquica das variáveis: geologia, geomorfologia e geologia resultou no que Ross (1991), denominou de unidades ecodinâmicas estáveis ou em equilíbrio morfodinâmico e as unidades instáveis ou em desequilíbrio listadas na tabela 13.

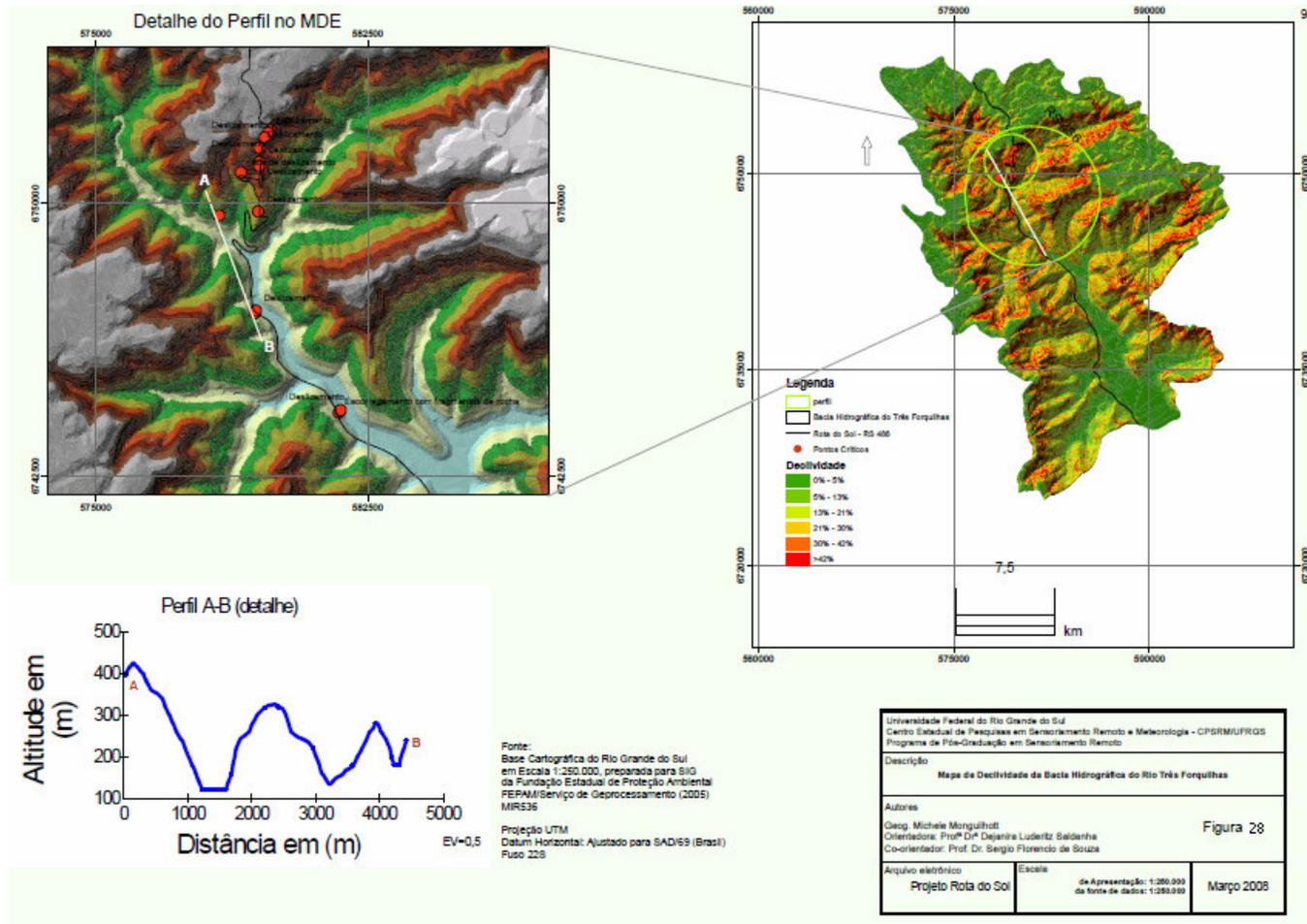
Tabela 13 – Índices resultantes de instabilidade potencial. (Adaptado de Ross, 1991)

Instabilidade potencial	Variáveis do Meio Físico				
	Relevo		Litologia	Solos	Clima
	Morfologia	Morfometria			
Muito Forte (1)	Formas com dissecção fortes e muito fortes.	Gradiente topográfico (entalhamento) entre 50 e 200m. Declividades acima de 30%	Basalto e Riolito	Neossolos e cambissolos	Clima superúmido a úmido
Forte (2)	Formas com dissecção forte	Gradiente topográfico entre 50 e 200m Declividade acima de 30%	Sem registro**	Sem registro**	Índices pluviométricos anuais entre 1750 e 2500mm/a Chuvas distribuídas por um período de 9 a 12 meses
	Formas com dissecção média	Gradiente topográfico até 40m de entalhamento. Declividade entre 20 e 30%	Sem registro**	Sem registro**	
Média (3)	Formas com dissecção média	Baixo e médios entalhamentos 10 a 30m. Declividades entre 5 e 20%	Basalto	Chernossolos	Temperaturas médias anuais em torno de 18°C
	Formas com dissecção fraca	Baixo entalhamento 10 a 20m. Declividades entre 5 e 10%	Sem registro**	Sem registro**	
Fraca (4)	Formas com dissecção fraca	Entalhamento entre 10 a 20m. Declividades entre 5 e 10%	Sedimentos recentes	Neossolos quartzarênicos	
Muito fraca (5)	Formas com dissecção muito fraca	Entalhamento inferior a 10m. Declividade de 5%	Sem registro**	Sem registro**	

** Não se aplica no presente estudo

A partir dos dados MDE, foi produzido o mapa de declividade para a Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas.

Assim, determinamos para a área de estudo seis classes de declividade, entre 0% - 5%, 5% - 13%, 13% - 21%, 21% - 30%, 30% - 42% e maiores que 42% observado na figura 28. O mapa de declividade gerado a partir do Modelo Digital de Elevação destaca as áreas que se enquadram na legislação vigente.



As áreas de preservação, segundo legislação específica, são definidas a partir da drenagem e aplicadas a partir das margens de rios, olhos d'água e áreas acima de 100% de declividade ($>45^\circ$); essas áreas são consideradas áreas de preservação. São legisladas através do Código Florestal Brasileiro – Lei 4.771, na Resolução n° 303 – 20/03/2002 do CONAMA e do Código Estadual de Meio Ambiente – Lei n° 11.520 de 03/08/2000.

As ocupações destas áreas, facilitadas por suas características de uso do solo, modificam a paisagem local e, quando da ocorrência destes fenômenos meteorológicos extremos, os prejuízos são de difícil reparação, tanto no aspecto social, quanto ao aspecto ambiental da área afetada.

Os índices adotados para a área de estudo baseiam-se em Ross (1991) onde o autor classificou os diferentes tipos de solos-rochas em função da escala de fragilidade em relação à erosão e aos movimentos de massa que foram utilizados como parâmetro para a determinação dos pesos da variável solo.

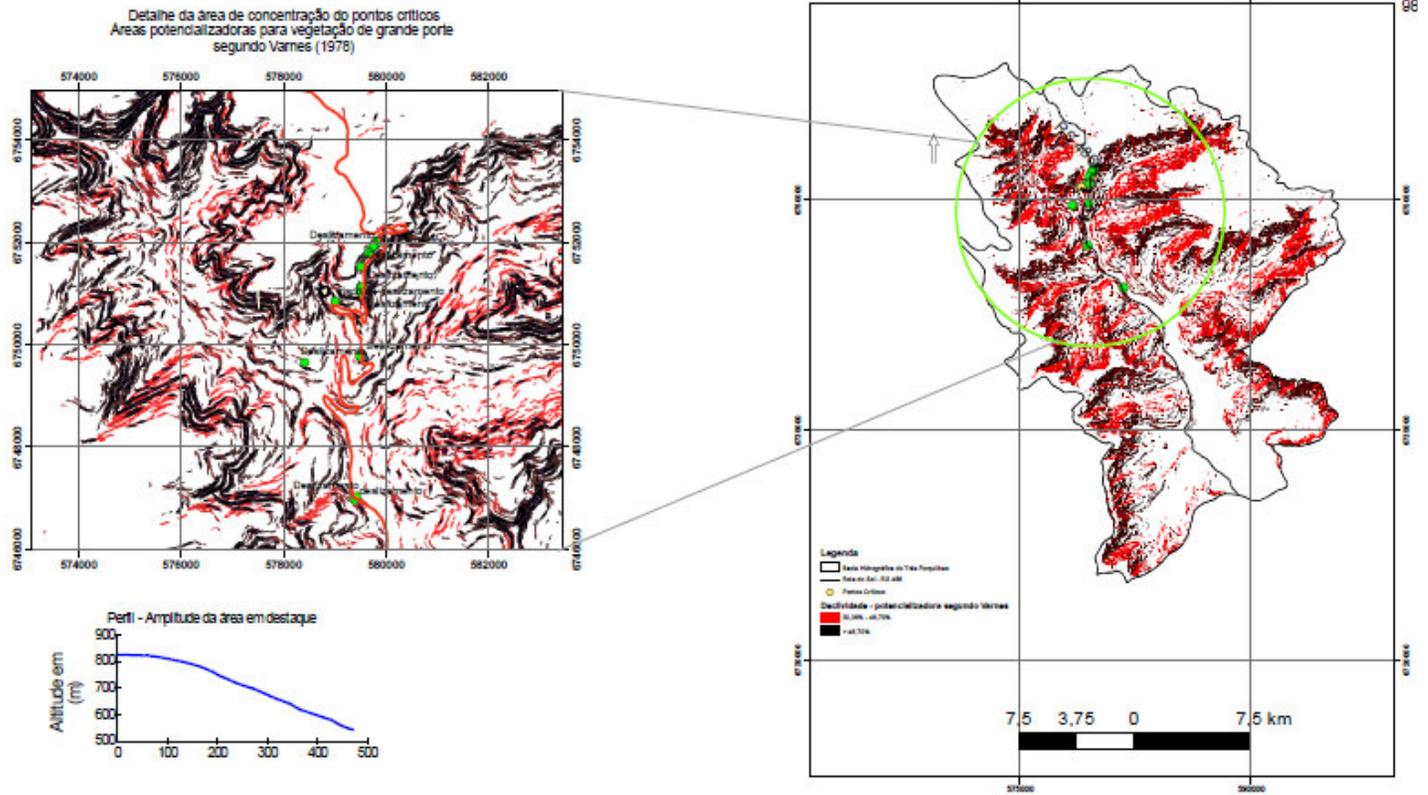
A área de estudo abrange uma região com alto grau de fragilidade associado ao relevo e à litologia, protegida pela cobertura vegetal, mas que não impede a erosão favorecida pela declividade do terreno.

Foi possível visualizar pequenos blocos misturados à vegetação retirada quando do deslocamento dos blocos, relacionando os tipos de movimento com o tipo de material envolvido citados por diversos autores como associados ao comportamento mecânico de solos e rochas.

Pode-se observar o intenso fraturamento da área de estudo, causando uma instabilidade maior pela percolação da água da chuva e potencializando os processos erosivos.

O proposto por Varnes (1984) apud Nummer (2003) contraria o que sugerem as bases georreferenciadas para a comparação do desempenho socioeconômico dos municípios gaúchos (2007), para que nas áreas com declividade superior a 45% mantenha-se a permanência da cobertura vegetal natural, constituindo áreas de preservação permanente (Fig. 29).

Ao aplicar a metodologia proposta por Ross (1991), através da hierarquização dos graus de proteção ao terreno, associando dados de cobertura vegetal e uso da terra, chega-se à confirmação do proposto por Nummer (2003), quando este considera os efeitos benéficos da vegetação na estabilidade dos taludes.



Fonte:
Base Cartográfica do Rio Grande do Sul
em Escala 1:250.000, preparada para SIG
da Fundação Estadual de Proteção Ambiental
FEPA/ Serviço de Geoprocessamento (2005)
MIRS36

Projeção UTM
Datum Horizontal: Ajustado para SAD/69 (Brasil)
Fuso 22S

Universidade Federal do Rio Grande do Sul Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CPSRM/UFGRS		
Descrição Mapa de áreas onde a vegetação pode ser potencializadora a ocorrência de movimentos de massa (Varnes, 1978)		
Autores Geog. Michele Mingulhoti Orientadora: Prof.ª Dr.ª Dejanira Ludetto Galbaniha Co-orientador: Prof. Dr. Sergio Florencio de Souza		
Figura 29		
Arquivo eletrônico Projeto Rota do Sol	Escala de Apresentação: 1:250.000 e 1:75.000	Março 2008

5.1 Determinação de Áreas Suscetíveis a Movimentos de Massa

Até então as variáveis envolvidas neste estudo foram tratadas de forma isolada. A seguir foi realizada a integração das variáveis baseado no que propõe Valdameri (1996) atribuindo aos temas pesos específicos em função de sua importância na definição dos fatores e critérios envolvidos no processo de tomada de decisão.

Para o estabelecimento da contribuição de cada plano de informação gerado e buscando definir as áreas suscetíveis a movimentos de massa para a Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas na área de influência da rodovia RS/486 – Rota do Sol, as variáveis foram submetidas ao Processo Analítico Hierárquico (AHP).

O processo de decisão utilizado neste estudo está disponível no programa ArcGis através da extensão *Analytic Hierarchy Process* (AHP) que é uma ferramenta, *um script*, disponibilizada pela ESRI.

Todos os critérios / fatores que são considerados relevantes para a decisão são comparados par-a-par em uma matriz que é uma medida relativa a expressar a preferência entre os fatores. Para o estabelecimento da contribuição de cada mapa temático gerado, buscando definir as áreas suscetíveis a movimentos de massa para a área de estudo, as variáveis foram submetidas ao Processo Analítico Hierárquico (AHP) atribuindo importâncias diferenciadas conforme a escala de valores da AHP.

Propõe Câmara *et al.* (1996) *apud* Carvalho (2004), que aos critérios sejam atribuídos pesos de acordo com a importância, aumentados ou diminuídos quando necessário. Para os autores, a AHP pode ser aplicada para zoneamento, prospecção mineral, seleção de áreas para disposição de resíduos, estudos de preservação ambiental em áreas de encosta, ou para elaboração de mapas de riscos de movimentos de massa ou impacto ambiental.

As classes de instabilidade foram descritas através de percentuais padrões definidos no ArcGis referentes às informações de índice de vegetação, Uso do solo e aspectos fisiográficos (unidade ecodinâmica) da Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas. Na tabela 14 pode-se visualizar os pesos resultando na razão de consistência de 0,0772. Como propõe Carvalho (2004), os pesos atribuídos aos

condicionantes e as classes dos condicionantes podem ser alterados a qualquer momento. Alerta-se para que, neste caso, se execute novamente o processo AHP para que o mapa final seja atualizado após cada modificação de critérios e pesos.

Tabela 14 – Pesos atribuídos aos critérios/fatores determinados na Análise Hierárquica (AHP)

Crítérios*	Peso calculado (AHP)
NDVI	0,0549
Uso do Solo	0,6554
Fisiográfico	0,2897

* Variáveis: NDVI, Uso do Solo e Aspectos Fisiográficos

Quando o fator declividade substitui o fisiográfico e passa a ser o mais valorado, o resultado dos novos pesos (Tab. 15) e o resultado do processo pode ser visualizado no mapa resultante.

Tabela 15 – Pesos atribuídos aos critérios/fatores determinados na Análise Hierárquica (AHP)

Crítérios*	Peso calculado (AHP)
NDVI	0,0864
Uso do Solo	0,3741
Declividade	0,5395

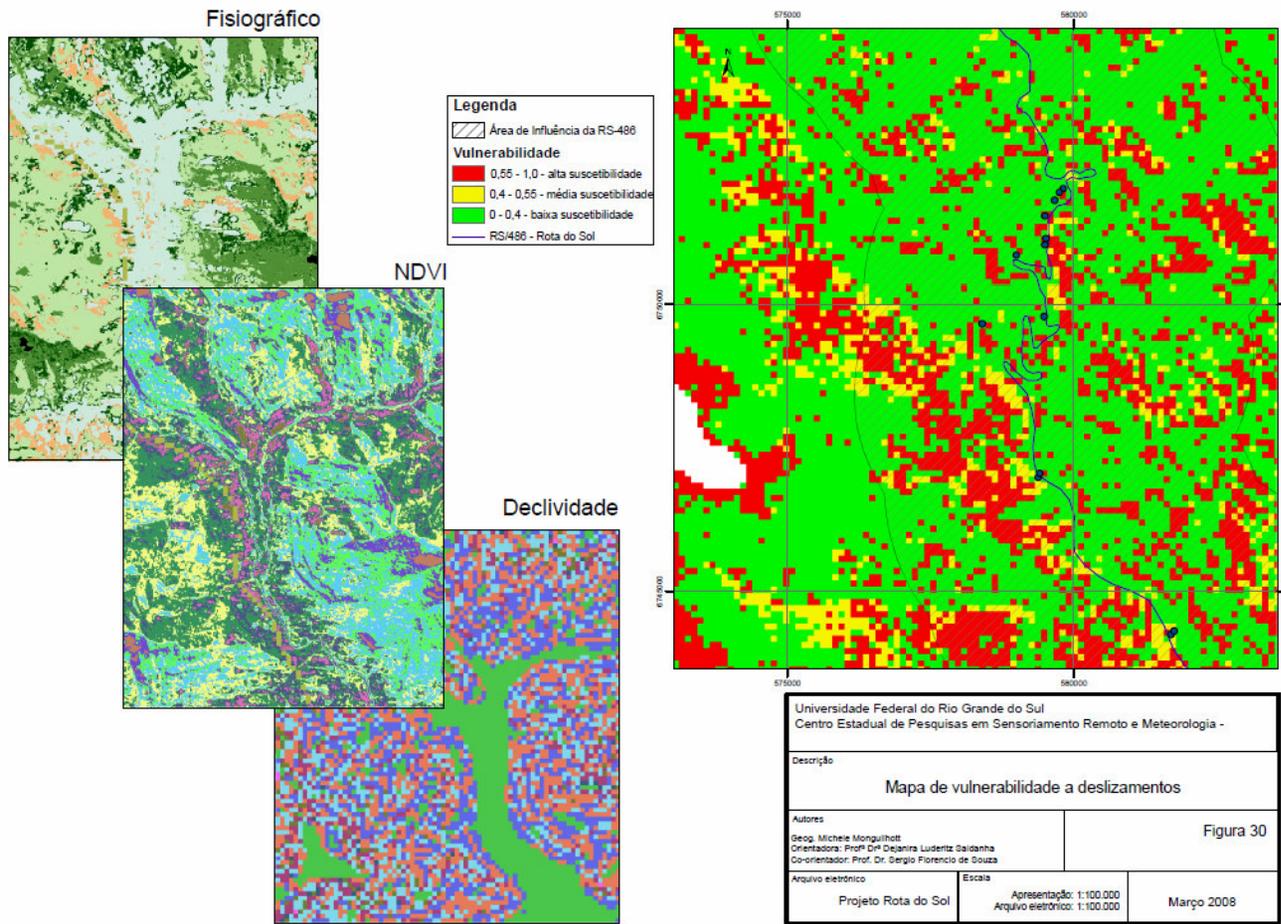
* Variáveis: NDVI, Uso do Solo e Declividade

A razão de consistência resultante para esses novos pesos é igual a 0,1303 exigindo a revisão dos pesos nesta decisão e nova aplicação da AHP conforme recomenda o Saaty (1977).

Para Carvalho (2004), a definição dos critérios e fatores que serão mais valorados em relação aos demais depende fundamentalmente do que se quer evidenciar; no presente caso, o objetivo foi destacar áreas susceptíveis a movimentos de massa através da aplicação da seguinte matriz pareada.

Para a padronização das variáveis foi testado o proposto por Vanacôr (2006), convertendo as variáveis vetoriais para o formato matricial (grid) mantendo a proporção de tamanho, resolução e formato.

O mapa resultante (Fig. 30) apresenta classes associadas às informações fisiográficas, destacando as áreas vulneráveis aos movimentos de massa segundo os critérios atribuídos para as variáveis.



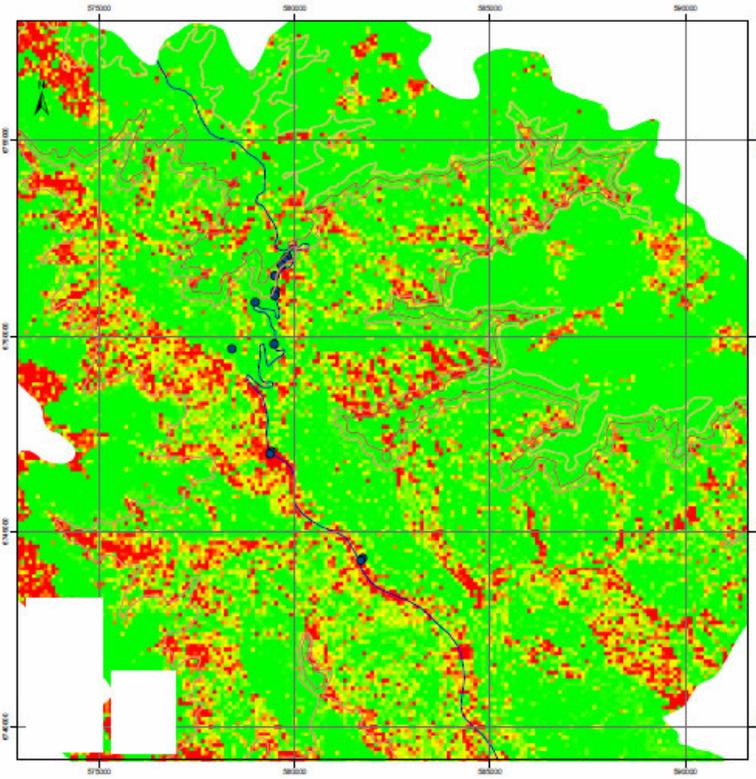
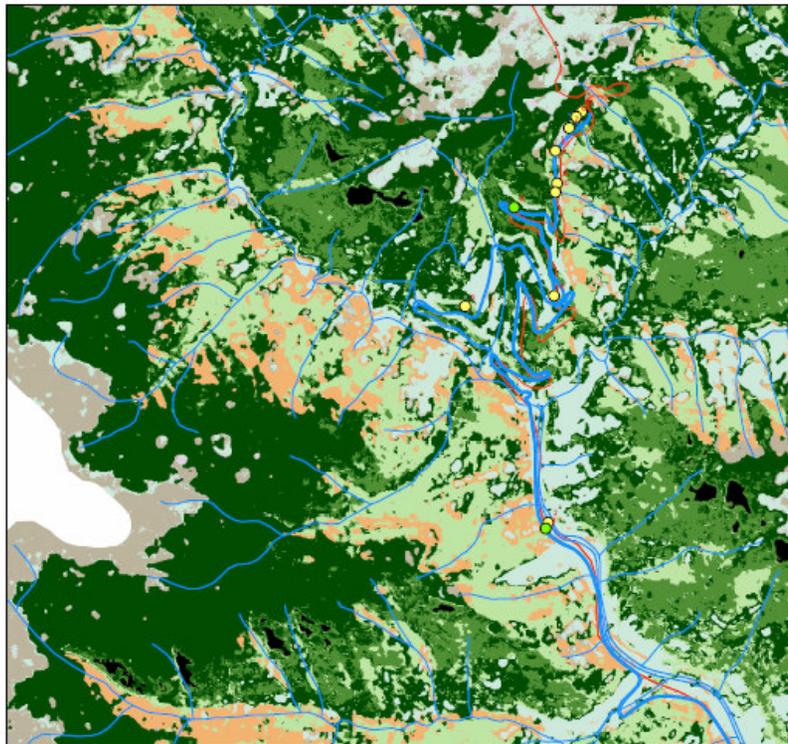
O mapa de suscetibilidade gerado apresentou valores em intervalos definidos como: 1) baixa suscetibilidade: 0 – 0,4; 2) média suscetibilidade: 0,4 – 0,65 e alta suscetibilidade: 0,65 – 1.

Conforme propõe Saaty & Vargas (1991), se a razão de consistência (*rátio CR*) exceder um valor de 0,1 o cálculo deverá ser refeito para não apresentar incoerências de julgamento.

Diversos autores recomendam a aplicação pontual e não por determinação de áreas. Redivo *et al.* (2004), em seu estudo sobre a determinação de áreas susceptíveis a escorregamentos na BR 356 no Município de Outro Preto-MD, sugerem o uso do modelo matemático desenvolvido recentemente por Montgomery & Dietrich; é um modelo que utiliza bases físicas e vem obtendo resultados muito bons na previsão dos escorregamentos. Especificamente, sugerem o uso do modelo SHALSTAB pois obtiveram ótimos resultados em estudos desenvolvido nos EUA e em regiões tropicais, como destacado por Guimarães *et al.* (1999), Ramos *et al.*, (2002) *apud* Redivo *et al.* (2004).

Dados do EIA/RIMA da Rota do Sol (1990) asseguram que os processos erosivos da área estão muito mais relacionados à forma de ocupação e manejo do solo e ao desmatamento do que à malha rodoviária instalada.

A figura 31 expressa o resultado desta pesquisa através do mapa de vulnerabilidade/suscetibilidade a movimentos de massa para a rodovia RS/486.



Legenda

- Deslizamentos Nov/2007
- Deslizamentos 03/2007
- RS 486 - Rota do Sol
- Bacia Hidrográfica do Três Forquilhas

Classes de Uso do Solo

- Florestamento - FL1
- Formações Florestais Secundárias - MS
- Estepe Gramíneo-Lenhosa - EGL
- Área de Ocupação Agrícola - AOA
- Solo Agrícola - SA
- Floresta Ombrófila Mista - MOM
- Floresta Ombrófila Densa - MOD

Legenda

- ▨ Área de Influência/RS-486
- RS/486 - Rota do Sol
- Vulnerabilidade**
- 0 - 0,4 - baixa suscetibilidade
- 0,4 - 0,55 - média suscetibilidade
- 0,55 - 1 - alta suscetibilidade

Universidade Federal do Rio Grande do Sul Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CPSRM/UFRGS Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto		
Descrição <p style="text-align: center;">Uso do solo e áreas suscetíveis a movimentos de massa</p>		
Autores Geog. Michele Mongulhott Orientadora: Prof.ª Dra. Dejanira Luderitz Saldanha Co-orientador: Prof. Dr. Sergio Florencio de Souza		Figura 31
Arquivo eletrônico Projeto Rota do Sol	Escala Apresentação: 1:100.000 Arquivo eletrônico: 1:100.000	Março 2008

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

O uso da matriz pareada é de fácil aplicação quando se tem pré-determinados os pesos, critérios e fatores envolvidos para a tomada de decisão.

Quando o critério de aspectos fisiográficos é empregado, ocorre uma generalização de áreas de baixa vulnerabilidade.

Para o presente trabalho, aceitou-se como susceptíveis à ocorrência de deslizamentos as áreas resultantes da aplicação da matriz de consistência proposta, encontrando como resultado final o mapa de vulnerabilidade para a Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas – fragmento Rs/486 – Rota do Sol.

A técnica empregada obteve resposta significativa para a determinação de áreas susceptíveis a deslizamento na Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas com forte relação com os pontos críticos coletados em campo.

A determinação destas áreas implica a generalização das ocorrências, não determinando de forma pontual os deslizamentos, as ocorrências pontuais foram localizadas geograficamente em trabalho de campo. A associação do trabalho de campo deve acontecer também após o resultado obtido em laboratório para validação das informações e confronto das variáveis permitindo um maior detalhamento destas áreas.

O conhecimento prévio da região bem como a correta definição dos critérios e fatores (variáveis) que serão utilizadas para a sobreposição e integração (*overlay*) de informações e conseqüente resultado do estudo exigem do profissional cuidados específicos e muita atenção na hora de definir os critérios a serem analisados pela

matriz pareada. A complicada definição de pesos deve ser realizada com cuidado para não mascarar os resultados.

Ficou evidente essa relação no resultado do mapeamento de uso do solo e a espacialização dos pontos críticos no mesmo. A ocorrência dos deslizamentos está certamente associada à forma de ocupação e manejo do solo; ocorre que os deslizamentos mapeados na Bacia Hidrográfica do Rio Três Forquilhas, além daqueles existentes fora da área de influência da rodovia, demonstram forte relação com os taludes. Esta preocupação existia na época, quando os autores do RIMA destacaram que “a construção da rodovia RS-230/486, com cortes e aterros, pode vir a se constituir em agente efetivo importante aos fenômenos de escorregamentos, em especial, naqueles segmentos definidos como mais instáveis: Encosta superior da escarpa, sujeita a movimentos de massa rápidos e médias e baixa encosta, onde as condições de instabilidade estão condicionadas às ocorrências mais expressivas de colúvios e talus.”

As áreas sugeridas após o emprego da técnica AHP conferem especial relação com os pontos críticos coletados em campo. Ocorre que em ambos os levantamentos de campo verificaram-se a retomada dos deslizamentos nos mesmos locais de deslizamentos anteriores (recorrentes).

As ocupações destas áreas, facilitadas por suas características de uso do solo, modificam a paisagem local e, quando da ocorrência destes fenômenos meteorológicos extremos, os prejuízos são de difícil reparação, tanto no aspecto social, quanto ao aspecto ambiental da área afetada.

Não foi possível confirmar a relação da cobertura vegetal de grande porte como potencializadora dos movimentos de massa em áreas de encosta, para isto será necessário um estudo pontual e temporal destes processos a fim de determinar esta relação.

Sugere-se uma análise pontual das características do relevo considerando também fatores propostos por alguns autores como comprimento de rampa, amplitude das vertentes, pluviosidade e unidades de relevo em grande escala.

Este trabalho não se propôs a estudar especificamente as Áreas de Preservação Permanente – APP, porém destacamos a importância da adoção desse índice como parâmetro para o estudo das classes de matas ciliares geralmente

associadas aos corpos d'água, também conhecida como mata de galeria que é um importante referencial para análise ambiental.

Pretendeu-se com este trabalho fornecer um mapeamento para auxiliar no monitoramento de áreas de riscos para a Defesa Civil do Estado. Para um estudo mais detalhado, pode-se utilizar modelos pontuais como o SHALSTAB, disponibilizado como script e compatível somente com a versão 3.2 do ArcGIS.

REFERÊNCIAS

ALBERTON, J.O. 2004. *Manual - Ocupação de Encostas- 1991*. IPT - Instituto De Pesquisas Tecnológicas. Disponível em: www.soniaa.arq.prof.ufsc.br/~soniaa/arc1206/2004/josicler/MarcioCunhaIPT_Manual1991.PDF. Acessado em ago. 2007.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. O SIGEL – *Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico*. Disponível em: <http://sigel.aneel.gov.br/brasil/viewer.htm>

ARAÚJO, C.C. *Aplicação de geoprocessamento na análise de favorabilidade para mineralizações de chumbo, zinco e cobre nas folhas de Cerro Azul e Apial, Vale do Ribeira, (SP e PR)*. 1999. 117 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

BETIOLO, L.M. GOULART, R.V. *Caracterização e compartimentação hidroquímica das águas subterrâneas do Bloco Morfotectônico da Fachada Atlântica*. In: Salão de Iniciação Científica (18. : 2006: Porto Alegre). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2006. v.1, Resumo 304 p

BRASIL, 1986. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. *Resolução N°20 de 18.06.86*. Brasília.

CALDAS, A. J. F. S.: *Geoprocessamento e análise ambiental para determinação de corredores de habitat na Serra da Concórdia, Vale do Paraíba - RJ.*; 1; 110;

CÂMARA, G. MEDEIROS, J.S.de. Mapas e suas representações computacionais. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. *Sistema de informações geográficas aplicações na agricultura*. 2 ed. Brasília: Embrapa, 1998. p. 13 – 29.

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

CÂMARA, G. MEDEIROS, J.S.de. *Princípios básicos em geoprocessamento*. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. *Sistema de informações geográficas aplicações na agricultura*. 2 ed. Brasília: Embrapa, 1998. p. 3 – 11.

CARRARO, CLÓVIS CARLOS. *Disciplina Sensoriamento Remoto*. 1982 1 v

- CARVALHO, C.M.; ROEDEL, P.S. *Análise de Suscetibilidade a escorregamentos nos entornos dos polidutos de Cubatão – SP, através de técnicas de informação geográfica*. HOLOS Environment, v. 4 n° 2, 2004. ISSN 1519-8634
- CHANAN, LENICE MARIA CONSOLI. *Vulnerabilidade ambiental à ocupação urbana, município de Porto Alegre, RS : uso de SIG, Sistema de Informação Geográfica*. 1997. 121 f. : il., mapas
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia fluvial*, Ed. Edgar Blucher, v.1, 313 p. 1980.
- CHRISTOFOLETTI, ANTÔNIO, 1936. *Geomorfologia fluvial*. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.
- CHRISTOFOLETTI, ANTONIO. *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 236 p. : il.
- CHRISTOFOLETTI, ANTONIO. *Geomorfologia*. 2. ed.rev.ampl. São Paulo : E. Blücher, 1988. 188 p.
- COSTA, F. de O. *Dinâmica dos processos erosivos atuantes em três encostas no município de Viçosa-MG: uma análise*. UFV. 2006. 62p.
- CROSTA, ALKVARO P. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. – ed., Ver., – Campinas,. SP/IG/UNCAMP,. 1993,. 3ª ed.,.
- CUNHA, M. A(org.) *Manual para ocupação de encostas*. São Paulo, IPT, 1991.
- CUNHA, S. B. GUERRA, A.J.T. *Geomorfologia: exercícios e aplicações*. 2ª ed. Rio de Janeiro, Bertrand, Brasil. 2002.
- DAER – Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Disponível em: <<http://www.daer.rs.gov.br/>>
- DIAS, AGEMIR DE C., LIMA, FERNANDO R. F. *Estradas da Liberdade: inclusão e desenvolvimento*,. Revista Análise Conjuntural,. V 29, n.05-06, maio/jun 2007.
- DIAS, R.A., LISBOA, N. VERDUM,R., AREND, S., POTTER, P. E. *O controle dos movimentos de massa e de seus depósitos pela estratigrafia vulcânica da formação Serra Geral na Escarpa do Planalto Meridional, Vale do Três Forquilhas, RS*. In: Simposio sobre Vulcanismo e Ambientes Associados (1. : 1999 : Gramado, RS). Boletim de resumos. Gramado : SBG, 1999. p. 10
- DIETRICH, W. E. et al. Erosion thresholds and land surface morphology. *Geology*, v. 20, p. 675-679, August 1992.
- DNIT – *Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte*. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/>>

ECHEVERRIA, NORA E, VALLEJOS, ADRIÁN G y SILENZI, JUAN C. *Erodabilidad de suelos del sur de la Región Semiárida argentina*. Cienc. Suelo, ene./jul. 2006, vol.24, no.1, p.49-57. ISSN 1850-2067.

EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SIBCS*. Editora Embrapa. 2006.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler. *Programa de Gerenciamento costeiro*. www.fepam.rs.gov.br, acessado em fevereiro de 2004.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. *Movimentos de Massa: Uma Abordagem Geológico-Geomorfológica*. In: Antônio J. T. Guerra; Sandra Baptista. (Org.). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. 1 ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 1996, v. , p. 123-194

FRAENKEL, Benjamin B. *Especificações gerais para construção de estradas e pontes: aplicação também a outras obras de engenharia*. Rio de Janeiro : Record, [1959?]. 570 p.

FREITAS, S.R., METZGER, J.P. *Relação entre a densidade e a conectividade das estradas, e o relevo em uma paisagem fragmentada da Mata Atlântica *(Planalto de Ibiúna, SP)*. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensorimanto Remoto,. Florianópolis,. Brasil, 21-26 abril 2007,. INPE,. P,. 2859 – 2664.

GARCIA, GILBERTO JOSE. *Sensoriamento remoto Princípios e interpretação de imagens*. São Paulo: Nobel, 1982. 357 p.: il.

GARTNER, I.R., GRANEMANN, S.R. *Modelo Multiespectral para escolha modal/sub-modal de transporte*. Disponível em: <http://hermes.uces.br/carvi/cent/dpei/odgracio/enciso/Gestao%Estrategica%20Custos%20Unisc%202005/Artigos/Modelo%20multicriterial%20para%20escolha%20modal%20e%20sub-modal%20de%20transporte.pdf> Acessado em mar/2008.

Geomorfologia : exercícios, técnicas e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, c1996. 343 p

GOMES, ALBA MARIA BAPTISTA. *Aspectos da evolução geomorfológica da escarpa oriental de planalto meridional durante o quaternário*. Porto Alegre, 1976. 127 f.

HAR ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE. *Estudo de Impacto Ambiental – EIA da rodovia RS 230/486 – Rota do Sol – Trecho Tainhas – Terra de Areia*. Volume 1 e 2, 1990, DAER/RS (empreendedor).

HOFFMANN, G.R., AREND, L.M. BORTOLUZZI, da S., J.C. BELLOMO, H.R., NUNES, J.L.M. *Rio Grande do Sul – Aspectos da Geografia*. 2ª ed. Ed.Martins Livreiro, 1992.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/home/>>

KULMANN, D. Estudo *Morfométrico da Bacia Hidrográfica do Arroio Jaguari-Mirim*, RS. 2004. 71 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, 1004.

KUWAKUBO, F.S.; MORATO, R.G., LUCHIARI, A. *Processamento das Imagens HRG-SPOT5 na determinação de classes de uso da terra e manchas de cobertura vegetal na região de Teodoro Sampaio – Pontal de Paranapanema*. Geusp – Espaço e Tempo, São Paulo, n° 15, pp. 127-136, 2004.

LILESAND, T., M., KIEFER, R., W., CHIPMAN, J., W. *Remote Sensing And Image Interpretation Estados Unidos da América*. John Wiley & Sons , INC., 2004,5ª ed. 763 p.

LIMA, M.L.P. . *Notas de aula de Projeto de Estradas - Versão 2*. 2003. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Notas de aula).

LISBOA, N. A. *Fácies, estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos, em unidades hidrogeologias do sistema aquífero serra geral, na Bacia do Paraná*, Rio Grande do Sul. 1996. 135 f. : il.

MARTINS, RICARDO S. *Corredor centro-leste: sistema de transporte de Minas Gerais na perspectivas dos eixos de desenvolvimento e integração* | por Ricardo S. Martins; Mauro Borges Lemos – Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 2006.

MENESES, P. R., NETTO, J. DA S. *Sensoriamento Remoto: refletância dos alvos naturais*. Brasília, DF: UnB/Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 263p.

MORAES, E. C. de. *Fundamentos do Sensoriamento Remoto – Capítulo 1*, DSR/INPE. 22 p. Disponível em:
http://www.dsr.inpe.br/vcsr/html/APOSTILA_PDF/CAP1_ECMoraes.pdf

MORELLI, LUIZ ALBERTO. *Resíduos sólidos – percepção/representação da coleta voluntária em defesa do ambiente urbano – experiência de Porto Alegre/RS*. Porto Alegre: UFRGS, 2005.

NETO, Osvaldo C. P.; Filho, Mario V. *Análise comparativa de métodos para a elaboração de cartas de declividade aplicadas ao estudo do meio físico*. Anais do VII SBSR, 1993. 7 p. disponível em <http://www.inpe.br>

NOVO, EVLYN M.L. DE MORAES. *Sensoriamento remoto : princípios e aplicações*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. 308 p. : il.

NUMMER, A. V. *Parâmetros geológicos-geotécnicos controladores dos movimentos de massa na Rota do Sol/RS/486 – Itati, RS/Andréa Nummer – Porto Alegre:PPGEC/UFRGS, 2003.*

PASTORE, E. ; FORTES, R. M. . *Caracterização e Classificação de Solos. Geologia de Engenharia*. : ABGE, 1998, v. , p. 197-210.

Pesquisas em Geociências. In: *Pesquisas / Instituto de Geociências* Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Geociências, 2000- ---v. : il.

RADAM/BRASIL. *Folha SH.22. Porto Alegre e parte das Folhas SR.21 Uruguaiana e Si.22 Lagoa Mirim: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso Potencial da Terra*. 1986. Rio de Janeiro: IBGE 796p. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 33)

REDIVO, A. L. ; RAMOS, Verônica Moreira ; GUIMARÃES, Renato Fontes ; CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio de ; GOMES, Roberto Arnaldo T . *Determinação de Áreas Susceptíveis a Escorregamentos na BR 356 no Município de Ouro Preto - MG*. Ciencia e Natura, Santa Maria, n. Especial, p. 31-45, 2004.

REGINATO, P.A.R.; STRIEDER, A.J. Integração de Dados Geológicos na Prospecção de Aqüíferos Fraturados na Formação Serra Geral. *Águas Subterrâneas* v.20, 12 n.1, p.1-14, 2006

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.539-546, 2003

ROCHA, CEZAR HENRIQUE BARRA. *Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar*. Juiz de Fora, MG: Ed. Do Autor, 2000. 220p. il.

ROSS, JURANDYR LUCIANO SANCRES. *Geomorfologia: ambiente e planejamento*. 2ª ed. São Paulo: Contexto, 1991. 83 p. (Coleção repensando a geografia).

Rio Grande do Sul *em mapas e dados: bases georreferenciadas para a comparação do desempenho socioeconômico dos municípios gaúchos entre 1966 e 2006 /* Coordenador Carlos Águedo Nagel Paiva. – Porto Alegre, 2007.

SAATY, T. *A scaling method for priorities in hierarchical structures*. *Psychology*, v.15, p.234-281, 1977.

SANTOS,M. *A natureza do espaço. Técnica e tempo, razão e emoção*. São Paulo: Edusp, Editora da Universidade de São Paulo. 1982. 384 p.

SANTOS,M. *A natureza do espaço. Técnica e tempo, razão e emoção*. São Paulo: Edusp, Editora da Universidade de São Paulo. 2002. 384 p.

SEMA, 2007. Rio Grande do Sul, Secretaria Estadual do Meio Ambiente. *Diretrizes para restauração de matas ciliares/Secretaria Estadual de Meio Ambiente*. Departamento de Florestas e Áreas Protegidas. Porto Alegre, RS: SEMA, 2007. 33p. il.

SNDC – Secretaria Nacional de Defesa Civil. Disponível em: : <<http://www.defesacivil.gov.br/sndc/index.asp>>

SCP. Secretaria da Coordenação e Planejamento. Departamento de Estudos Econômicos e Sociais e Planejamento Estratégico. *Rumos 2015: estudo sobre desenvolvimento regional e logística de transportes no Rio Grande do Sul/SCP-DEPLAN;DCAPET*. Porto Alegre: SCP, 2006. 5v.

Secretaria da Agricultura e Abastecimento. *Manual de conservação do solo e água: uso adequado e preservação dos recursos naturais renováveis*. 3. ed. Porto Alegre, 1985. 287 p.

Secretaria da Coordenação e Planejamento. *Departamento de Estudos Econômicos e Sociais e Planejamento Estratégico. Rumos 2015: estudo sobre desenvolvimento regional e logística de transportes no Rio Grande do Sul/SCP-DEPLAN;DCAPET*. Porto Alegre: SCP, 2006. 5v.

Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores; métodos inovadores. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 286 p. : il.

SILVA, J. X. da *Geoprocessamento para análise ambiental*. Rio de Janeiro : Ed. do Autor, 2001. 227 p.

SILVA da, J. X. ZAIDAN, R.T. (2004). *Geoprocessamento & Análise ambiental: aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 368 p.

SINDEC – *Sistema Nacional de Defesa Civil*. Disponível em: </p>
 <p><http://www.defesacivil.gov.br/sindec/index.asp>>

STRECK, E. V. *et al.. Solos do Rio Grande do Sul*. E ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008, 222p.

SUERTEGARAY, Dirce. M. A; BASSO, Luís A; VERDUM, Roberto (org). *Ambiente e lugar no urbano - A grande Porto Alegre*. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000.

TEIXEIRA, A.L.A.; CHRISTOFOLETTI, A. *Sistemas de Informação Geográfica, dicionário ilustrado*. Editora Hucitec, 1997. 244p.

TOMLIN, C. DANA. *Geographic information systems and cartographic modeling*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1990. xviii, 249 p. : il. + 1 disquete

TRICART, J. *La epidermis de la tierra. Nueva colección labor*. Ed. Labor, S.A. Barcelona, 1969.

UNDRO - United Nations Disaster Relief Organization
 UNDRO

VALDAMERI, REJANE MARIA. *Análise da vulnerabilidade ambiental através de técnicas de geoprocessamento : o caso do morro do osso*, Porto Alegre-RS. 1996. 32 f. : il.

VALDAMERI, REJANE MARIA. *Elaboração do mapa de capacidade de uso da terra através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento* [manuscrito]. 1997. 65 f. : il.

VALERIANO, M. de M. *Curvatura vertical de vertentes em microbacias*. Disponível em <http://www.marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.29.11.41/doc/3595.pdf>. Acessado mar. 2008

VANACÔR, Roberto Nunes. *Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul*. [manuscrito] 2006. 128p.:il.

VARGAS, L. G. (1990) *An overview of the Analytic Hierarchy Process and its applications*. *European Journal of Operational Research*, North-Holland, v. 48, p. 2-8.

WCED. *Nosso Futuro Comum. Relatório Brutland*. Genebra, 1987