



INPE-00000-TDI/0000

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA
SISTEMATIZAÇÃO DO MAPEAMENTO DE ÁREAS POTENCIAIS
A EROSÃO USANDO IMAGENS *MODIS* E DADOS DO *SRTM* –
ÁREA DE ESTUDO: RIO GRANDE DO SUL**

Carline Biasoli Trentin

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientada pela
Dra. Tania Maria Sausen.

INPE
Santa Maria
2008



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA
SISTEMATIZAÇÃO DO MAPEAMENTO DE ÁREAS POTENCIAIS
A EROÇÃO USANDO IMAGENS *MODIS* E DADOS DO *SRTM* –
ÁREA DE ESTUDO: RIO GRANDE DO SUL**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Carline Biasoli Trentin (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: carline.trentin@crs.inpe.br

Dra. Tania Maria Sausen (CRS/ INPE, Orientadora)
E-mail: tania@ltid.inpe.br

COLABORADORES

Dr. Manoel de Araújo Sousa Jr. (CRS/INPE)
Dra. María Silvia Pardi Lacruz (CRS/INPE)

Julho de 2008

RESUMO

O conhecimento da ocupação do espaço e suas informações, o uso integrado dos recursos naturais, bem como o planejamento e o gerenciamento são necessários para a gestão e controle dos recursos naturais, dos processos erosivos, dos impactos ambientais, entre outros. Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para o mapeamento sistemático, em escala regional, de áreas potenciais à erosão do estado de Rio Grande do Sul, utilizando imagens de moderada resolução espacial. Inicialmente foi criado um banco de dados georreferenciado no *software* Spring versão 4.3.3. Dessa forma foi elaborado o mapa de uso e cobertura do solo a partir da classificação supervisionada da composição índice de vegetação *MODIS/EVI*. Em seguida fez-se o processamento das imagens *SRTM* para a obtenção dos mapas de hipsometria e declividade; adicionalmente, foram digitalizados os mapas de geologia, geomorfologia, solos e vegetação do estado. Para a integração das informações georreferenciadas e a atribuição dos valores de vulnerabilidade e estabilidade para as diferentes classes dos temas declividade, geologia, geomorfologia, solos e uso e cobertura do solo, utilizou-se a técnica AHP e em seguida foram desenvolvidas em linguagem LEGAL as regras para a integração dos diferentes planos de informação. A análise consecutiva e a interpretação dos planos de informação permitiram gerar o mapa de vulnerabilidade natural à erosão para o estado do Rio Grande do Sul, demonstrando as áreas impróprias para uso e ocupação humana.

**DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR A SYSTEMATIC MAPPING
OF EROSION POTENTIAL AREAS USING MODIS AND SRTM IMAGES -
STUDY AREA: RIO GRANDE DO SUL**

ABSTRACT

The objective of this study is to develop a methodology for a systematic mapping in regional scale of erosion potential areas using moderated resolution images. Initially a georeferenced database was created, using SPRING software. Thus, a land use/land cover map was prepared based on the supervised classification of the MODIS/EVI vegetation index composition. The SRTM images were processed to obtain the hypsometric and the slope map. Afterwards, the geology, geomorphology, soil and vegetation maps were digitalized. The integration of the georeferenced information and the definition of the vulnerability and stability parameters for the different slope, geology, geomorphology, and land use and soil cover classes were done using the AHP techniques. The consecutive analysis and interpretation of information layers allowed to generate the erosion vulnerability map for the state of Rio Grande do Sul, demonstrating which areas were unsuitable human occupation and other types of uses.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	
Lista de Tabelas	
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	15
1.1.1 Objetivos específicos	15
1.2 Área de Estudo	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 Processos Erosivos	19
2.2 Geotecnologias	19
2.2.1 Sensoriamento remoto	19
2.2.1.1 Sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)	20
2.2.1.2 Sensor Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).	21
2.2.2 Geoprocessamento	22
2.2.2.1 Técnica de Realce	23
2.2.2.2 Classificação MaxVer	23
2.2.2.3 Técnica AHP	24
2.2.3 Sistema de Informação Geográfica	24
2.2.4 Geotecnologias e desastres naturais	26
3 MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 Materiais Utilizados	28
3.2 Metodologia	28
3.2.1 Mapa de Uso e Cobertura do Solo	29
3.2.2 Mapa Hipsométrico	30
3.2.3 Mapa de Declividade	30
3.2.4 Mapas de Geologia, Geomorfologia, Pedológico e Vegetação	30
3.2.5 Mapa de Vulnerabilidade Natural à Erosão	31
4 RESULTADOS	34
4.1 Análise dos Mapas	34
4.1.1 Mapa de Uso e Cobertura do Solo	34
4.1.2 Modelo Digital de Elevação	37
4.1.3 Mapa Hipsométrico	39
4.1.4 Mapa de Declividade	42
4.1.5 Mapa de Geomorfologia	45
4.1.6 Mapa de Geologia	48
4.1.7 Mapa Pedológico	52
4.1.8. Mapa de Vegetação	55
4.1.9. Mapa de Vulnerabilidade Natural à Erosão	57
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1:	Mapa de localização do Estado do Rio Grande do Sul	18
Figura 3.1:	Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos	29
Figura 4.1:	Mapa de Uso da Terra do Estado do Rio Grande do Sul	36
Figura 4.2:	Modelo digital de elevação com áreas sombreadas, gerado a partir de imagens <i>SRTM</i> do Estado do Rio Grande do Sul	38
Figura 4.3:	Mapa Hipsométrico do Estado do Rio Grande do Sul	41
Figura 4.4:	Mapa de declividade do Estado do Rio Grande do Sul	44
Figura 4.5:	Mapa de Geomorfologia do Estado do Rio Grande do Sul	47
Figura 4.6:	Mapa de Geologia do Estado do Rio Grande do Sul	51
Figura 4.7:	Mapa Pedológico do Estado do Rio Grande do Sul	54
Figura 4.8:	Mapa de Vegetação do Estado do Rio Grande do Sul	56
Figura 4.9:	Mapa de Vulnerabilidade Natural à Erosão do Estado do Rio Grande do Sul	59

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1: Avaliação de vulnerabilidade das unidades de paisagem natural	31
TABELA 3.2: Valores de estabilidade para as Classes de Índices Morfométricos	31
TABELA 3.3: Valores de vulnerabilidade para cada Unidade de Paisagem	32
TABELA 4.1: Classificação do Uso da Terra no Estado do Rio Grande do Sul	35
TABELA 4.2: Classificação da Hipsometria no Estado do Rio Grande do Sul	39
TABELA 4.3: Classificação da Declividade no Estado do Rio Grande do Sul	43
TABELA 4.4: Valores de estabilidade para as Classes de Geomorfologia	45
TABELA 4.5: Classificação da Geomorfologia no Estado do Rio Grande do Sul	45
TABELA 4.6: Valores de estabilidade para as Classes de Geologia	48
TABELA 4.7: Classificação da Geologia no Estado do Rio Grande do Sul	49
TABELA 4.8: Valores de estabilidade para as Classes de Solos	53

1 INTRODUÇÃO

Desde o princípio de sua existência, o homem mantém relações com o ambiente, modificando e transformando-o conforme suas necessidades. Dessa forma, a colonização implantada em cada região estabelece as principais características da paisagem atual. Associado aos fatores históricos de uso e ocupação, tem-se os elementos naturais, garantindo ao ambiente uma heterogeneidade espacial.

O conhecimento da ocupação do espaço e suas informações, o uso integrado dos recursos naturais, bem como o planejamento e o gerenciamento, são necessários para a gestão e controle dos recursos naturais, dos processos erosivos, dos impactos ambientais, entre outros. A preocupação em analisar as características ambientais em termos da adequação e utilização dando suporte ao desenvolvimento, faz com que o uso e a ocupação do ambiente seja condicionado pelas suas características intrínsecas.

O meio ambiente está em constante alteração, devido a causas naturais e a modificações humanas. Tais mudanças podem também alterar a qualidade e/ou a quantidade dos recursos ambientais (PNUMA, 2004). A sociedade e o ambiente estão sofrendo cada vez mais os efeitos dos desastres naturais. Estes podem ocorrer como consequência do impacto de um risco natural ou causado por atividades antrópicas. Os desastres estão relacionados ao homem e seu modo de utilização dos recursos naturais, os quais têm gerado impactos à sociedade, causando perdas humanas, materiais ou ambientais (MARCELINO, 2008).

Dentre as formas de ocorrência de desastres naturais, estão incluídos os processos erosivos, os quais podem ser definidos em função de dois agentes principais: o homem (ação acelerada ou induzida) e os fenômenos naturais (ação das águas e vento), que produzem a desagregação de materiais já influenciados por processos de intemperismo químico e/ou físico. O solo é um dos recursos naturais mais utilizados pelo homem,

para seu manejo sustentado é necessário o conhecimento dos fatores que influenciam a intensidade erosiva, a qual varia de um local para outro.

Com o propósito de minimizar o impacto negativo ao ambiente deve-se analisar os diferentes usos do solo com enfoque a um planejamento integrado, visando a sustentabilidade das mais diversas atividades. Os tipos de uso da terra permitem analisar qualitativamente e quantitativamente os impactos causados pela ação antrópica no ambiente, fornecendo informações de uma maneira mais racional de utilização dos recursos naturais existentes, as potencialidades e a fragilidade de cada local.

Nos últimos anos, vários estudos tem sido realizados com o objetivo de estabelecer relações entre o homem e o meio natural uma vez que o desconhecimento e utilização de estratégias inadequadas de manejo do solo, das águas e das florestas, foram grandes responsáveis pela degradação do meio. Com o desenvolvimento da sociedade, a descoberta e os avanços de novas tecnologias auxiliam no planejamento das atividades referentes aos diferentes padrões de ocupação do espaço.

A fim de contribuir para o estudo de sistemas ambientais, a geoinformação atua como um conjunto de tecnologias direcionadas para a coleta e o tratamento das informações espaciais, disponibilizando ferramentas, recursos e dados a fim de que se possa determinar a evolução temporal e espacial de um determinado fenômeno geográfico e suas interrelações. Para tanto, utiliza-se de ferramentas computacionais, denominadas Sistemas de Informações Geográficas (SIG) as quais permitem realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados.

A partir do sensoriamento remoto é possível analisar e obter informações necessárias para a tomada de decisão rápida e eficaz, constituindo-se, portanto em um importante instrumento no planejamento de ações ambientais.

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma metodologia para o mapeamento sistemático em escala regional de áreas potenciais à erosão utilizando imagens de moderada resolução espacial.

1.1.1. Objetivos específicos

- Elaborar um mapa de uso e cobertura do solo como resultado do processamento de imagens *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)*;
- Gerar o modelo digital de elevação a partir das imagens do *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*;
- Obter a amplitude do relevo e a declividade do modelo digital de elevação;
- Digitalizar os mapas de geologia, geomorfologia, solos e vegetação do projeto atualizado do RADAMBRASIL;
- Determinar as áreas potenciais à erosão a partir do cruzamento e análise dos mapas de uso e cobertura do solo, modelo digital de elevação, amplitude do relevo, declividade, geologia, geomorfologia, solos e vegetação do estado do Rio Grande do Sul.

1.2 Área de Estudo

Situado na Zona Subtropical Sul, entre os Trópicos de Capricórnio e o Círculo Polar Antártico, o Rio Grande do Sul é o maior estado da Região Sul com uma área de

282.184 km², incluindo 14.656 km² de águas interiores. Apresenta uma costa atlântica de 622 quilômetros coberta por dunas e lagoas. O Rio Grande do Sul é uma região de planícies e colinas. O estado está dividido em quatro compartimentos geológicos: escudo, planalto, depressão periférica e planície costeira.

O clima é temperado do tipo subtropical, classificado como mesotérmico úmido e varia nas diversas regiões do Estado, conforme a altitude e a proximidade da costa marítima. Nas zonas elevadas da serra os invernos são frios, com ocorrência de fortes geadas e às vezes neve. A temperatura média anual é de 18°C. As estações do ano são bem definidas (Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2008).

O regime pluviométrico é bastante regular, segundo a classificação climática de Köppe, o Rio Grande do Sul se enquadra na zona temperada ou “C”, isto é, com temperatura do mês mais frio próxima a 3°C, e no tipo “Cf”: clima temperado úmido, com chuvas bem distribuídas durante todo o ano. A média pluviométrica anual é de 1.643 mm, embora haja regiões mais ou menos chuvosas (Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2008).

O solo do estado é relativamente fértil. No norte do estado predominam solos bem desenvolvidos e existem algumas fontes de água mineral, bem como pedras semi-preciosas. A planície costeira do estado é arenosa e baixa, apresentando o fenômeno das dunas em câmoros, que chegam a atingir mais de vinte metros de altura, dando um aspecto peculiar à paisagem. O Sudeste ou o escudo riograndense é constituído por solos arqueanos muito antigos, nesta parte do estado, localizam-se as minas de cobre, estanho, ferro, chumbo, ouro, calcário e carvão. Na fronteira uruguaia, os solos são resultantes do derrame basáltico, apresentando maior fertilidade.

Com relação aos recursos naturais vegetais, o estado pertence à região da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária). As árvores predominantes são coníferas do tipo Araucária apresentando ainda madeiras de lei de excelente qualidade. A Floresta com Araucária apresenta vegetação aberta, com nítida predominância do Pinheiro-do-

Paraná, Araucária angustifolia e de outras gimnospermas (Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2008).

A Floresta Atlântica é caracterizada por sua fisionomia alta e densa, conseqüência da variedade de espécies pertencentes a diferentes formas biológicas e estratos. O bioma Pampa é constituído por campos limpos, onde a vegetação é bastante homogênea, com nítida predominância de gramíneas; encontram-se também árvores esparsamente distribuídas, embora bastante utilizadas como terras de cultivo, prestam-se muito à pastagem, permitindo a existência de uma pecuária desenvolvida (Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2008).

A Vegetação Litorânea é influenciada pela presença de solos salinos e arenosos, com praias, dunas e restingas, apresentando plantas rasteiras; em trechos pantanosos e nas imediações da foz dos rios, além de manguezais. No interior da planície, a vegetação é mais densa e variada (Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2008).

A hidrografia sul-riograndense divide-se em duas grandes bacias: do Uruguai e do Sudeste, que é a principal bacia do estado. A bacia total do Uruguai estende-se por 178.235 km². A Bacia Sudeste é a mais extensa e abrange uma área de 223.688 km². Além da Lagoa dos Patos, Lagoa Mirim e Lagoa Mangueira, todo o litoral sul do estado apresenta-se pontilhado de pequenas lagoas, entre a imensidão das dunas, o que dá à região aspecto característico (Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2008).

O Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1.1) enfrenta diversos problemas ambientais em seu território, resultantes da utilização inadequada dos recursos naturais. Muitos destes problemas são facilmente identificáveis por abrangerem grandes extensões territoriais e por afetarem diretamente a qualidade de vida da população. O reconhecimento de sua ocorrência é fundamental para a definição de ações e políticas públicas e o envolvimento da sociedade.

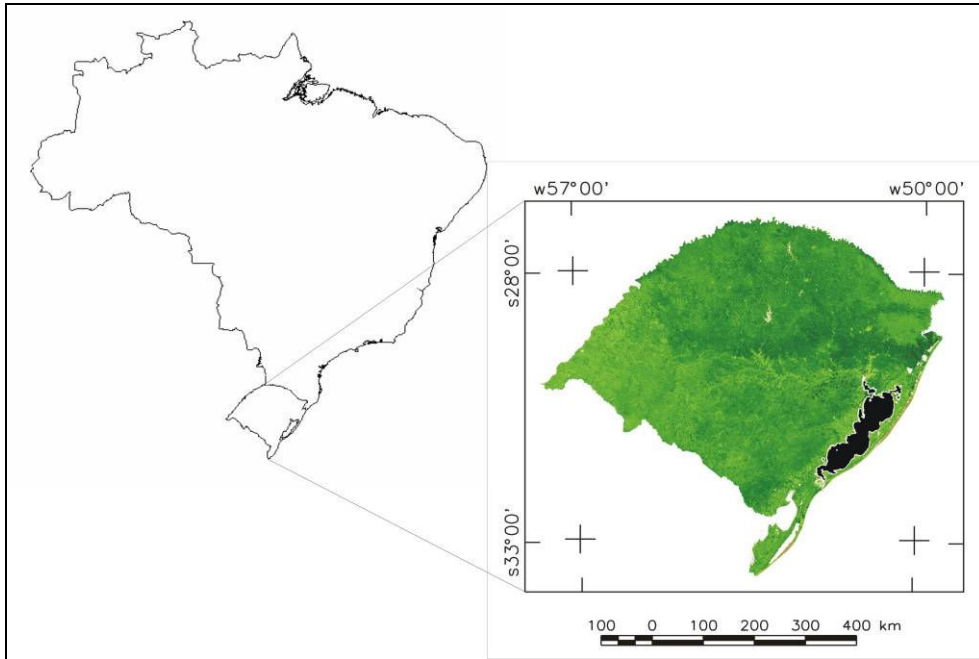


Figura 1.1: Mapa de localização do Estado do Rio Grande do Sul

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Processos Erosivos

Diante da natureza, o homem passa a agir na configuração dos espaços naturais, nas formas de apropriação deste espaço e utilização dos recursos naturais (TOMMASI, 1931). Como agente deteriorador do ambiente, o homem causa danos ao solo e a cobertura vegetal natural, acelerando a degradação dos recursos naturais e da qualidade de vida. A degradação decorrente das modificações ambientais, ocasionadas pelo processo de utilização dos recursos naturais, esta relacionada principalmente ao desmatamento, mineração, além da ocupação e manejo de áreas inadequadas às condições ambientais, as quais podem influenciar na fertilidade do solo e na degradação ambiental (PALMIERI; LARACH, 1998).

No meio natural, os problemas relacionados à interferência humana e ao uso da terra, têm provocado o desenvolvimento acelerado dos processos erosivos (GUERRA et al, 1999). A erosão é um dos processos responsáveis pela desagregação e transporte de partículas pela ação do vento, da água, gelo ou organismos. Estes processos ocorrem em ambientes diversos, obedecendo a uma dinâmica natural (AUGUSTO FILHO, 1999). Dentre os fatores que influenciam o processo erosivo estão as variáveis climáticas, edáficas e topográficas. O controle da erosão é fundamental para a preservação do meio ambiente, pois o processo erosivo faz com que o solo perca suas propriedades nutritivas, impossibilitando o crescimento de vegetação, causando sérios desequilíbrios ecológicos.

2.2 Geotecnologias

2.2.1 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto pode ser definido, como a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos da superfície, sem que haja contato direto entre eles, por meio de sensores capazes de coletar dados dos objetos, a fim de extrair as informações desejadas (NOVO, 1998).

Loch (2001) define sensoriamento remoto como o conjunto de atividades, com objetivo de caracterizar as propriedades dos alvos naturais, através da detecção, registro e análise de fluxo de energia radiante, refletido ou emitido pelos mesmos.

As imagens obtidas pelos sensores remotos constituem-se em dados brutos que necessitam ser analisados e interpretados a fim de que sejam transformados em informações. Os dados detectados dos objetos na superfície são transferidos para o sensor através da energia ou radiação eletromagnética, estas informações adquiridas pelos sensores são registradas tornando possível à extração de informações sobre o ambiente (NOVO, 1998).

Moreira (2005) destaca ainda que todos os alvos da superfície terrestre se diferem quanto ao comportamento espectral, ou seja, cada alvo reflete uma energia diferente.

O sensoriamento remoto representa uma ferramenta importante para a obtenção de dados básicos e espaciais, para realização de tarefas de proteção do ambiente natural, bem como para decisões de planejamento, fornecendo estruturas básicas para a observação do meio (BLASCHKE; KUX, 2005). Dentre as imagens de sensoriamento remoto, destacam-se as *MODIS* e *SRTM*.

2.2.1.1 Sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

O sensor *MODIS* é um dos cinco sensores a bordo dos satélites TERRA e AQUA do Sistema de Observação da Terra *EOS (Earth Observing System)* da *NASA (National Aeronautics and Space Administration)*. Este sensor trabalha com 36 bandas espectrais

cobrindo desde a região do visível até o infravermelho termal, e gera imagens com resolução espacial de 250 metros para as bandas 1 e 2; 500 metros para as bandas 3 a 7 e 1000 metros para as outras 29 bandas. Cada cena deste sensor cobre uma faixa de 2330 km de largura (SOUSA JR.; PARDI LACRUZ, 2006).

Essas regiões espectrais foram definidas para minimizar o impacto da absorção de gases atmosféricos. O sensor *MODIS* possui uma característica espectral de resolução espacial moderada e alta resolução temporal (COSTA; SOUZA JR., 2005).

De acordo com Anderson *et al* (2003) o *MODIS* é o principal sensor desenvolvido para estes satélites, e apresenta entre suas características:

- Ampla cobertura espacial e espectral;
- Continuidade nas tomadas de medidas nas regiões espectrais;
- É a primeira ferramenta dos satélites EOS na condução das pesquisas de mudanças globais.

As imagens *MODIS* têm sido utilizadas para a detecção de mudanças antropogênicas e naturais na cobertura vegetal, detecção e monitoramento da superfície terrestre, além de outros usos relevantes para a análise ambiental.

2.2.1.2 Sensor Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Os dados do *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* são o resultado de uma missão espacial da *NASA*, da *NIMA (National Imagery and Mapping Agency)*, da *DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)* e da *ASI (Agência Espacial Italiana)* que teve como objetivo de gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) da Terra usando a interferometria nas bandas C e X (*C/X-Band Synthetic Aperture Radar*) (SILVA; SANTOS, 2007; ESTEIO, 2007).

O projeto *SRTM* recebeu apoio de campo de levantamentos geodésicos, no qual foi empregado um método denominado Sistema de Posicionamento Global Cinemático (*Kinematic Global Positioning System*), o qual favorece a determinação de linhas de posições dadas por um veículo em movimento (VALERIANO, 2004).

As imagens *SRTM* podem ser adquiridas gratuitamente, através da *NASA/USGS (United States Geological Survey)*, pelo endereço (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/mission/SRTM>), em forma de mosaico da América do Sul no formato Tiff.

2.2.2 Geoprocessamento

Diante da necessidade de se conhecer o espaço e sua organização, desenvolveram-se tecnologias que auxiliam no estudo da dinâmica espacial. Com a evolução da informática, permitiu-se a ampliação de programas utilizados na área de Cartografia e Geoprocessamento, onde a elaboração de mapas em meio digital, dispõe de rápidos resultados e informações precisas (PEREIRA; SILVA, 2001).

Com o desenvolvimento do Geoprocessamento, deixa-se a ênfase do manejo do conjunto de dados, passando para a análise das informações, possibilitando o processamento e a apresentação visual dos mesmos, como imagens tridimensionais e suas relações (PEREIRA; SILVA, 2001).

O uso do Geoprocessamento possibilita a extração das informações e a interpretação de dados, auxiliando na localização dos fatos geográficos. Nesta perspectiva, Câmara & Medeiros (1998) definiram Geoprocessamento como a área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais, para a realização do tratamento de informações geográficas.

A fim de contribuir para o estudo de sistemas ambientais, o geoprocessamento atua como um conjunto de tecnologias direcionadas para a coleta e o tratamento das informações espaciais, disponibilizando instrumentos, recursos e dados a fim de que se possa determinar a evolução temporal e espacial de um determinado fenômeno geográfico e suas interrelações (ROCHA, 2000). Para tanto, utiliza-se de ferramentas computacionais, denominadas sistemas de informações geográficas (SIG) as quais permitem realizar análises complexas e integrar dados de diversas fontes e a criar bancos de dados georreferenciados, tornando possível à produção de documentos cartográficos (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

2.2.2.1 Técnica de Realce

A técnica de realce de contraste de imagem constitui uma etapa pré-processamento com objetivo de melhorar a qualidade das imagens, permitindo uma maior discriminação dos alvos da superfície.

A técnica de realce por fatiamento, utilizada para o contraste da imagem *MODIS*, permite realçar os pixels em determinadas classes de cores em um intervalo total de níveis de cinza. a determinação dos intervalos de níveis de cinza permite obter diferentes tipos de fatiamento, entre eles o Fatiamento arco-íris, o qual consiste no mapeamento de um tom de cinza para uma determinada cor seguindo a seqüência do arco-íris.

2.2.2 2 Classificação MaxVer

O processo de classificação consiste na extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos e mapear áreas da superfície terrestre. Os classificadores podem ser divididos em: a) pixel a pixel e b) por regiões. A técnica de classificação pixel a pixel utilizada foi a máxima verossimilhança (MAXVER), o qual

considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos.

2.2.2 3 Técnica AHP

O método de Análise Hierárquica (AHP) consiste em uma técnica de estatística multivariada que permite determinar a importância entre os critérios de decisão por meio da interferência do pesquisador.

O método AHP utiliza uma matriz de comparação onde é avaliada a importância de uma característica sobre a outra, permitindo atribuir pesos entre os atributos de acordo com o nível de importância (CARVALHO; MINGOTI, 2005).

2.2.3 Sistema de Informação Geográfica

Define-se SIG como um sistema com capacidade para aquisição, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, transformação, manipulação, modelagem, atualização, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas, estruturadas e associadas ou não a um banco de dados alfanumérico (ROCHA, 2000).

O desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como técnica do Geoprocessamento, permite a conjugação de grande quantidade de informações, possibilitando estabelecer estratégias para tomada de decisões e elaboração de cartas temáticas (GUERRA et al, 1999). Os SIG são constituídos por uma série de rotinas e processos de análise a fim de interrelacionar fenômenos da realidade com a localização espacial (TEIXEIRA et al, 1992). Dessa forma, os SIG's podem representar dados geográficos ou espaciais dentro de um sistema de coordenadas (BURROUGH; MCDONNELL, 1998).

O Sistema de Informação Geográfica é utilizado no processamento de informações que podem ser obtidas através de mapas pré-elaborados, observações de campo e sensores remotos ou construção de cartas obtidas através da topografia (LAHM, 2000). De acordo com Burrough & McDonnell (1998) SIG é um sistema de suporte a decisões envolvendo a integração espacial de dados relacionados ao meio ambiente.

As principais características dos SIG's de acordo com Câmara & Medeiros (1998) são:

- Integrar em uma única base de dados, as informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

Além da rapidez no processamento das pesquisas, outra vantagem de um SIG em relação a um sistema de informações convencional é que ele incorpora um componente espacial, o que implica que objetos que estão em algum lugar no espaço podem estar ou serem correlacionados. Dessa forma as pesquisas em um SIG sobre a utilização do espaço, oferecem subsídios às decisões de forma mais eficiente e configuram-se como uma ferramenta de grande valor para a gestão do território, auxiliando na escolha das decisões de planejamento (TEIXEIRA et al, 1992).

Os objetos geográficos necessitam de um SIG para armazenar seus atributos e suas formas de representação. Os SIG possuem uma vasta área de aplicações, onde se incluem temas como agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano, entre outras. A integração de dados em sistema de informações geográficas permite o armazenamento e gerenciamento desses dados como parte do conjunto de geoinformações disponíveis e registradas (BLASCHKE; KUX, 2005).

2.2.4 Geotecnologias e desastres naturais

Os desastres naturais podem ser classificados em dois tipos: episódicos e crônicos. Os desastres denominados episódicos possuem magnitude, podendo ser: terremoto, vulcanismo, tsunami, inundação e fluxo de detrito. Entretanto, desastres crônicos tais como erosão do solo, geram sérios prejuízos ambientais, especialmente a longo prazo. A erosão do solo pode causar desertificação, degradação, assoreamento dos rios, entre outros, podendo resultar na incidência de mais eventos catastróficos, como escorregamentos e inundações (KOBİYAMA et al, 2006).

O potencial hídrico representa um importante fator de análise de desastres naturais. A água da chuva além de ser importante, pode também ser danosa para o ambiente natural quando ocorre em excesso, pode causar problemas de inundações e escorregamentos, aumentando assim o potencial de erosão do solo. A ação da chuva representa um importante fator de estudo de desastres naturais, uma vez que pode ajudar no estabelecimento de um sistema de alerta, no mapeamento de áreas de risco, entre outros (KOBİYAMA et al, 2006).

Sendo os desastres naturais desencadeados por uma série de variáveis tanto físicas quanto humana, o desenvolvimento de novas tecnologias, auxilia para a detecção e análise de dados que contribuem para a prevenção e mitigação dos mesmos. O Sensoriamento remoto e os Sistemas de Informação Geográfica, como técnica do Geoprocessamento, atuam de maneira a gerar informações precisas e atualizadas de determinados fenômenos geográficos na superfície.

De acordo com Marcelino (2007), os principais dados de desastres naturais para a análise de risco em um ambiente SIG, são:

- Informações sobre o tipo de perigo ou ameaça, local de ocorrência, frequência, magnitude, entre outros;

- Dados sobre o ambiente nos quais estes eventos podem ocorrer como a topografia, geologia, geomorfologia, uso da terra, entre outros;
- Informações sobre os elementos que estão inseridos, como infraestrutura urbana, população, dados socioeconômicos, dentre outros.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

a) Produtos Orbitais

- Composições índice de vegetação *MODIS/EVI* de 16 dias, com resolução espacial de 250 metros do período de janeiro a maio de 2008;
- Imagem *SRTM*, resolução espacial de 90 metros.

b) Material Cartográfico

- Cartas Internacional ao Milionésimo – IBGE correspondentes ao estado do rio Grande do Sul (SG-21, SG-22, SH-21, SH-22, SI-22) dos temas: Rio permanente, curvas de nível e limite do estado;
- Cartas de Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Vegetação do Projeto RADAMBRASIL, escala 1:250.000, 1982 IBGE.

c) Sistemas de Processamento

- Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas - SPRING versão 4.3.3.

3.2 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento do trabalho, estão descritos no fluxograma de atividades (Figura 3.1).

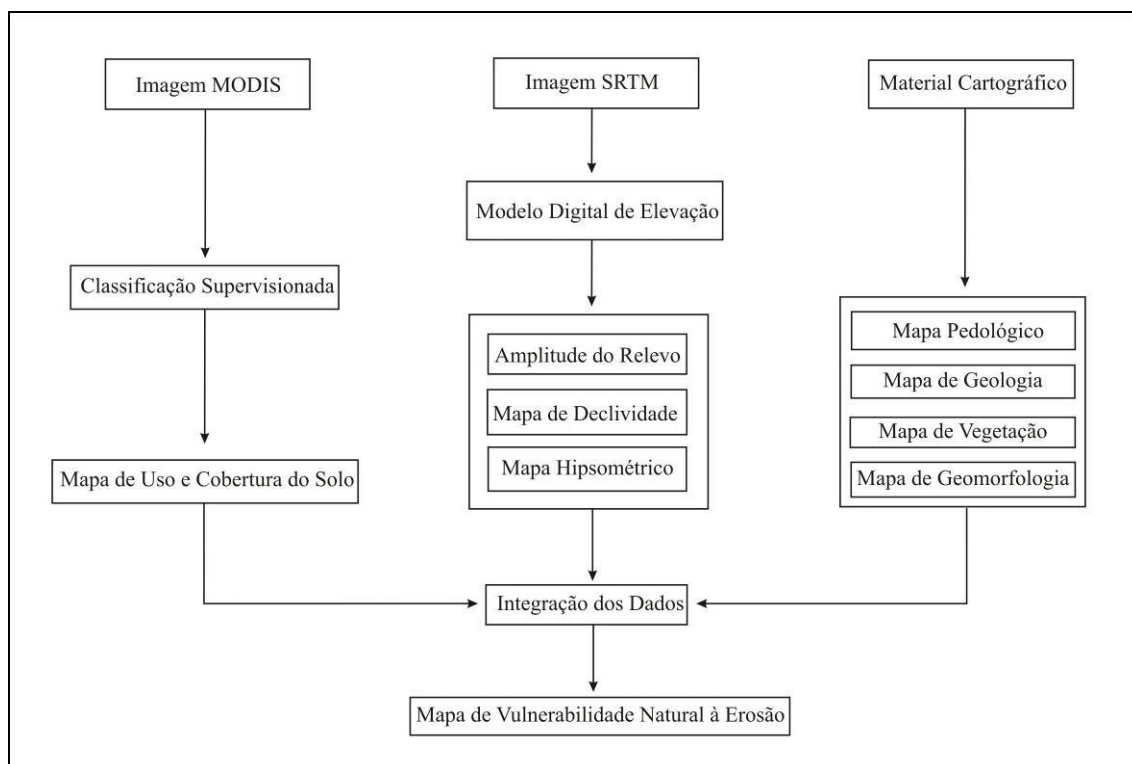


Figura 3.1: Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos

3.2.1 Mapa de Uso e Cobertura do Solo

Em um primeiro momento foi realizado o georeferenciamento e mosaico das imagens *MODIS* no aplicativo *Modis Reprojection Tools (MRT)*. Uma vez obtidos os mosaicos correspondentes ao estado de Rio Grande do Sul para as diferentes datas se procedeu a processar de modo que melhor representasse as características necessárias para a definição dos tipos de uso e cobertura a serem classificados.

Assim, foram analisados os diferentes mosaicos disponíveis e foi selecionado o do dia 3 de fevereiro de 2008 por ser o que apresentou uma melhor discriminação dos alvos de interesse. Posteriormente, se aplicou um contraste por fatiamento, opção arco-íris. Em seguida, foram definidas as classes temáticas a serem consideradas. O passo seguinte consistiu na aquisição de amostras de treinamento e de teste representativas de cada

uma das classes, a análise de amostras e foi realizada a classificação utilizando o algoritmo de Máxima Verossimilhança.

3.2.2 Mapa Hipsométrico

A partir do modelo digital de elevação do terreno do SRTM foi gerado o mapa de hipsometria. Onde foi realizado no software Spring, o fatiamento da imagem SRTM, sendo gerados intervalos, com modo de edição fixo, fornecendo o valor da cota inicial, final e o intervalo de equidistribuição dos valores das fatias. em seguida fez-se a associação das fatias, com as classes temáticas definidas.

3.2.3 Mapa de Declividade

Com a imagem SRTM foi gerado no Spring uma grade de declividade definindo-se valores de saída em porcentagem para a grade e a resolução em X e Y de 30 metros a partir da qual fez-se o fatiamento com intervalos variáveis. Após realizou-se a associação das fatias com as classes temáticas definidas.

3.2.4 Mapas de Geologia, Geomorfologia, Pedológico e Vegetação

Os mapas de geologia, geomorfologia, solos e vegetação foram obtidos na página do IBGE (<http://www.ibge.gov.br>), com 26 cartas em formato PDF na escala 1:250.000, para todo estado do Rio Grande do Sul.

Posteriormente, foi realizado o recorte do retângulo útil das cartas e o mosaico das mesmas. A seguir foi realizado o registro no Software Spring e a edição vetorial dos mesmos, onde foram digitalizados os limites das classes com posterior ajuste, geração de polígonos e atribuição das cores as classes temáticas.

A atribuição dos valores de vulnerabilidade e estabilidade para as diferentes classes dos temas geologia, geomorfologia, solos, uso e cobertura do solo e climatologia, foram determinados segundo critérios definidos por CREPANI *et al.* (1996) e avaliação empírica (Tabelas 3.1 e 3.2).

TABELA 3.1: Avaliação de vulnerabilidade das unidades de paisagem natural

Unidade	Relação Morfogênese/Pedogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a morfogênese	3,0

Fonte: Crepani et al (1996)

TABELA 3.2: Valores de estabilidade para as Classes de Índices Morfométricos

Classes Morfométricas	Índices Morfométricos	
	Amplitude altimétrica (m)	Declividade (%)
Muito baixa	0 – 200	<5
Baixa	200 – 400	5 - 12
Baixa a média	400 – 600	12 – 30
Média	600 – 800	30 – 47
Média a alta	800 – 1000	47 – 100
Alta	>1000	>100

Fonte: Crepani et al (1996)

3.2.5 Mapa de Vulnerabilidade Natural à Erosão

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade natural à erosão utilizou-se em um primeiro momento, técnicas de estatística multivariada, denominada de Analytical Hierarchy Process (AHP), a qual consiste na análise de decisão e planejamento de múltiplos critérios.

A primeira etapa realizada no método AHP foi a definição empírica dos pesos de cada classe temática através de uma análise pareada. Esse método objetiva capturar o conhecimento de um especialista indicando o grau de importância relativa entre as evidências estudadas.

No SPRING, o método AHP calcula automaticamente os pesos de autovetores da matriz, e a razão de consistência que é um parâmetro que indica a coerência nas relações. No entanto, o SPRING apresenta uma limitação combinando apenas cinco evidências de cada vez. Desta maneira foram atribuídos valores de estabilidade aos mapas temáticos mediante o processo analítico hierárquico, pela seguinte ordem de classificação: uso e cobertura do solo, solos, declividade, geomorfologia e geologia; onde a razão de consistência definida foi de 0,030.

Após estes procedimentos foram definidas em linguagem LEGAL disponível no software SPRING, as regras para a integração dos diferentes planos de informação. A análise consecutiva e a interpretação dos planos de informação permitiram gerar o mapa de vulnerabilidade natural à erosão. De acordo com a metodologia desenvolvida por Crepani et al (1996), foram determinadas 21 classes de vulnerabilidade/ estabilidade, onde valores mais próximos de 1,0 representam maior estabilidade e próximos a 3,0 maior vulnerabilidade aos processos erosivos (Tabela 3.3).

TABELA 3.3: Valores de vulnerabilidade para cada Unidade de Paisagem

Unidade de Paisagem	Média	Grau de Vulnerabilidade
U1	3,0	vulnerável
U2	2,9	
U3	2,8	
U4	2,7	
U5	2,6	Moderadamente vulnerável
U6	2,5	
U7	2,4	

U8	2,3	Medianamente estável/ vulnerável
U9	2,2	
U10	2,1	
U11	2,0	
U12	1,9	
U13	1,8	
U14	1,7	Moderadamente estável
U15	1,6	
U16	1,5	
U17	1,4	
U18	1,3	Estável
U19	1,2	
U20	1,1	
U21	1,0	

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos durante o desenvolvimento desta pesquisa. A seguir se descrevem as análises realizadas sobre os mapas utilizados no processamento necessário para a obtenção do mapa de vulnerabilidade à erosão.

4.1 Análise dos Mapas

4.1.1 Mapa de Uso e Cobertura do Solo

O Mapa de Uso e Cobertura do (Figura 4.1) Solo correspondente ao estado do Rio Grande do Sul foi obtido utilizando a composição índice de vegetação *MODIS/EVI* de fevereiro de 2008. Através da técnicas classificação *pixel a pixel* por máxima verossimilhança (MAXVER), o qual obteve um desempenho médio de 94,79% com o limiar de aceitação de 100%. Através desta técnica foram definidas 5 classes de interesse para o trabalho sendo estas:

- Áreas Florestais – correspondem as florestas nativas e áreas de florestamento;
- Campo – inclui áreas de vegetação rasteira e com criação de gado, pastagem e campo sujo;
- Corpos aquáticos – englobam açudes, banhados e lagoas;
- Cultura - destinadas à todas as áreas agrícolas em pousio, permanentes ou cíclicas;
- Solo Exposto – compreendem as áreas preparadas para o plantio, areais, rochas expostas e vegetação com baixa reflectância.

O percentual de cada uma das classes permite identificar as características de uso e ocupação do solo no Estado do Rio Grande do Sul.

Analisando a distribuição espacial das classes de uso e cobertura do solo no estado foi possível quantificar a área e a percentagem que ocupa cada classe (Tabela 4.1). A partir da análise do mapa resultante pode-se observar que há um predomínio da classe temática campo, com uma área de aproximadamente 42,91% da área total do Estado, e está presente em praticamente todo Estado, com uma maior concentração na porção sul. Esta classe compreende as áreas de vegetação rasteira, típica para a criação de gado, pastagem e campo sujo.

TABELA 4.1: Classificação do Uso da Terra no Estado do Rio Grande do Sul

<i>Classes</i>	<i>km²</i>	<i>%</i>
Áreas florestais	80.166	28,41
Campo	121.081	42,91
Corpos aquáticos	16.222	5,75
Culturas	26.911	9,54
Solo exposto	37.774	13,39
Total	282.154	100,00

Para a classe floresta, foram consideradas todas as áreas com florestas nativas e áreas de reflorestamento. A área total desta classe é de 28,41%, sendo que as maiores concentrações ocorrem na porção do rebordo do planalto, localizadas principalmente em relevos mais dessecados e ao longo dos cursos d'água.

A classe solo exposto corresponde a 13,39% da área total do estado. Nesta classe estão incluídas todas as áreas destinadas ao plantio, areais e rochas expostas, além das áreas onde a resposta espectral da vegetação é baixa, indicando um baixo valor do índice de vegetação. Esta classe aparece com predominância na porção sudoeste do estado, isso ocorre devido à data da imagem, que corresponde ao mês de fevereiro, onde o solo está sendo preparado para o plantio, principalmente do arroz, como também, por esta área ser destinada para pecuária apresentando vegetação rasteira, com resposta espectral baixa.

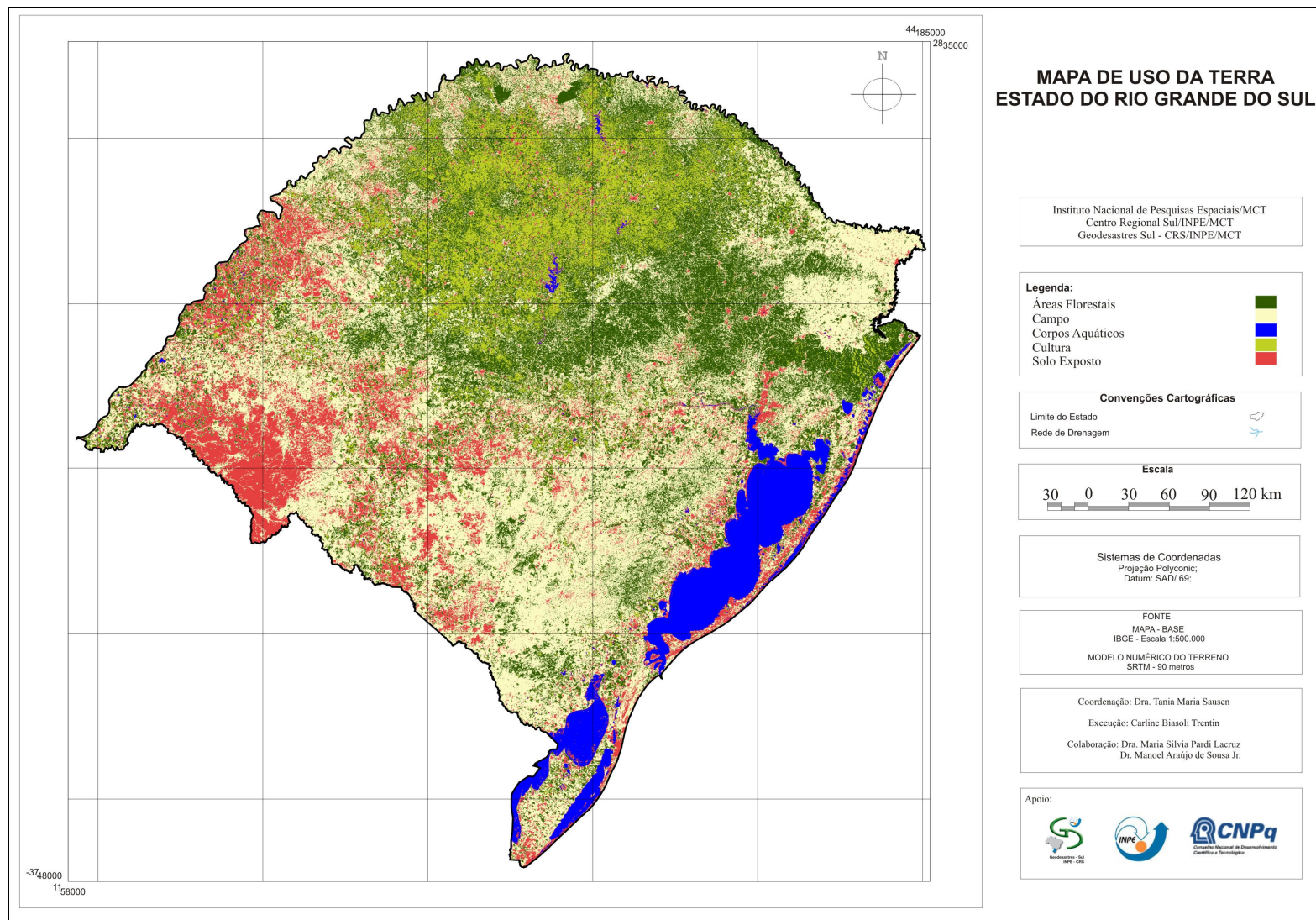


Figura 4.1: Mapa de Uso da Terra do Estado do Rio Grande do Sul

A classe cultura destaca-se a região centro-norte do estado com 9,54% da área. Essa classe parece pouco significativa, em consequência da data da imagem onde as áreas destinadas à agricultura aparecem como solo exposto.

Já a classe água, apresenta-se com 5,75% da área total do estado, destacando-se os grande reservatórios e as lagoas.

4.1.2 Modelo Digital de Elevação

O Modelo digital do terreno (MDT) foi usado os dados do *SRTM* (Figura 4.2), o qual é uma representação matemática da distribuição espacial das variações de altitude em uma determinada área. O Modelo digital do terreno é muito importante para a análise geográfica,

O modelo de elevação do terreno serve de base para o trabalho que está sendo desenvolvido e para melhor visualização das formas de relevo do estado do Rio Grande do Sul. Dentre outras características, o MDT serve para o armazenamento de dados de altimetria para mapas topográficos, elaboração de mapas de declividade e análise de geomorfologia e erodibilidade, além da visualização tridimensional do terreno.

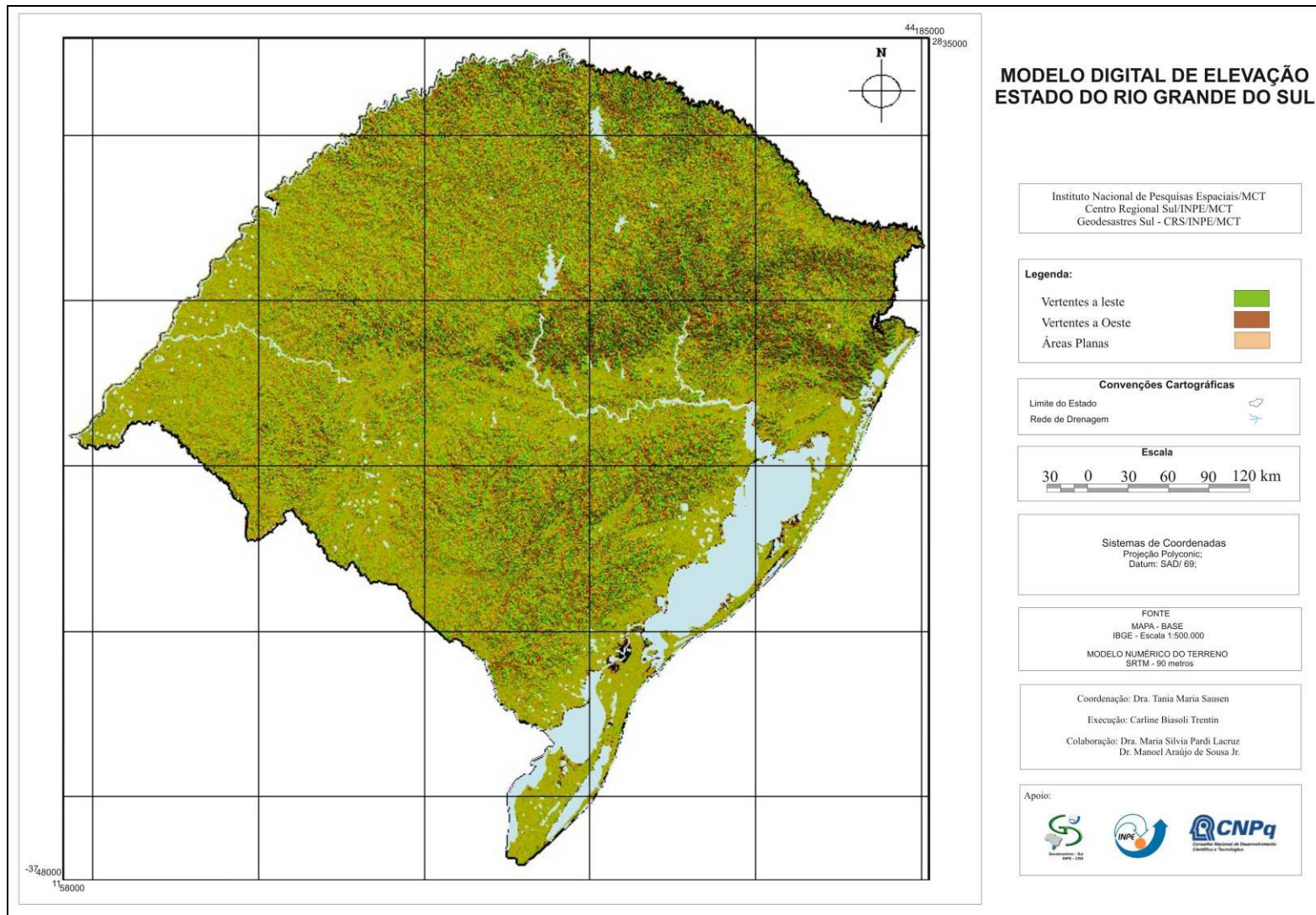


Figura 4.2: Modelo digital de elevação com áreas sombreadas, gerado a partir de imagens *SRTM* do Estado do Rio Grande do Sul

4.1.3 Mapa Hipsométrico

Para a elaboração do mapa hipsométrico dividiu-se a área em sete classes, com equidistância entre as curvas de nível de 200 metros em função dos valores altimétricos observados na grade regular e que melhor representariam o terreno, sendo elas de: 0 – 200 m, 200 – 400 m, 400 – 600 m, 600 – 800m, 800 – 1000m, 1000 – 1200m e 1200 – 1400 metros, onde foram atribuídas cores a cada classe altimétrica.

O estado do Rio Grande do Sul apresenta relevo característico de grandes planícies e colinas. As altitudes que correspondem ao estado do Rio Grande do Sul apresentam duas classes principais: as porções sul – oeste e norte - nordeste, destacando-se as classes hipsométricas entre 0 a 600 e 600 a 1400, respectivamente (Figura 4.3). Porém a classe hipsométrica de maior representatividade é a de 0 a 200 metros, a qual abrange 49,81% área total (Tabela 4.2), esta classe representa áreas de planícies e colinas e encontra-se mais saliente na porção centro-sul e oeste do estado nas regiões fisiográficas da Campanha e Depressão Central.

As altitudes entre 200 e 400 metros, estão presentes nas porções centro-sul e centro-norte (Missões e Serra do Sudeste), representando 22,98% da área do estado. A classe de hipsometria entre 400 e 600 metros, corresponde a 13,5% da área total, sendo observada principalmente na parte norte do estado (área de planalto).

As altitudes entre 600 – 800 e 800 – 1000, compreendem a 7,95% e 4,61%, respectivamente, localizadas principalmente na porção norte (Alto Uruguai). As maiores altitudes compreendidas entre 1000 a 1200 e 1200 a 1400 metros, encontram-se mais isoladas abrangendo as áreas de serra na região nordeste (Campos de Cima da Serra e Encostas de Nordeste) representando cerca de 0,93% e 0,18% da área do estado.

TABELA 4.2: Classificação da Hipsometria no Estado do Rio Grande do Sul

Classes (%)	Área (ha)	Área (%)
-------------	-----------	----------

0-200	13.287.513	49,81
200-400	6.131.818	22,98
400-600	3.603.350	13,50
600-800	2.121.514	7,95
800-1000	1.231.330	4,61
1000-1200	248.485	0,93
1200-1400	49.369	0,18
Total	26.673.379*	100

* As áreas correspondentes aos corpos de água não foram considerados na classificação, por apresentarem cotas altimétricas inferiores a zero.

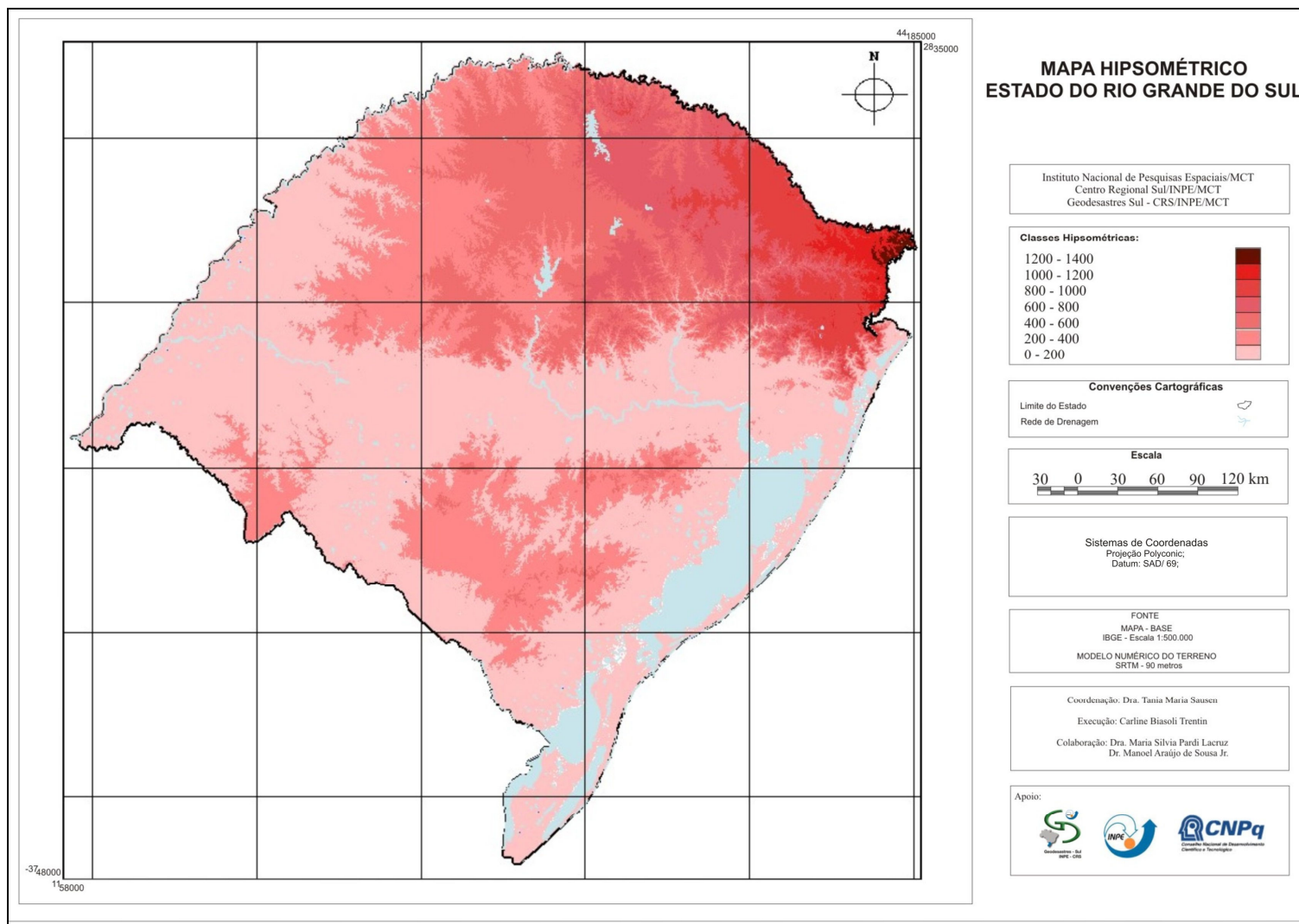


Figura 4.3: Mapa Hipsométrico do Estado do Rio Grande do Sul

4.1.4 Mapa de Declividade

O mapa de declividade do terreno constitui-se em um importante instrumento de apoio a estudos de potencialidade de uso, quando correlacionado a outros fenômenos geográficos.

Para a elaboração do mapa de declividade foram consideradas seis classes temáticas, levando em conta a legislação que rege as formas de uso e ocupação do solo (Código Florestal - Lei nº. 4.771, de 15 de setembro de 1965). Assim foram determinadas as classes de declividade correspondente até 5%, que compreende as áreas favoráveis ao uso e ocupação, porém podem apresentar risco de inundação. A classe de declividade entre 5 e 12%, compreende as áreas que já apresentam alguma restrição de uso e ocupação e delimitam o emprego da agricultura mecanizada.

A classe correspondente entre 12 e 30% engloba as áreas que devem ser evitadas para ocupação, sendo passíveis de ocorrência de riscos geoambientais. A classe compreendida entre 30 e 47% representa as áreas inadequadas à construção civil, utilização agrícola e limite para corte florestal, apresentando riscos de escorregamentos por interferência antrópica. A classe entre 47 e 100% abrange as áreas inadequadas a utilização, definidas como áreas de preservação florestal, apresentando riscos de escorregamentos. A classe de declividade superior a 100%, é considerada como área de preservação permanente, podendo apresentar riscos de escorregamentos naturais (MARCELINO, 2004).

A classe 0-5% é a que têm a maior representatividade com 49% do total da área de estudo, destacando principalmente as regiões litorâneas e oeste do estado. Essa classe compreende as áreas favoráveis ao uso e ocupação, porém com riscos de inundações. Na Tabela 4.3 estão os valores de área e percentuais representados por cada uma das classes.

TABELA 4.3: Classificação da Declividade no Estado do Rio Grande do Sul

Classes (%)	Área (ha)	Área (%)
0 – 5	1.309.5042,2	49,00
5 – 12	8.772.774,3	33,40
12 – 30	3.699.971,0	13,90
30 – 47	778.881,0	2,90
47 – 100	252.477,0	0,94
>100	8857,0	0,03
Total	26.673.379,0*	100

* As áreas correspondentes aos corpos de água não foram considerados na classificação, por apresentarem cotas altimétricas inferiores a zero

A classe de declividade de 5 a 12% (33,40%), aparece nas áreas localizadas mais ao centro-norte e noroeste do estado, e representam principalmente as áreas de agricultura e compreende o limite máximo de declividade para o emprego da agricultura mecanizada.

As áreas com declividades entre 12 e 30%, representam 13,90% da área total e estão localizadas principalmente na porção norte do estado. Nesta classe, é necessária a adoção de medidas preventivas de riscos geoambientais. Representando 2,90% da área total, tem-se a classe de declividade entre 30 e 47%, a qual apresenta riscos de escorregamentos por interferência antrópica, localizadas próximo ao rebordo do planalto e no vale do Rio Uruguai. Em certos locais, essas áreas são utilizadas para a agricultura, podendo ocasionar erosão e desgaste do solo. A classe entre 47 e 100%, abrange 0,94% da área, sendo definida como área de preservação florestal, apresentando risco de escorregamentos naturais.

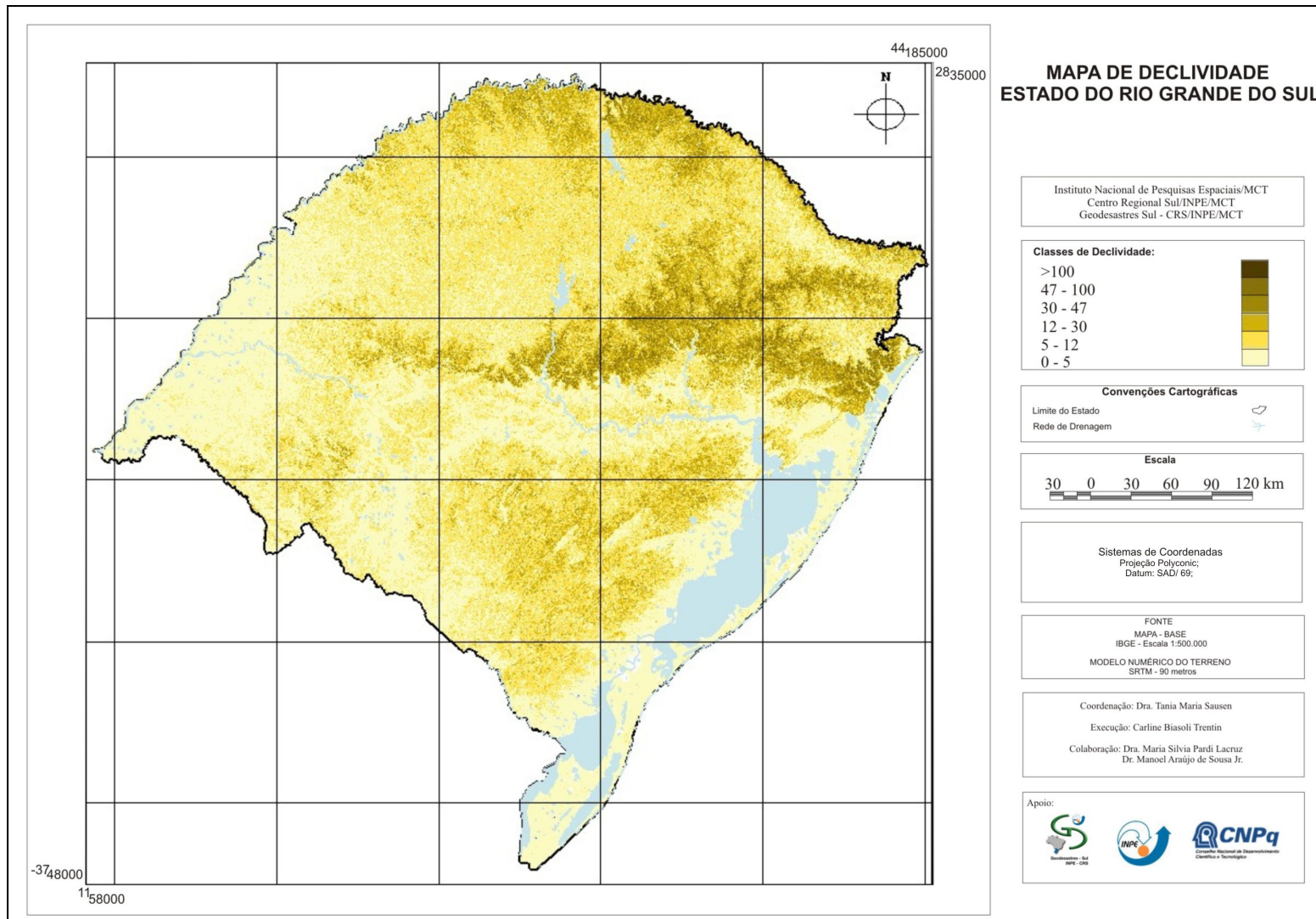


Figura 4.4: Mapa de declividade do Estado do Rio Grande do Sul

4.1.5 Mapa de Geomorfologia

O Mapa de geomorfologia (figura 4.5), apresenta um predomínio da classe planalto campos gerais, localizada ao norte do estado, a qual tem menor vulnerabilidade a processos erosivos. Assim como, as áreas de planícies, que apresentam índices morfométricos baixos. A tabela a seguir apresenta os valores de vulnerabilidade para as classes de geomorfologia.

TABELA 4.4: Valores de estabilidade para as Classes de Geomorfologia

Classes de Geomorfologia	Valores de estabilidade
Depressão Rio Jacuí	2,3
Depressão Rio Ibicuí	2,3
Patamares Serra Geral	2,7
Planalto Campos Gerais	2,4
Planalto Dissecado	2,7
Planalto Santo Ângelo	1,0
Planalto Uruguaiana Nível Baixo	1,8
Planalto Uruguaiana Nível Alto	1,6
Planalto rebaixado marginal	2,3
Planaltos residuais	2,5
Planície aluvio-coluvionar	3,0
Planície lagunar	2,9
Planície litorânea interna	1,4
Planície marinha	2,6
Serra geral	2,8

Ao contrário, tem-se a classe de planalto dissecado (4,84%) e serra geral (4,20%), os quais apresentam maior vulnerabilidade, uma vez que possuem índices morfométricos acentuados. Além das classes, planaltos residuais e rebaixado marginal, que apresentaram maior vulnerabilidade a erosão. A quantificação das classes de geomorfologia no estado está apresentada na tabela 4.5.

TABELA 4.5: Classificação da Geomorfologia no Estado do Rio Grande do Sul

Classes	Área (ha)	%
Planalto Campos Gerais	4099752,64	15,39

Planalto Dissecado	1288298,80	4,84
Planalto Santo Ângelo	4243935,00	15,93
Planalto Uruguaiana NA	1191316,92	4,47
Planalto Uruguaiana NB	2297600,60	8,63
Planície Aluvio Coluvionar	2395557,36	8,99
Planaltos Residuais	1448572,12	5,44
Planalto Rebaixado Marginal	2774102,84	10,42
Depressão Rio Jacuí	1547514,72	5,81
Depressão Rio Ibicuí	1978530,32	7,43
Planície Lagunar	870830,16	3,27
Serra Geral	1118742,08	4,20
Planície Marinha	883195,40	3,32
Patamares Serra Geral	380637,52	1,43
Planície Litorânea Interna	115422,16	0,43

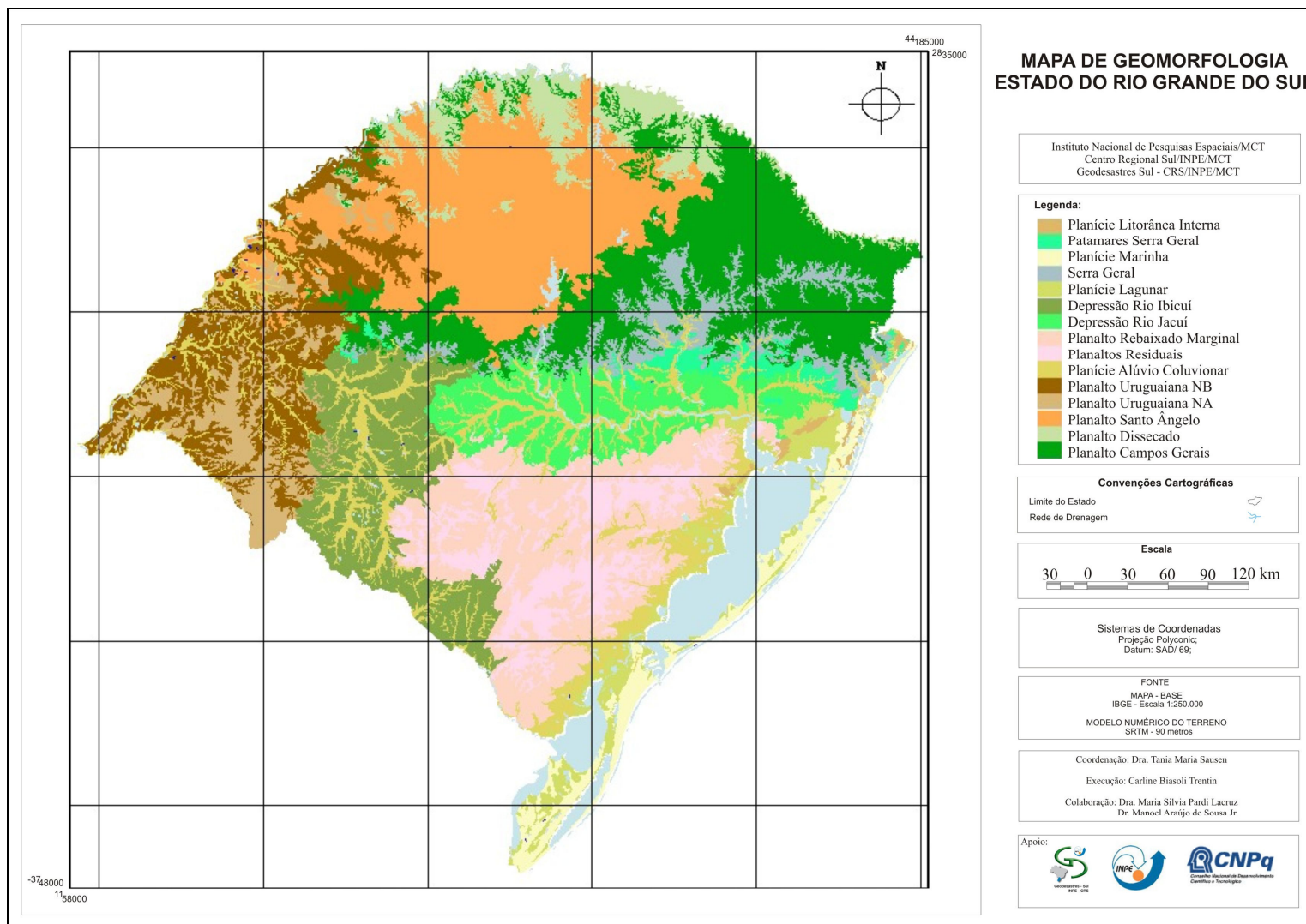


Figura 4.5: Mapa de Geomorfologia do Estado do Rio Grande do Sul

4.1.6 Mapa de Geologia

No mapa de geologia estão presentes as principais formações responsáveis pelos diferentes aspectos de relevo no estado: arenito eólico/fluvial da formação Botucatu e vulcânicas ácidas/básicas da formação Serra Geral (Figura 4.6).

TABELA 4.6: Valores de estabilidade para as Classes de Geologia

Classes de Geologia	Valores de Estabilidade
Fm. Serra Geral	1,0
Dep Aluvionares	2,3
Fm Botucatu	2,0
Fm Santa Tecla	2,4
Fm Rosário do Sul	2,1
Fm Rio do rasto	2,6
SG Estrada nova	2,6
Fm Irati	1,9
Fm Rio do sul	2,0
Fm Acampamento velho	1,3
Fm Hilário	2,0
Fm Mangueirão	2,3
Complexo Arroio das ilhas	2,0
Complexo Vacacaí	2,8
Complexo Cambaí	2,3
SI ramada	2,0
Fm Tupanciretã	1,2
Grupo Guatá	2,1
Fm Graxaim	2,7
S Intrusiva_Caçapava Sul	1,8
Fm Chuí	2,4
S Intrusiva_Arroio dos Ladrões	2,0

O mapa de geologia do Rio Grande do Sul demonstra que a maior parte do estado está inserida na classe geológica da Formação Serra Geral, abrangendo a porção norte e oeste, sendo que esta classe apresenta-se com menor susceptibilidade a processos erosivos.

Os depósitos eólicos, inconsolidados e aluvionares, estão presentes nas planícies das bacias hidrográficas dos rios Jacuí e Ibicuí e costeira. Estes locais apresentam maior vulnerabilidade à erosão. A porção sul do estado apresenta diferentes formações geológicas o que diferencia áreas mais e menos favoráveis ao desenvolvimento de processos erosivos. Dentre as mais vulneráveis estão a formação Canguçu e Complexo Cambaí (tabela 4.7).

TABELA 4.7: Classificação da Geologia no Estado do Rio Grande do Sul

Classes	Área (ha)	%
Fm Serra Geral	13581414,84	51,23
Dep Aluvionares	2.626503,20	9,91
Fm Botucatu	945954,84	3,57
Fm Santa Tecla	59399,80	0,22
Fm Rosário do Sul	1810609,80	6,83
Fm Rio do rasto	389213,96	1,47
SG Estrada nova	247234,88	0,93
Fm Irati	101183,48	0,38
Fm Rio do sul	49198,60	0,19
Fm Acampamento velho	78254,48	0,30
Fm Hilário	70964,48	0,27
Fm Mangueirão	224412,32	0,85
SI Caçapava do sul	8447,44	0,03
Complexo Arroio das ilhas	56823,20	0,21
Complexo vacacaí	86478,92	0,33
Complexo cambaí	382739,36	1,44
SI ramada	72801,96	0,27
Fm Tupanciretã	549641,92	2,07
Grupo Guatá	642609,60	2,42
Fm Graxaim	388109,80	1,46
S Intrusiva_Caçapava Sul	91846,80	0,35

Fm Chuí	874569,20	3,30
S Intrusiva_Arroio dos Ladrões	392945,36	1,48
Fm Itapoã	150616,44	0,57
Dep Inconsolidados	66423,00	0,25
Dep Eólicos	5678,24	0,02
Complexo Canguçu	1922937,56	7,25
Grupo Camaquã	293169,32	1,11
SG Porongos	235334,32	0,89
Complexo Encruzilhada do Sul	90284,32	0,34
Fm Piquiri	14970,84	0,06

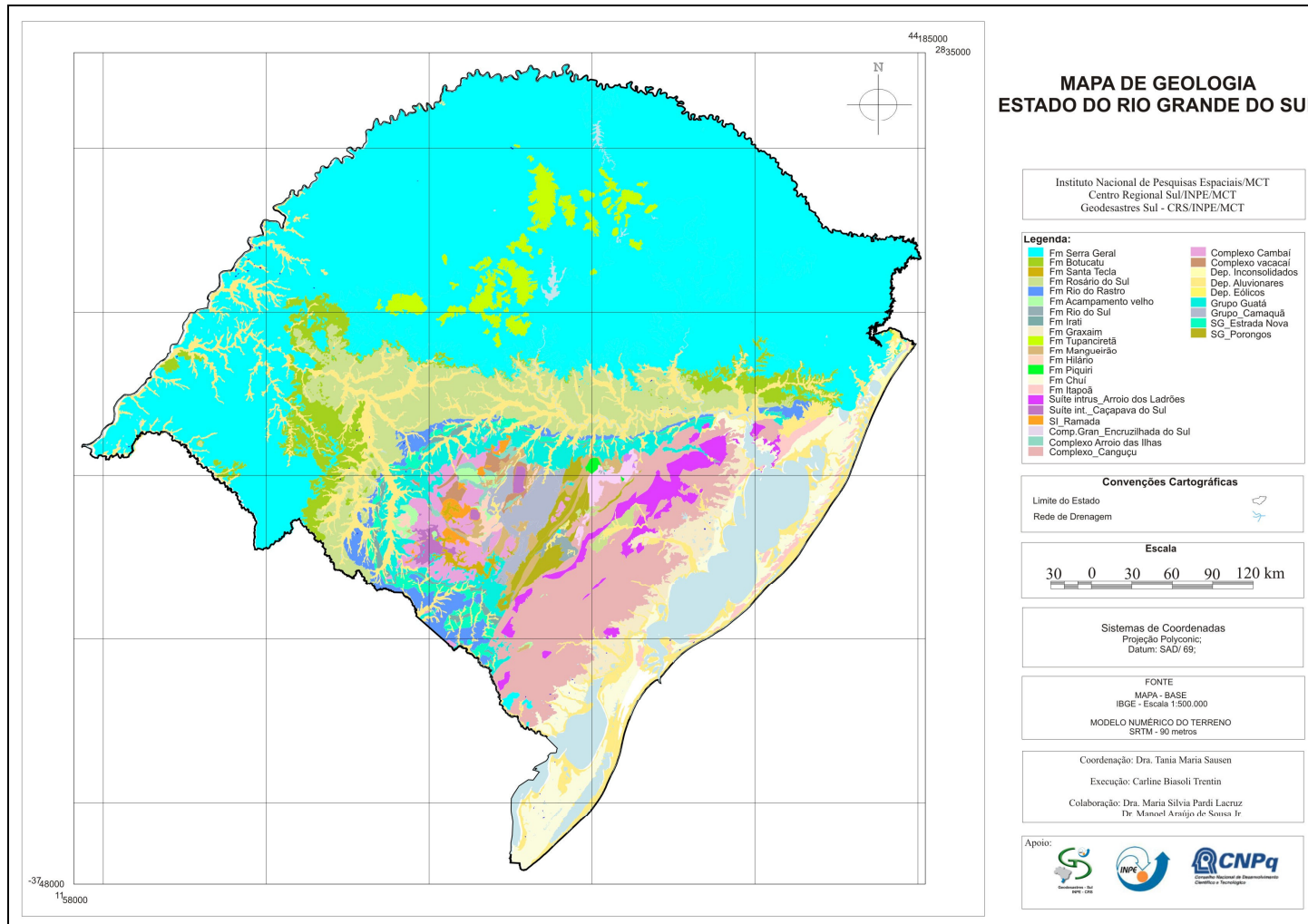


Figura 4.6: Mapa de Geologia do Estado do Rio Grande do Sul

4.1.7 Mapa Pedológico

O grau de desenvolvimento do solo é o fator condicionante para determinar a vulnerabilidade do ambiente natural. Quando o ambiente favorece a formação e o desenvolvimento do solo (prevalece a pedogênese), também denominado de unidade de paisagem estável, ou seja, são ambientes com solos bem desenvolvidos, intemperizados e envelhecidos.

Quando prevalece o processo de morfogênese, com formação de relevo e predomínio dos processos de erosão em razão dos processos de formação e desenvolvimento do solo, predomina a instabilidade das unidades de paisagem natural.

TABELA 4.8: Valores de estabilidade para as Classes de Solos

Classes de Solos		Valores de Estabilidade
Neossolos	Re, RHa, Rd, Ae, HAQha, AQd	2,9
Dunas	DN	2,2
Plintossolos	PTa	1,8
Vertissolos	V	2,3
Cambissolo	CBHa, Ce	1,0
Planossolo	PLV, PLS, PLe	2,0
Brunizém	BV, B, BT	2,7
Alissolos	PVa, PVd	3,0
Argissolo	PEa, PEd	1,9
Luvissolo	PBe, PELa, PBa, PBPe, PBPa	3,0
Nitossolo	TRd, TRe, TBRd, TBRa, TBCHa, TBVa	1,4
Latossolo	LRd, LBRa, LBCa, LBHa, LEa	2,6
Gleissolo	GS, GHS, GHe, Ge	2,6

Com relação aos tipos de solos existentes no estado, destacam-se diferentes regiões. Na porção norte do estado, predomina solos profundos e bem desenvolvidos, propícios para atividade agrícola, possuindo florestas que recobrem as áreas da encosta da serra geral. As áreas da campanha gaúcha correspondem a solos pouco profundos e fortemente erosíveis, dificultando a fixação da vegetal, com limitações moderadas a muito forte quanto à produção sustentada de um determinado tipo de utilização. A produção de gado de forma extensiva e de culturais anuais de sequeiro nas áreas de coxilha, e de

arroz por inundação nas áreas de Várzea, soja, florestamento, além áreas pouco influentes de milho e fumo são as atividades mais comuns nestas áreas.

Nas áreas correspondentes a planície costeira, destacam-se solos arenosos, propícios ao desenvolvimento de processos erosivos. Assim como na porção sul do estado, onde predominam alissolos, solos imperfeitamente drenados e pouco profundos.

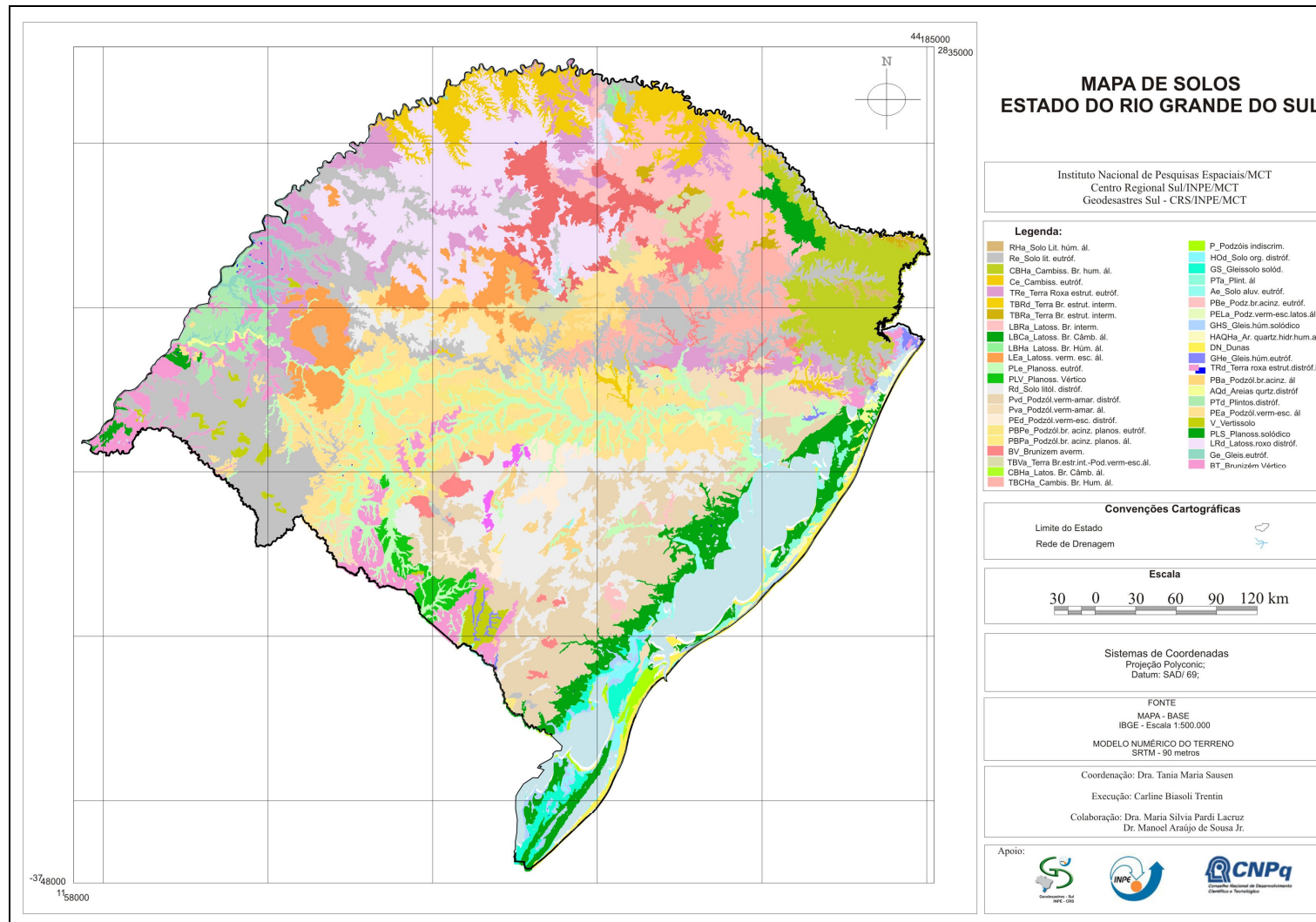


Figura 4.7: Mapa Pedológico do Estado do Rio Grande do Sul

4.1.8. Mapa de Vegetação

A densidade da cobertura vegetal é um fator importante para a determinação das unidades naturais vulneráveis a ocorrência de processos erosivos, uma vez que atua como proteção das unidades naturais.

A ação antrópica sobre a vegetação natural no estado tem influenciado significativamente a vegetação natural. Apesar de este apresentar, por características naturais, vegetação menos densa na porção sul.

As formações que apresentam baixa densidade de cobertura vegetal estão presentes principalmente nas regiões sul e oeste do estado, nestas áreas o solo fica exposto a ação de diversos fatores que contribuem de forma significativa no desenvolvimento de processos erosivos.

Com relação a cobertura vegetal que favorece os valores intermediários de vulnerabilidade as unidades de paisagem natural, podem ser caracterizadas como de médio porte, auxiliando na fixação do solo, independente da topografia.

As formações vegetais com maior densidade favorecem a estabilidade das unidades de paisagem natural, independente da topografia e da fisionomia específica, garantindo uma maior proteção do solo aos processos erosivos.

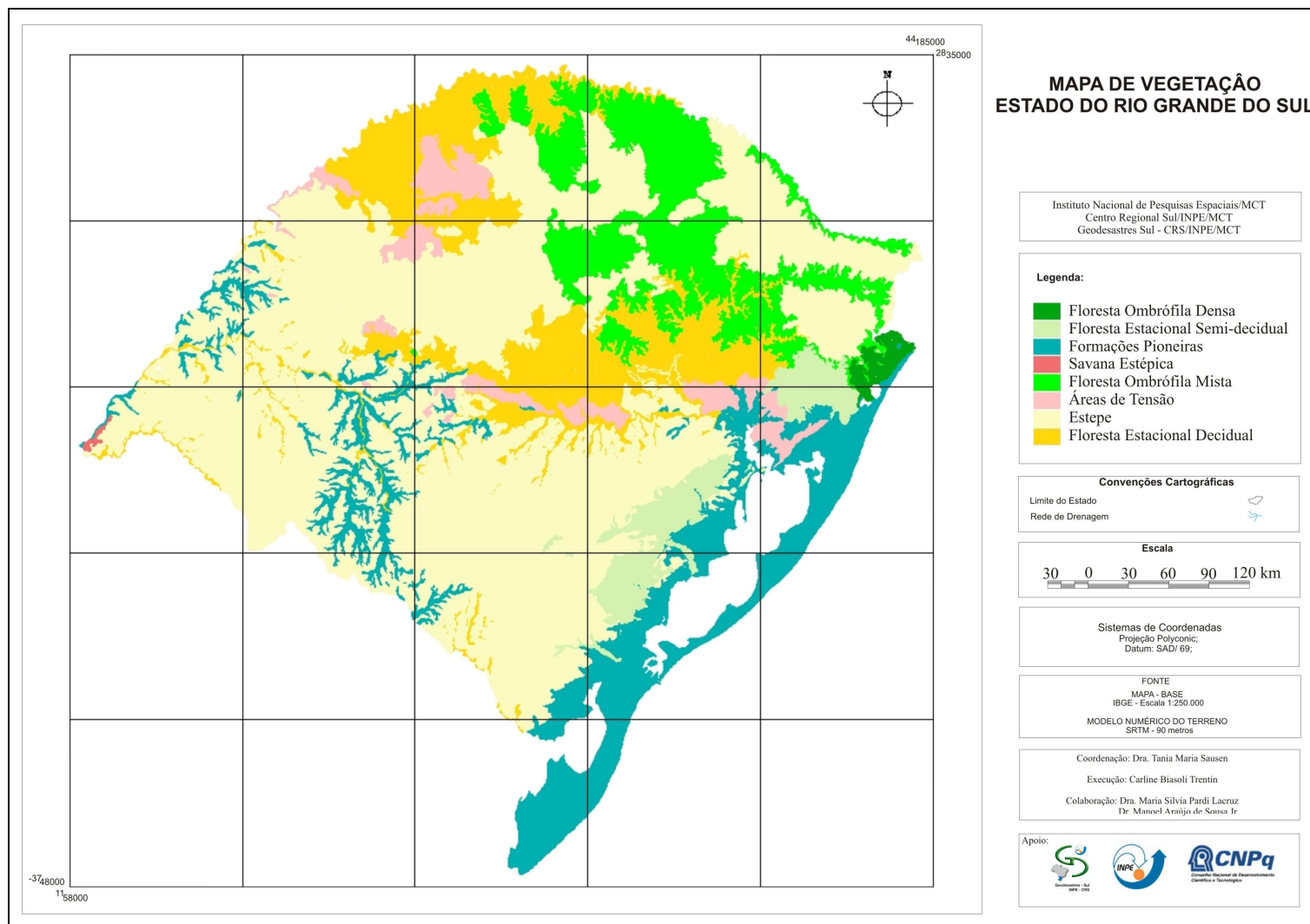


Figura 4.8: Mapa de Vegetação do Estado do Rio Grande do Sul

4.1.9. Mapa de Vulnerabilidade Natural à Erosão

Para elaboração do mapa de vulnerabilidade natural à erosão foram utilizados valores de estabilidade para as diferentes classes temáticas. A equação que descreve o mapa de vulnerabilidade é dado por:

$$MV = 0.084*(var1)+0.110*(var2)+0.261*(var3)+ 0.396*(var4)+ 0.151*(var5);$$

Onde: MV = Mapa de Vulnerabilidade

var1 = Geologia

var2 = Geomorfologia

var3 = Solos

var4 = Uso da Terra

var5 = Declividade

O Mapa de Vulnerabilidade Natural à Erosão gerado para o estado do Rio Grande do Sul, demonstrou que o estado apresenta diferenças relacionadas as áreas com graus de vulneráveis aos processos erosivos. A espacialização das diferentes classes pode ser visualizada na figura 4.9.

Analisando a distribuição espacial das classes de vulnerabilidade, percebe-se que há o predomínio das classes intermediárias, que aparece em praticamente em toda área do Estado, destacando-se a porção centro-sul. Nestas áreas o relevo interfere de forma significativa para atuação destes processos, defrontando-se com as características de solos formas de utilização da terra, que minimizam esses impactos.

As áreas que apresentam maior estabilidade, representadas no mapa nas cores próximas ao azul, estão presentes praticamente ao norte do estado, devido principalmente as características de relevo, solos, geologia e uso. Essas áreas correspondem às áreas de planalto, onde aparecem solos bem desenvolvidos, facilitando a instalação da vegetação. Apesar de predominar nessas áreas culturas agrícolas, estas não possuem maior interferência na determinação de processos erosivos.

As áreas consideradas vulneráveis a erosão concentram-se principalmente nas regiões sul e oeste do estado, uma vez que nestas áreas os processos de desagregação do solo e rochas estão ocorrendo ao longo do tempo, como por exemplo, os processos de voçorocamento nos municípios de Alegrete, São Francisco de Assis e Manoel Viana, principalmente.

Nestas regiões os solos são predominantemente arenosos e apresentam pouca profundidade, além de apresentar grande desagregação das rochas, o que facilita o desenvolvimento de processos erosivos. Deve-se ressaltar ainda a região metropolitana, que apresentou grande vulnerabilidade, isso pode ser decorrente da atuação dos movimentos de massa que ocorrem nesses locais, devido as características de solo, geologia, relevo e uso da terra.

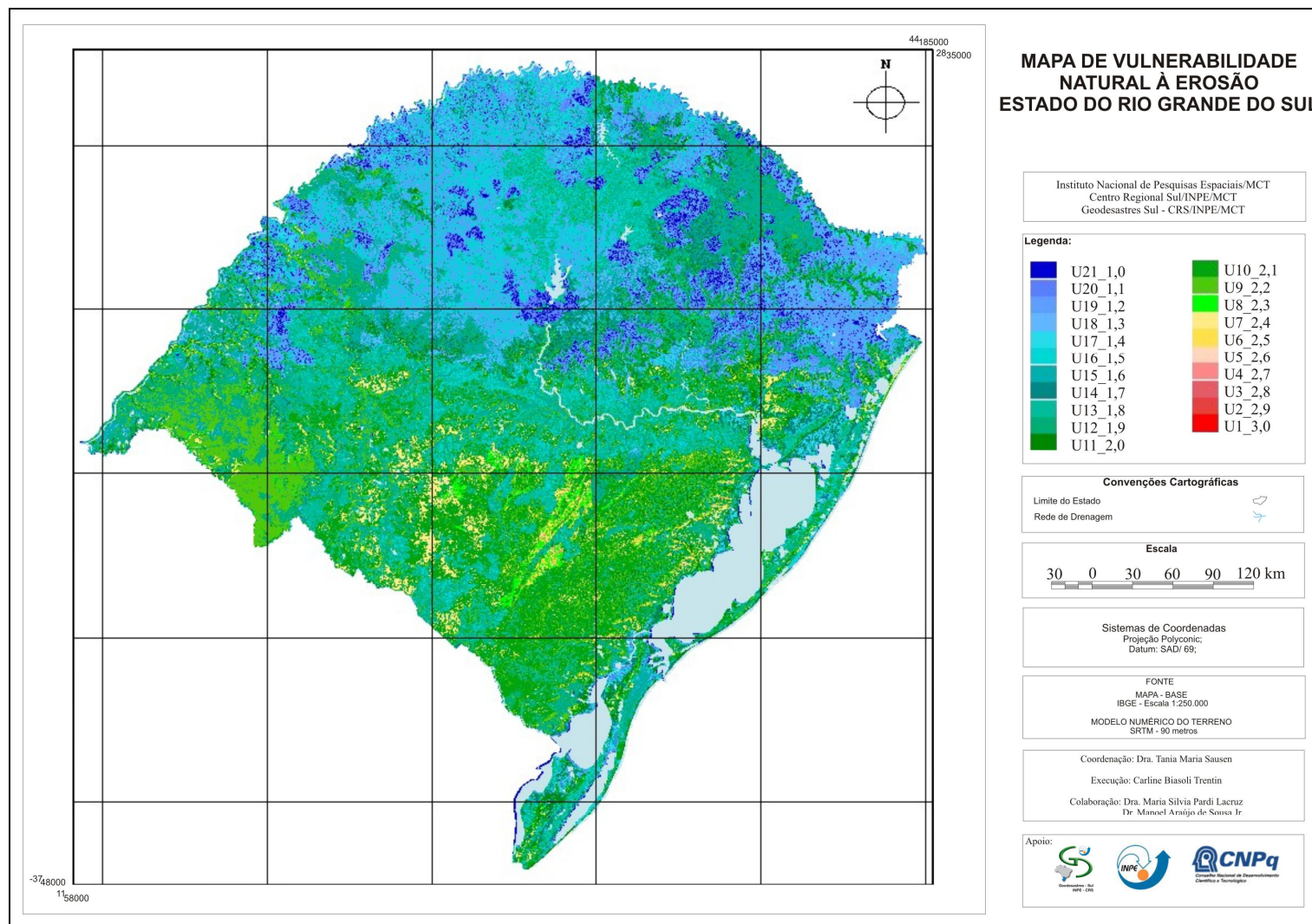


Figura 4.9: Mapa de Vulnerabilidade Natural à Erosão do Estado do Rio Grande do Sul

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A questão antrópica no ordenamento da paisagem local é vista como elemento integrante e articulador das transformações ocorridas no quadro natural. O uso da terra é uma expressão das relações sócio-econômicas do território, na medida em que revela a apropriação da natureza pela sociedade e suas alterações, podendo indicar um retrato das fragilidades do ambiente. A intensificação dos processos de apropriação dos recursos naturais, e conseqüente degradação ambiental, requerem que as atividades de planejamento ambiental estejam voltadas para a sustentabilidade do meio.

Com a classificação do mapa de uso e cobertura do solo e também em função das características do relevo e solos, percebe-se que o estado apresenta áreas distintas com relação a vulnerabilidade à processos erosivos. Decorrente disso torna-se necessário a adoção de medidas que minimizem os impactos em áreas susceptíveis e que estão sendo modificadas pela ação natural e antrópica.

Dessa forma, destaca-se que a metodologia empregada para a realização deste trabalho apresentou resultados satisfatórios, uma vez que permitiu a identificação de forma precisa os locais vulneráveis a ocorrência de processos erosivos, onde os índices apresentados correspondem com a realidade do estado.

Deve-se ressaltar ainda que os objetivos propostos foram alcançados, considerando que a utilização do sensoriamento remoto e das técnicas de geoprocessamento são importante na elaboração de instrumentos de prevenção e mitigação de impactos ao ambiente. A partir da análise de dados georreferenciados podem-se relacionar os fenômenos naturais com as atividades humanas e obter resultados que possam minimizar danos, possibilitando também a aquisição, manipulação, integração e espacialização dos dados geográficos. Dessa forma, contribuem de maneira precisa para a detecção, avaliação e monitoramento de desastres naturais, principalmente associados a potencialidade de riscos de vulnerabilidade à erosão.

A integração dos mapas temáticos de uso e cobertura do solo, declividade, solos, geomorfologia e geologia, permitiu a identificação das unidades de paisagem natural e os seus graus de vulnerabilidade à erosão. Com a identificação dos problemas relacionados aos processos erosivos no estado, é possível propor metas para melhorar a qualidade das águas e do solo, valorizando a consciência e racionalidade das pessoas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, L. O. *et al.* **Sensor Modis: uma abordagem geral**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. 2008. ESTEIO, 2007. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas>>. Acesso em: jun. 2008.

AUGUSTO FILHO, O. Geologia aplicada a problemas ambientais – processos do meio físico. In: Chassot, A. & Campos, H. (orgs). **Ciência da Terra e Meio Ambiente: diálogos para (inter) ações no Planeta**. Ed. Unissinos, São Leopoldo/RS, 1999.

BLASCHKE T. & KUX H. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: novos sistemas sensores métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

BURROUGH, P. A. & MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1998, 333p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Princípios básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Tendências de evolução do Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998.

CARVALHO, G.S.; MINGOTI, S. A. **Programas para Realização da Análise Hierárquica**. Manual do Usuário. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

CASTRO, A. L. C. Glossário de Defesa Civil: estudos de riscos e medicina de desastres. Brasília: MPO/Departamento de Defesa Civil. 1998. 273 p. Disponível em: <<http://www.defesacivil.se.gov.br/modules/tinyd0/index.php?id=15>>. Acesso em: 9 nov. 2007.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de. **Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos, 2004.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; AZEVEDO, L. G. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996. 24 p. Metodologia desenvolvida para subsidiar o Zoneamento Ecológico - Econômico e capacitar os técnicos dos estados da Amazônia Legal (Convenio SAE/INPE). (INPE-

6145-PUD/82). Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/sergio/2004/05.13.15.34>>. Acesso em: 27 mar. 2007.

ESTEIO, 2007. **Projeto SRTM: Estágio Atual**. Disponível em: <<http://www.esteio.com.br/newsletters/paginas/006/coordenadas.htm>>. Acesso em: 09 nov. 2007.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R.G.M. (org.) **Erosão e Conservação do Solo: conceitos temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

KOBIYAMA, M. *et al.* **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006. 109p.

LAHM, R. A. Noções Básicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. In: VERDUM, R. & STROHAECKER, T. **Desenvolvimento Regional, turismo e educação ambiental**. Porto Alegre: Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2000.

LOCH, C. **A interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais**. 4º ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: conceitos básicos**. Caderno Didático n. 1. Santa Maria: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008.

MARCELINO, E. V. Mapeamento de Áreas Susceptíveis a Escorregamento no Município de Caraguatatuba (SP) usando Técnicas de Sensoriamento Remoto. 2004. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/pgsere/Marcelino-E-V-2003/paginadeacesso.htm>> Acesso em: 22 out. 2007.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3.ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 320p.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1998.

PALMIERI, F.; LARACH, J.O.I. Pedologia e Geomorfologia. In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S. B. da. (org.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

PEREIRA, G. C. & SILVA, B. C. N. Geoprocessamento e Urbanismo. In: Gerardi, L. H. de O. & Mendes, I. A. M. (orgs). **Teoria, técnica, espaços e atividades: temas de Geografia contemporânea**. Rio Claro: PPGG – UNESP; AGETEO, 2001. 432p.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). 2004. **Perspectivas do Meio Ambiente Mundial GEO-3 - Passado, Presente e Futuro**. IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis e UMA- Universidade Livre da Mata Atlântica. 2004. Disponível em: <http://www.worldwatch.org.br/geo_mundial_arquivos/index.htm> Acesso em 22 out. 2007.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Minas Gerais: Edição do autor, 2000.

SILVA, J. E. B. da; SANTOS, P.R.A. dos. 2007. A utilização dos modelos SRTM na interpretação geomorfológica: técnicas e tecnologias aplicadas ao mapeamento geomorfológico do território brasileiro. *In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Florianópolis, 2007. **Anais...** INPE, p. 4261-4266.

SOUSA JÚNIOR, M. A.; PARDI LACRUZ, M. S. 2006. Monitoramento de desastres naturais utilizando imagens *MODIS* - estudo de caso: Pantanal. *In: 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*. Campo Grande, Brasil, 2006. **Anais...** Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2006, p.739-748.

TEIXEIRA, A. L. de A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica**. Rio Claro: Edição do autor, 1992.

TOMMASI, L. R. **A degradação do Meio Ambiente**. 4 ed. São Paulo: Nobel, 1981.

VALERIANO, M. de M. **Modelo Digital de Elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.