

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**



**ÁREAS SUSCETÍVEIS À MOVIMENTO DE MASSA, RISCOS  
AMBIENTAIS E À POPULAÇÃO:  
O CASO DO GASODUTO BOLÍVIA-BRASIL NO ESTADO DO RIO  
GRANDE DO SUL**

**PAULO ROBERTO SCHNEIDER STAHNKE**

**ORIENTADOR**

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Dejanira Luderitz Saldanha**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

**Prof. Dr. Norberto Dani**

**Prof. Dr. Nelson Amoretti Lisboa**

**COMISSÃO DOS PROJETOS TEMÁTICOS**

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Andrea Ritter Jelinek**

**Prof. Dr. Rualdo Menegat**

**Prof. Dr. Marcus V. D. Remus**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Geólogo.

Porto Alegre, dezembro/2010.

Stahnke, Paulo Roberto Schneider

Áreas suscetíveis a movimento de massa, riscos ambientais e à população: o caso do gasoduto Bolívia-Brasil. / Paulo Roberto Schneider Stahnke. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2010.

[51 f.] il.

Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Geologia. Porto Alegre, RS - BR, 2010.

Orientação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Dejanira Luderitz Saldanha

1. Escorregamento de massa. 2. Sensoriamento remoto. 3. Geoprocessamento. 4. Gasoduto. 5. Bolívia-Brasil. I. Título.

---

Catálogo na Publicação  
Biblioteca Geociências - UFRGS  
Miriam Alves CRB 10/1947

Aos meus pais, irmãos e amigos,  
em especial à Maria Astolfi.

"O mundo é um belo livro, mas pouco útil para quem não sabe ler." Carlos Goldoni

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha professora orientadora, Dejanira Saldanha Luderitz, pela orientação e amizade.

Aos meus colegas em especial a Késia pela amizade e ajudas, a Christie pela amizade e coleguismo, em especial para a realização da cadeira de Mapeamento.

Aos demais colegas pela ajuda e coleguismo durante esses anos todos.

Aos meus pais, irmãos e sobrinho, pela torcida de sempre e interesse.

Aos meus amigos, Karine Reginato, Jéferson Machado, José Ernesto “Hugo” Nadalon pelas festas, apoio, conversas, divagações.

Ao meu amigo Cristof Leonhardt, em especial que ajudou com a tradução do resumo.

Agradeço a TUDO que aconteceu na minha vida.

E para finalizar agradeço de todo coração a senhora Maria Astolfi, uma mãe que o destino colocou em meu caminho, e que sempre deu o suporte necessário para que eu chegasse até aqui. À ela um OBRIGADO ESPECIAL.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi o monitoramento ambiental das áreas no entorno do Gasoduto Bolívia-Brasil utilizando imagens de sensoriamento remoto e ferramentas de geoprocessamento para a determinação das áreas suscetíveis ao risco de escorregamento de massa que podem acarretar tanto problemas ambientais quanto aqueles relacionados às atividades antrópicas.

Com o advento da exploração espacial o homem acabou por fazer o uso sistemático de imagens de satélites para a análise espacial do ambiente visando os mais diversos fins. Assim, o sensoriamento remoto surge como uma ferramenta para a tomada de decisão, nas mais diversas áreas do conhecimento, sendo imprescindível como uma das únicas formas viáveis de monitoramento ambiental em escalas locais e globais. A rapidez, a eficiência, a periodicidade e a visão sinóptica que caracterizam as imagens orbitais posicionam o sensoriamento remoto como uma das ferramentas estratégicas para o futuro.

Foi possível através de saída de campo, em maio de 2010, a identificação *in situ*, das áreas mais suscetíveis ao escorregamento de massa. No levantamento de campo realizado na serra gaúcha, região fisiográfica “Altos de Cima da Serra”, foram identificadas as áreas próximas à região da Serra da Rocinha, assim como as áreas nas proximidades de São Francisco de Paula, como os locais de grandes diferenças topográficas e de maior risco aos escorregamentos.

Com a criação de um banco de dados georreferenciados e a geração de mapas temáticos foi possível estabelecer o grau de desnível dessas duas regiões. A Serra da Rocinha apresenta declividade entorno de 20 a 40%, enquanto em São Francisco de Paula a declividade varia de 13 a 20%. Esses valores caracterizam essas regiões como sendo de terrenos fortemente ondulados e ondulados, respectivamente, e com sérias restrições quanto ao uso, sob a ótica da Aptidão Agrícola das Terras, Embrapa (1995).

Assim, é necessário o monitoramento constante das condições ambientais em que se encontra o gasoduto Bolívia-Brasil com a finalidade de evitar acidentes causados por movimentos de massa que acarretarão em danos ambientais e à população do entorno.

Palavras Chaves:

Escorregamento de massa. Sensoriamento remoto. Geoprocessamento. Gasoduto. Bolívia-Brasil.

## ABSTRACT

The main objective of this work was the environmental monitoring on areas around The Brazil-Bolivia gas pipeline using remote sensing images and geoprocessing tools to determine susceptible areas of mass slip risk, which can result in environmental problems and those related to anthropic activities.

With the advent of spacial exploration, man started to systematically use satellite images for spacial analysis of the environment aiming different purposes. Therefore, remote sensing appears as a decision tool, in different areas, being important as one of the unique viable ways of environmental monitoring in local and global scales. The speed, efficiency, periodicity and synoptic vision that categorize the orbital images put remote sensing as one of the strategic tools for the future.

During field trips (may 2010), the identification of mass slip susceptible areas was possible. On the field survey performed on the south Brazil sierra, physiographic region “Altos de Cima da Serra”, areas close to Serra da Rocinha were identified, as well as areas close to São Francisco de Paula, as the locals with most of the topographic differences and major risks of mass slip.

With the creation of georeferenced database and generation of thematic landscapes, it was possible to establish degree of unevenness on both regions. Serra da Rocinha shows a slope between 20% and 40%, while in São Francisco de Paula, the slope goes from 13% to 20%. These values categorize both regions as strongly undulating terrain and undulating terrains, respectively, with serious restrictions regarding use, under the optics of Aptidão Agrícola das Terras, Embrapa (1995).

Therefore, it is necessary to constantly monitor the environmental conditions related to the gas pipeline Bolivia-Brazil with the purpose to avoid accidents caused by mass movement which lead to environmental damage to the surrounding population.

Key words: Mass Slip. Remote Sensing. Geoprocessing. Gas pipeline. Bolívia-Brasil.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do Gasoduto Brasil-Bolívia – GASBOL.....	13
Figura 2 - Imagem Landsat, processada no programa Envi 4.5, mostra na linha horizontal no meio da imagem o gasoduto passado por uma imensa falha.....	22
Figura 3 - Imagem Landsat, processada no programa Envi 4.5, usando bandas diferentes, podemos destacar melhor a falha, pela qual cruza o gasoduto.....	23
Figura 4 - Carta digitalizada na escala 1:50.000. ....	24
Figura 5 - Elementos da carta digitalizados.....	25
Figura 6 - Garmin MapSource com pontos de campo plotados. ....	26
Figura 7 - Imagem do Google Earth mostrando o gasoduto (faixa entre a mata). ....	27
Figura 8 - Imagem do Google Earth com os pontos de GPS plotados.....	28
Figura 9 - abertura do GEOBANK no site da CPRM. ....	29
Figura 10 - Arquivos vetoriais da base de dados da CPRM, dentro do GEOBANK.....	29
Figura 11 - Mapas geológicos estaduais disponíveis no GEOBANK.....	30
Figura 12 - Site da Embrapa no qual é possível adquirir as imagens SRTM.....	31
Figura 13 - Imagens SRTM do estado do Rio Grande do Sul.....	31
Figura 14 - Imagem SRTM utilizada para a base de dados do projeto. ....	32
Figura 15 - Imagem da passagem do gasoduto nas proximidades da cidade de São Francisco de Paula. ....	33
Figura 16 - Vista da Serra da Rocinha, local de mudança de nível do GASBOL, vindo de SC para o RS. ....	33
Figura 17 - Região de São Francisco de Paula, mudança brusca de nível. ....	35
Figura 18 - Rápida variação no nível, indo da cota 1200 m para 100 m rapidamente.....	37
Figura 19 - Mapa de altimetria do RS elaborado pelo Museu do Solo da UFSM.....	38
Figura 20 - Aproximação das áreas do estudo, com os pontos de GPS plotados sobre o mapa de altimetria do Museu do Solo (UFSM). ....	39
Figura 21 - Distribuição das classes de declividade de acordo com a classificação do relevo e o grau de limitação ao uso do solo. Fonte: Embrapa (1995). ....	40
Figura 22 - Mapa de declividade da região de São Francisco de Paula. ....	41
Figura 23 - Mapa de declividade da região da Serra da Rocinha, limite RS - SC.....	43
Figura 24 - Mapa geológico abrangendo a área de estudo. Fonte: CPRM.....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos movimentos de massa segundo Sharpe (1938).....	17
Tabela 2 – Classificação dos movimentos de massa proposta por Varnes (1978).....	18

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	9
1.2 OBJETIVOS .....	10
1.3 ASPECTOS GERAIS DA ÁREA E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	10
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>21</b>
3.1 PROGRAMAS .....	21
3.2 EQUIPAMENTOS .....	21
3.3 MÉTODOS.....	22
3.3.1 Processamento de Imagem Multiespectral .....	22
3.3.2 ArcGIS 9.3.....	23
3.3.3 Garmin MapSource .....	25
3.3.4 ‘Google Earth’ .....	26
3.3.5 Montagem da Base de Dados .....	28
3.4 SAÍDA DE CAMPO .....	32
<b>4. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
4.1 MAPA DE ALTIMETRIA.....	34
4.2 MAPA DE DECLIVIDADE .....	40
4.3 MAPA GEOLÓGICO .....	44
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No presente trabalho temático é apresentado um estudo das áreas que foram utilizadas para a implantação do Gasoduto Bolívia-Brasil, no estado do Rio Grande do Sul. O objetivo, neste estudo, focaliza as áreas suscetíveis aos movimentos de massa no sentido de localizá-las, pois esses fenômenos podem acarretar o rompimento do gasoduto, prejudicando o meio ambiente e colocando em risco as populações que vivem na área do seu entorno.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

O Gasoduto Bolívia-Brasil tem aproximadamente 3.150 km de extensão, sendo 557 km na Bolívia e 2.593 km em território brasileiro. Inicia em Rio Grande, na Bolívia, com cerca de 32" de diâmetro, alcançando a fronteira com o Brasil no Mato Grosso do Sul (Puerto Suarez-Corumbá) e seguindo com o mesmo diâmetro até Campinas (1.258 km no trecho Corumbá - Campinas). Neste ponto, divide-se em dois ramos principais com diâmetro de 24". O primeiro até Guararema (155 km), onde se interliga com o sistema de dutos da Petrobras (São Paulo - Rio de Janeiro - Belo Horizonte), e, o segundo (1.180km), até Porto Alegre.

O traçado do Gasoduto Brasil-Bolívia perpassa regiões que, do ponto de vista geomorfológico, podem ser classificadas como áreas suscetíveis a movimentação de massa e, portanto vulneráveis para a ocupação humana. Algumas destas áreas estão ocupadas por uma significativa parcela da população sul-rio-grandense justificando-se assim um estudo dessas áreas de risco. Além destes estudos geomorfológicos envolvendo o Gasoduto Brasil-Bolívia justifica-se também a verificação das possíveis degradações ambientais, no que diz respeito ao tipo de uso e ocupação do solo, dos riscos de movimentos de massa e das medidas a serem sugeridas para mitigar o impacto desta obra na vida das pessoas residentes em sua área de entorno.

## 1.2 OBJETIVOS

A pesquisa teve como proposta utilizar ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, como imagens de satélite, para localizar: a) o traçado do Gasoduto Bolívia-Brasil, GASBOL; e b) as áreas de potencial de risco ao longo deste traçado no Estado do Rio Grande do Sul.

Este estudo, além de reconhecer a localização desses pontos mais frágeis, frente a instabilidade dos taludes, pretende localizar, relacionar e hierarquizar essas áreas suscetíveis a escorregamento de massas gerando uma escala de periculosidade que pode atingir níveis de desastre como o rompimento da tubulação. Esta hierarquização determina também as áreas de vulnerabilidade para a ocupação humana no entorno do gasoduto.

Como objetivo específico, ao determinar as áreas de maior declividade, será verificado se as mesmas, representam de fato um risco para o meio ambiente e para a população residente no entorno do gasoduto.

## 1.3 ASPECTOS GERAIS DA ÁREA E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

No contexto geológico-geomorfológico, os processos morfogenéticos atuantes no Rio Grande do Sul configuram cinco diferentes unidades de relevo (Fig. 1.): o Planalto Uruguaio Sul-Rio-Grandense, o Planalto Meridional, a Depressão Periférica, a Província Costeira e a Cuesta de Haedo (Müller, 1970).

Com relação a esses grandes compartimentos geomorfológicos do Rio Grande do Sul, a área de estudo localiza-se, em direção ao sul, no Planalto Meridional, nas suas encostas voltadas para o sul, na Depressão Periférica e na Província Costeira. Abrange os municípios de São José dos Ausentes, ao norte, até Porto Alegre, passando pela unidade campestre, denominada Campos de Cima da Serra.

Assim, no Rio Grande do Sul o gasoduto perpassa por 15 unidades administrativas, quais sejam: São José dos Ausentes, Cambará do Sul, Jaquirana, São Francisco de Paula, Taquara, Igrejinha, Parobé, Nova Hartz, Araricá, Sapiranga, Novo Hamburgo, Gravataí,

Cachoeirinha, Esteio e Canoas. Além disso, ocorre o cruzamento com seis rodovias, subjaz em 522 propriedades e atravessa um rio.

Tendo em vista a importância da qualificação do substrato rochoso quando se pretende avaliar o grau de estabilização de taludes frente à presença de extensa obra, como um gasoduto que agrega consigo um elevado grau de periculosidade, descreve-se abaixo o arcabouço geológico do Estado do Rio Grande do Sul.

Embora neste trabalho o trecho do gasoduto avaliado não está associado à unidade formada pelo Planalto Uruguaio Sul-Rio-Grandense, é importante sua descrição tendo em vista a visualização genérica da geologia do Estado. Este compartimento geomorfológico ocupa a porção sudeste-sul do estado, sendo constituído por rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Essa unidade possui uma diversidade de formas convexas e/ou com topos aplainados e vertentes dissecadas.

A Depressão Periférica, localizada entre os planaltos, Uruguaio Sul-Rio-Grandense e Meridional apresenta relevos transicionais em relação a essas unidades. A morfologia é muito mais suave constituída por um baixo planalto dissecado (Maio, 1980), com um relevo suavemente ondulado (entre 5m e 150 m de altitude), constituído principalmente por sedimentos originados durante a evolução da Bacia do Paraná.

A Província Costeira é constituída por amplas planícies localizadas na costa leste do estado, numa superfície plana alongada em direção NE-SO, com variações N - S. Nessa região, dominam modelados esculpido em depósitos de origem eólica, originando dunas atuais, banhados, praias e lagoas.

A unidade Cuesta de Haedo, segundo Müller (1970), é caracterizada por um relevo homoclinal dissimétrico com front voltado para leste, e cujo reverso suave decai em direção ao Rio Uruguai. Sua litologia característica é composta pelos arenitos da Formação Botucatu e vulcanitos da Formação Serra Geral (Triássico Superior). As formas de relevo dominantes são as colinas e morros tabulares isolados.

O Planalto Meridional ocupa o centro-norte do Estado e é limitado por uma escarpa abrupta voltada para o oceano, na região norte-leste (escarpa de linha de falha Torres-Osório) e outra escarpa de erosão em contato com a Depressão Periférica. Segundo Nielsen *et al.* (1994), o leve caimento das rochas acamadas e a forma assimétrica das vertentes permitem identificar esta região como um típico exemplo de cuesta. Os patamares do extenso Planalto Meridional são constituídos por rochas vulcânicas básicas intercaladas com rochas ácidas (Formação Serra Geral).

No contexto do Planalto Meridional, em contato com a Depressão Periférica, é que se encontra instalado o Gasoduto Brasil-Bolívia, objeto abordado por esse trabalho.

Nessa última unidade geomorfológica descrita foram concentrados os estudos, mais especificamente próximo à cidade de São Francisco de Paula, ao sul e na feição de encosta, denominada Serra da Rocinha, divisa do estado do Rio Grande do Sul com o estado de Santa Catarina.

O Planalto Meridional, possuindo uma altitude que supera os mil metros, foi formado pelo vulcanismo causado pelo excesso de calor acumulado sob o super continente, há cerca de 190 milhões de anos, quando da fragmentação do Pangéia.

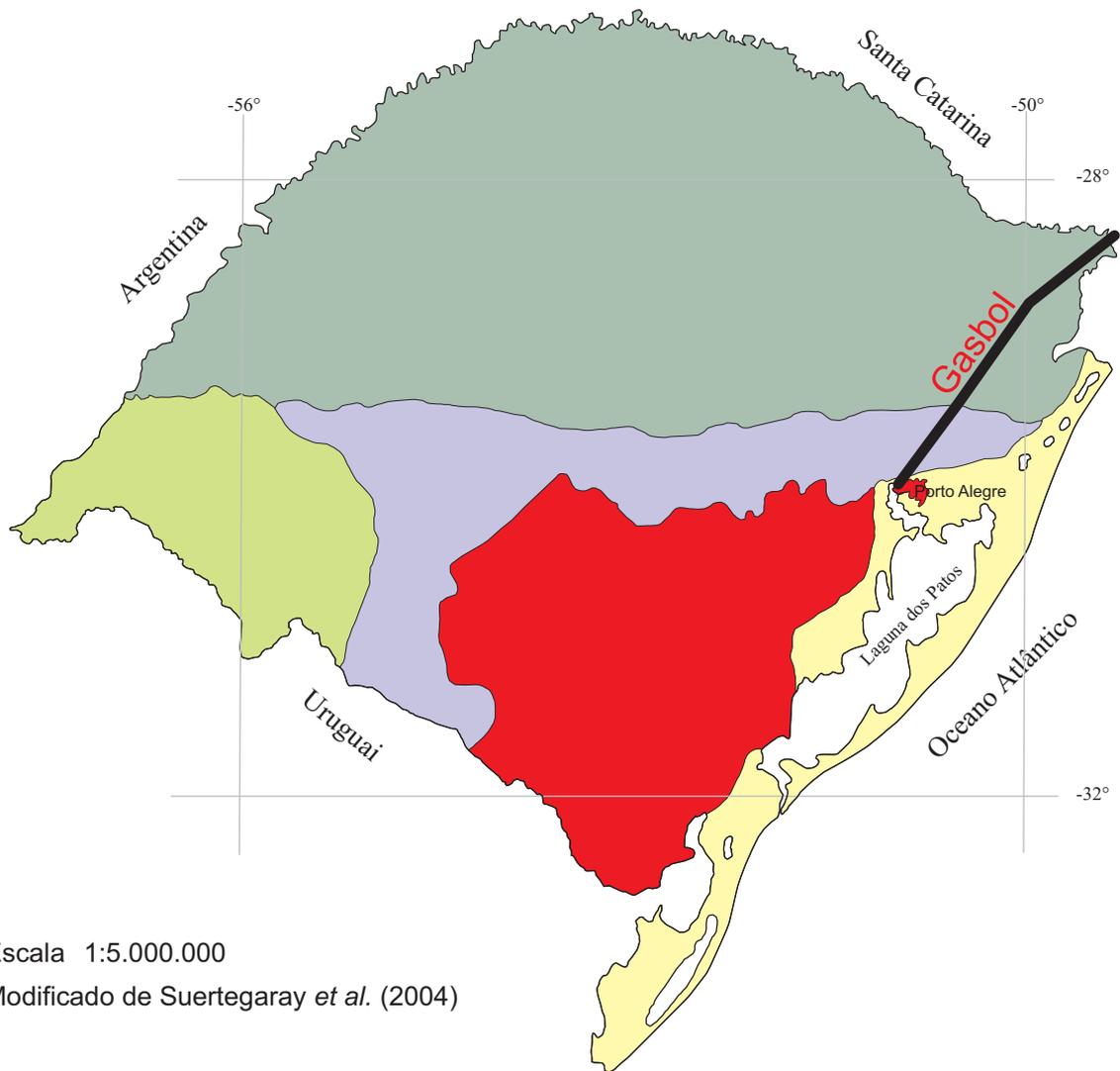
O magmatismo Serra Geral, com espessura máxima em torno de 1.720 m no depocentro da bacia, apresenta características de tholeitos bimodais. Petrograficamente a Formação Serra Geral apresenta uma completa suíte de tipos litológicos, desde basaltos até rochas ácidas do extremo riolítico. Os basaltos de platô são acompanhados por uma intensa atividade intrusiva, normalmente representada por sills e diques, que acompanham, grosseiramente, as principais descontinuidades estruturais da bacia. Estas descontinuidades estão relacionadas aos braços abortados da junção tríplice originada sobre o hot spot de Tristão da Cunha que serviram como área de alimentação do magmatismo. O sistema dominante tem direção NW, transversal ao eixo maior da bacia, estando representado por um sistema de arcos (e.g. Ponta Grossa, Campo Grande e São Gabriel), e por lineamentos tectônicos e/ou magmáticos (e.g. Guapiara, São Jerônimo-Curiúva, e rios Uruguai, Icamaquã e Piquiri) cuja formação provavelmente iniciou-se no Devoniano e teve seu desenvolvimento máximo durante o Triássico-Jurássico.

Nesse contexto geológico-geomorfológico está inserido o gasoduto Bolívia-Brasil. Nas áreas de transição entre a unidade geomorfológica do Planalto Meridional com as unidades da Depressão Periférica e da Província Costeira ocorrem as regiões de elevada declividade ocasionando os movimentos de massa que tornam o gasoduto mais suscetível a rompimentos causando danos ao meio ambiente e trazendo riscos à população das áreas próximas.

Figura 1 - Localização do Gasoduto Bolívia-Brasil e Unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul



NORTE



LEGENDA:

-  Planalto Uruguaio Sul-Rio-Grandense
-  Planalto Meridional
-  Cuesta de Haedo
-  Depressão Periférica
-  Província Costeira

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso do sensoriamento remoto inicia a partir da década de 60 com os primeiros vôos espaciais. O lançamento do primeiro satélite voltado exclusivamente para o sensoriamento remoto, LANDSAT 1, ocorreu em 1972 nos Estados Unidos da América. Nos últimos 30 anos várias missões de pesquisa lançaram sucessivos satélites da série Landsat, quais sejam Landsat 3, 4, 5 e 7, entre julho de 1982 e março de 1984. Outros satélites como, o CBERS e o ASTER, entre tantos outros, com vários sensores a bordo, adquirem imagens da superfície da Terra com resolução espectral e espacial cada vez mais refinadas, como é o caso dos satélites Quickbird, do WorldView I e mais recentemente do WorldView II, lançado em outubro 2009. Esses avanços possibilitaram uma maior disseminação do uso do sensoriamento remoto, utilizado no mapeamento geológico, na agricultura e outras ciências da Terra, com efeitos diretos sobre a pesquisa e a produção de conhecimento da dinâmica terrestre.

Nestes pouco mais de 30 anos, a evolução do sensoriamento remoto, marcada por sensores cada vez mais confiáveis e temáticos, deu-se por quatro caminhos principais: o surgimento dos sensores orbitais de micro-ondas, os sensores de resolução espacial submétrica, os sensores hiperespectrais e os sensores de alta resolução temporal.

No Brasil a aplicação se deu por meio da montagem de sistemas de monitoramento de desmatamentos e queimadas a maioria destinada ao controle da Amazônia legal.

Outro fator que merece ser mencionado é o lançamento da ferramenta “Google Earth”, da empresa de internet “Google”, que possibilitou a divulgação das ferramentas de sensoriamento remoto para as massas, tendo em menos de um ano alcançado a soma de mais de 200 milhões de pessoas, mostrando assim, que o sensoriamento remoto está totalmente inserido no dia-a-dia das pessoas, mesmo que essas não se mostrem sabedoras dessa presença. O INPE, já disponibilizou, gratuitamente, mais de 300.000 imagens CBERS, algo impressionante em um país em que apenas 75% do território é mapeado à escala de 1:100.000.

Segundo Crósta (1992), o sensoriamento remoto mostrou-se uma das únicas formas viáveis de monitoramento ambiental em escalas locais e globais, devido à rapidez, eficiência, periodicidade e visão sinóptica que caracteriza este sistema de aquisição de dados terrestres, posicionando assim o sensoriamento remoto como uma das ferramentas estratégicas para o futuro.

De acordo com Silva *et al.* (2004), o procedimento de georreferenciamento das imagens tornou possível, numa ampla escala, analisar a geotopologia de um ambiente de forma a ajudar na tomada de decisões com relação ao uso e ocupação deste espaço e sendo possível sua aplicação aos campos do planejamento territorial e da gestão ambiental (SILVA, 2002).

Como este trabalho tem o seu foco no estudo de áreas ambientalmente frágeis é importante esclarecer as diferenças entre os termos risco, suscetibilidade e vulnerabilidade.

Varnes (1984), em trabalho realizado para a UNESCO, propôs uma série de conceitos sobre risco que é muito usada nos dias de hoje. Sendo assim a caracterização genérica pra risco pode ser dada como:

$$R = P \times C$$

Onde:

R = risco

P = probabilidade de ocorrência do processo geológico = suscetibilidade

C = conseqüência social e econômica potencial associada = vulnerabilidade

Onde:

- O termo *Processo Geológico* é utilizado para caracterização de qualquer mudança nas condições ambientais induzidas por fontes naturais.

- O termo *Evento geológico*: corresponde aos fenômenos naturais cujos efeitos não ocasionaram perdas de vidas humanas ou econômicas.

- O termo *Perigo geológico*: caracteriza uma situação de potencial ameaça a pessoas e bens materiais e econômicos por um evento geológico, sem dimensionar tais perdas.

- O termo *Risco geológico*: caracteriza uma situação de potencial ameaça a pessoas e bens materiais e econômicos por um evento geológico, havendo a possibilidade de quantificação dessas perdas.

- O termo *Acidente geológico*: evento geológico de grande intensidade, ocasionando perdas econômicas e de vidas humanas, tal como ocorre nos terremotos de grande intensidade que atingem áreas densamente povoadas. Conforme o número de vítimas e de perdas econômicas, em uma escala crescente, o acidente geológico será definido como acidente, desastre ou catástrofe (DIAS, 2002).

Nesse trabalho o risco mais freqüente refere-se ao risco exógeno de deslizamento. Os deslizamentos são movimentos de massa (solo e rocha) que ocorrem impulsionados pela força da gravidade, a partir de encostas de declividade elevada, como encontramos em duas

situações nas quais o gasoduto está inserido. Essa massa pode se deslocar com grande velocidade e transportar volumes de materiais de milhares de metros cúbicos por vários quilômetros. Entre as diversas causas dos deslizamentos podemos citar: sismos naturais e induzidos; cortes inadequados de taludes para obras de engenharia; mineração; uso urbano; desmatamento de encostas; alterações rápidas do nível da água subterrânea nas encostas.

A mecânica dos deslizamentos é caracterizada pela ruptura das condições de equilíbrio de uma massa de solo, sedimentos ou rochas, em um talude natural, ou de origem antrópica. Os responsáveis pela ruptura desse equilíbrio podem ser de origem geológica (fraturamentos, presença de minerais argilosos expansivos preenchendo as fraturas das rochas etc.), geomecânica (alterações do peso específico do solo devido à saturação, perda de coesão, alterações no lençol freático), climática (pluviosidade); antrópica (compactação do terreno aumentando o seu peso específico, vibrações provocadas por explosões ou pelo tráfego de veículos pesados); ou devido a forças naturais, como os terremotos ou tsunamis.

Também faz-se necessário fazer a classificação do movimento de massa.

A primeira classificação foi desenvolvida por Sharpe (1938). Para classificar os tipos de movimentos de massa a proposta baseou-se em fatores como a natureza e velocidade do movimento, quantidade de água e gelo atuantes no processo e tipo de material.

Tabela 1 - Classificação dos movimentos de massa segundo Sharpe (1938).

Natureza e Taxa do Movimento		Transporte Glacial	Com aumento do conteúdo de gelo	Rocha ou solo ↔	Com aumento do conteúdo de água
Corridas	Imperceptível		Solifluxão ↓	Rastejo (solo ou rocha)	Solifluxão ↓
	Lento a rápido		Avalanche de detritos		Fluxo de terra Fluxo de lama Avalanche de detritos
Escorregamento	Lento a rápido		↓	Escorregamento Escorregamento de detritos Queda de detritos Escorregamento de rocha Queda de rocha	↓

A classificação mais utilizada em todo mundo foi proposta por Varnes (1978), considerada a classificação oficial da Associação Internacional de Geologia de Engenharia (IAEG). Caracteriza-se por ser uma proposta simples e baseia-se no tipo de movimento e no tipo de material transportado, para estabelecer os principais grupos.

Tabela 2 – Classificação dos movimentos de massa proposta por Varnes (1978).

TIPO DE MOVIMENTO		TIPO DE MATERIAL		
		ROCHA	SOLOS DE ENGENHARIA	
			Predomínio de grossos	Predomínio de finos
Queda		Quedas de blocos	Queda de massa de solo e rocha	Queda de terra
Tombamento		Tomb. de blocos	Tomb. de massa de solo e rocha	Tombamento de terra
Escorregamento	Rotacional	Escor. de blocos	Escor. de massa de solo e rocha	Escor. de terra
	Translacional			
Espraiamento lateral		Espr. de blocos	Espr. de massa de solo e rocha	Espr. de terra
Corrida		Corrida de blocos (rastejo profundo)	Corrida de massa de solo e rocha	Corrida de terra
Complexo		Combinação de dois ou mais dos principais tipos de movimentos		

Dentre os condicionantes para o movimento de massa temos: geológicos, geomorfológicos e antrópicos.

Sabe-se que os deslizamentos são condicionados por complexas relações entre fatores geológicos, englobando as características lito-estruturais e tectônicas, geomorfológicos, climáticos e antrópicos.

Como causas geológicas para movimentos de massa, podemos citar:

- a) materiais pouco resistentes ou sensíveis;
- b) materiais alterados;
- c) materiais fissurados;
- d) orientação desfavorável de descontinuidades (acamamento, xistosidade,

falhamento, inconformidade);

e) contraste na permeabilidade ou baixa consistência dos materiais.

Os principais condicionantes geomorfológicos são:

a) soerguimento tectônico ou vulcânico;

b) erosão fluvial, marinha ou glacial no pé da encosta ou margens laterais;

c) erosão subterrânea (solution, piping);

d) morfologia da encosta;

e) deposição ou carregamento sobre a encosta ou na crista da encosta;

f) remoção da vegetação.

Como causas de atuação humana, que condicionam movimentos de massa podemos citar:

a) escavação da encosta ou de seu pé;

b) carregamento da encosta ou de sua crista;

c) desmatamento;

d) irrigação;

e) mineração;

f) vazamento de águas servidas;

g) vibrações artificiais.

Como condicionante geomorfológicos podemos citar a declividade, que neste trabalho foi tratada de forma especial, uma vez que o estudo da mesma nas áreas suscetíveis a escorregamento de massa no qual o gasoduto Bolívia-Brasil está inserido, foi estudada com maior atenção.

A declividade é importante para o estudo de áreas instáveis, porque condiciona diretamente a deflagração de movimentos de massa, uma vez que o aumento do ângulo da encosta implica em uma diminuição do fator de segurança, conforme a equação de Coulomb (Guidicini e Nieble, 1984).

A equação de Coulomb trata da resistência ao cisalhamento do solo e é função de duas componentes:

- *Atrito interno* do solo que inclui o atrito físico entre as partículas e o *atrito fictício* devido ao entrosamento de suas partículas.

- *Coesão* do solo, que inclui *coesão aparente*, resultante das pressões capilares da água contida nos solos e a *coesão verdadeira*, proveniente das forças eletroquímicas de atração das partículas de argila.

Assim, a equação de Coulomb é:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \theta + c$$

onde:

$\tau$  = resistência ao cisalhamento

$\sigma$  = tensão normal ao plano

$c$  = coesão

$\theta$  = ângulo de atrito

A tensão cisalhante no solo ou em outro material inconsolidado geralmente aumenta com o aumento da declividade da encosta. Em declividades suaves, é esperada uma baixa frequência de deslizamentos, devido às baixas tensões de cisalhamento associadas aos baixos gradientes.

Diversos estudos ao redor do mundo mostram que o maior número de movimentos de massas não estão associados necessariamente às encostas mais íngrimes. Eles estão relacionados à variação no tipo de cobertura vegetal e ao fato de que nas encostas íngrimes os solos já teriam sido removidos por movimentos anteriores.

A utilização dos dados de sensoriamento remoto contribui para distinguir os diferentes tipos de solo, vegetação e rochas. O uso de imagens de alta resolução traduz-se numa melhor compreensão dos fatores que geram o movimento de massa, e possibilitam estudos para a mitigação desse problema, que ocasiona anualmente milhares de perdas, humanas e econômicas.

### 3. METODOLOGIA

O trabalho está sendo desenvolvido por meio do processamento de imagens de satélite multiespectrais do satélite LANDSAT, disponibilizadas no site do INPE e imagens do satélite Spot e da DigitalGlobe, disponibilizadas por meio da utilização do software Google Earth. As imagens altimétricas do SRTM estão disponibilizadas no site da Embrapa e mapas temáticos da geologia do estado, disponibilizados no site da CPRM. Os modelos altimétricos elaborados pelo Museu do Solo da Universidade Federal de Santa Maria também foram utilizados.

#### 3.1 PROGRAMAS

- A) Envi® 4.5 – programa para manipulação e processamento de imagens multiespectrais Landsat.
- B) ArcGIS® 9.3 – utilizado para criação de projeto e banco de dados geográficos. Esse banco de dados possibilita a manipulação espacial dos dados em camadas por meio do cruzamento dos dados, para a geração de mapas temáticos.
- C) Garmin Map Source – programa para manipulação dos traçados de pontos e rotas adquiridos em campo por meio do equipamento GPS - Garmin.
- D) Google Earth® - programa desenvolvido pela Google Inc®, utilizado para a visualização de imagens de alta resolução proveniente dos satélites da DigitalGlobe®.

#### 3.2 EQUIPAMENTOS

Garmin GPS – utilizado em saída de campo para levantamento de coordenadas georreferenciadas.

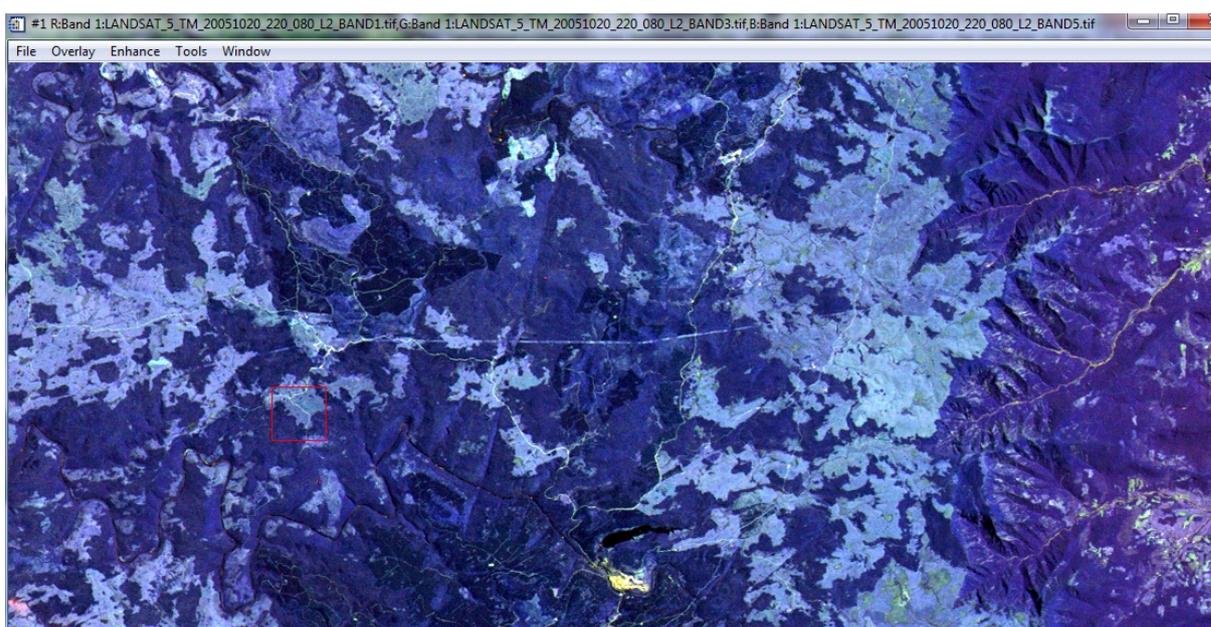
Processador de imagens e de dados numéricos para geração de MNT – Modelo Numérico de Terreno.

### 3.3 MÉTODOS

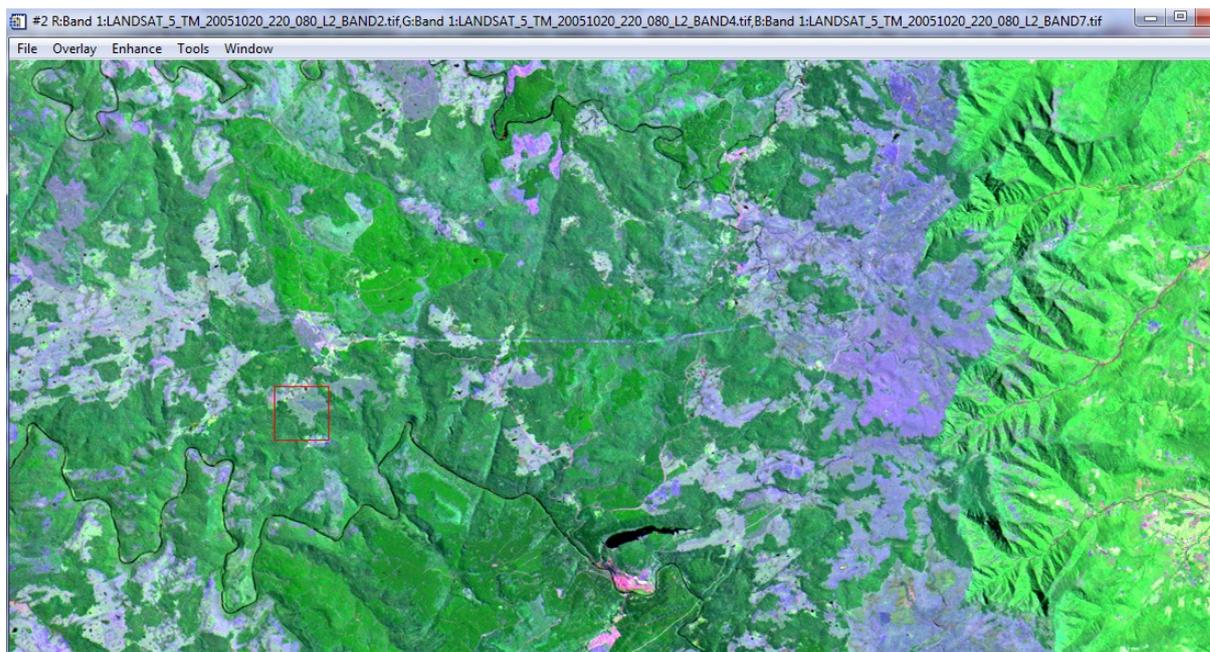
#### 3.3.1 Processamento de Imagem Multiespectral

Os dados de sensoriamento remoto, obtidos por satélites, correspondem a diferentes respostas espectrais resultantes da interação dos objetos terrestres ao serem atingidos pela Radiação Eletromagnética (REM) ao longo do espectro eletromagnético (regiões dos comprimentos de onda do visível, do infravermelho próximo, do infravermelho de ondas curtas e do infravermelho termal). Assim se obtém respostas diferentes para os solos expostos, para a vegetação e para os corpos d'água que ocorrem na superfície terrestre. Logo, a parcela da REM refletida e/ou emitida ao ser sequencialmente registrada gera as imagens multiespectrais analisadas neste trabalho. Essas imagens serão processadas com o objetivo de determinar o uso e a ocupação do solo, além da morfologia do terreno nas regiões onde localiza-se o gasoduto Bolívia-Brasil visando definir as áreas suscetíveis a escorregamento de massa.

O processamento dessas imagens é feito no programa Envi 4.5, permitindo a visualização, nas imagens Landsat, do gasoduto em toda a sua extensão onde se verificará áreas vulneráveis a movimentos de massas. Fig. 2 e 3.



**Figura 2 - Imagem Landsat, processada no programa Envi 4.5, mostra na linha horizontal no meio da imagem o gasoduto passado por uma imensa falha.**



**Figura 3 - Imagem Landsat, processada no programa Envi 4.5, usando bandas diferentes, podemos destacar melhor a falha, pela qual cruza o gasoduto.**

Como demonstrado pelas figuras 2 e 3, o processamento das imagens no programa Envi 4.5, possibilita gerar diferentes composições coloridas, de forma a salientar alvos específicos como solo exposto, vegetação, rochas e assim identificar áreas suscetíveis ao escorregamento de massa.

### 3.3.2 ArcGIS 9.3

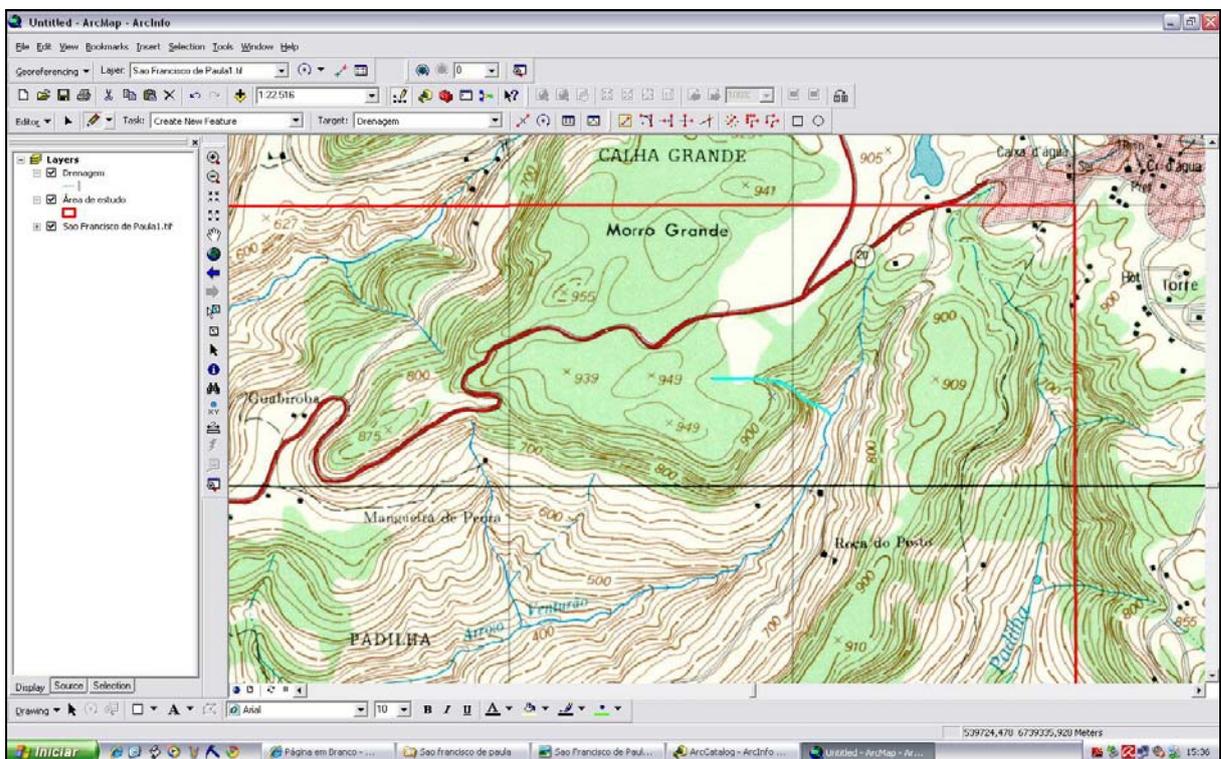
A utilização do software ArcGis 9.3 possibilita realizar a disponibilidade das informações, quais sejam, cartas do exército, imagens de satélite, pontos de campo etc, na forma de camadas. Esta organização de dados facilita a criação de um banco de dados para a manipulação dessas informações e geração de mapas temáticos.

Neste projeto as áreas de estudo localizadas nas cartas do exército na escala 1:50000 e vistoriadas em campo, estão sendo digitalizadas no ArcGIS. Assim, por meio de processamento de dados altimétricos e a geração de um modelo de elevação tornará possível determinar aquelas que correspondem às áreas de maior declividade, ao longo da posição do

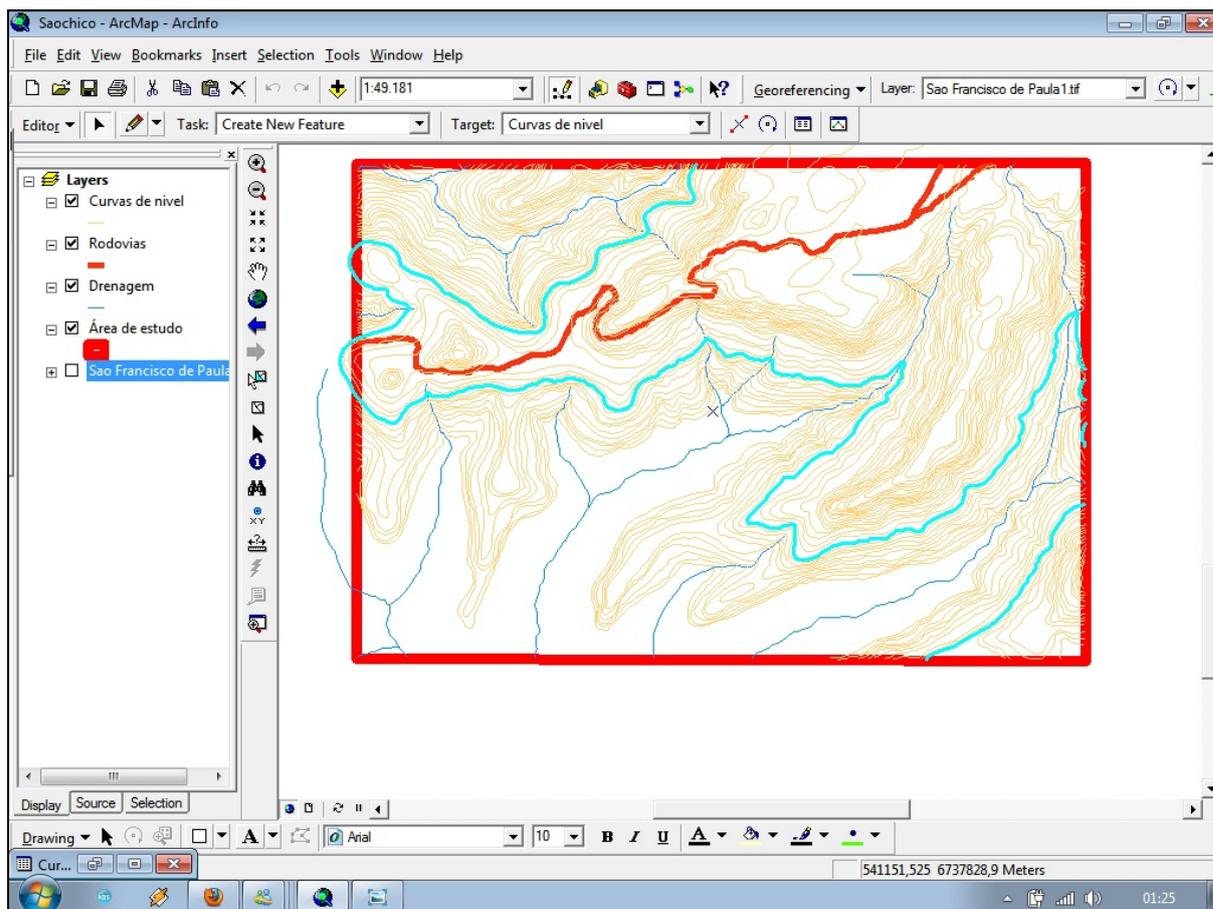
gasoduto, e demonstrar o potencial de risco de movimentos de massa e possível rompimento do gasoduto.

Os procedimentos necessários nesta etapa são descritos como segue:

Primeiro ocorre a digitalização da carta por meio de um scanner. Com a carta no banco de dados do projeto, no ArcGis, faz-se o georreferenciamento e a digitalização das informações contidas na carta, como drenagens, curvas de níveis, estradas e demais informações úteis ao projeto. Fig 4 e 5.



**Figura 4 - Carta digitalizada na escala 1:50.000.**



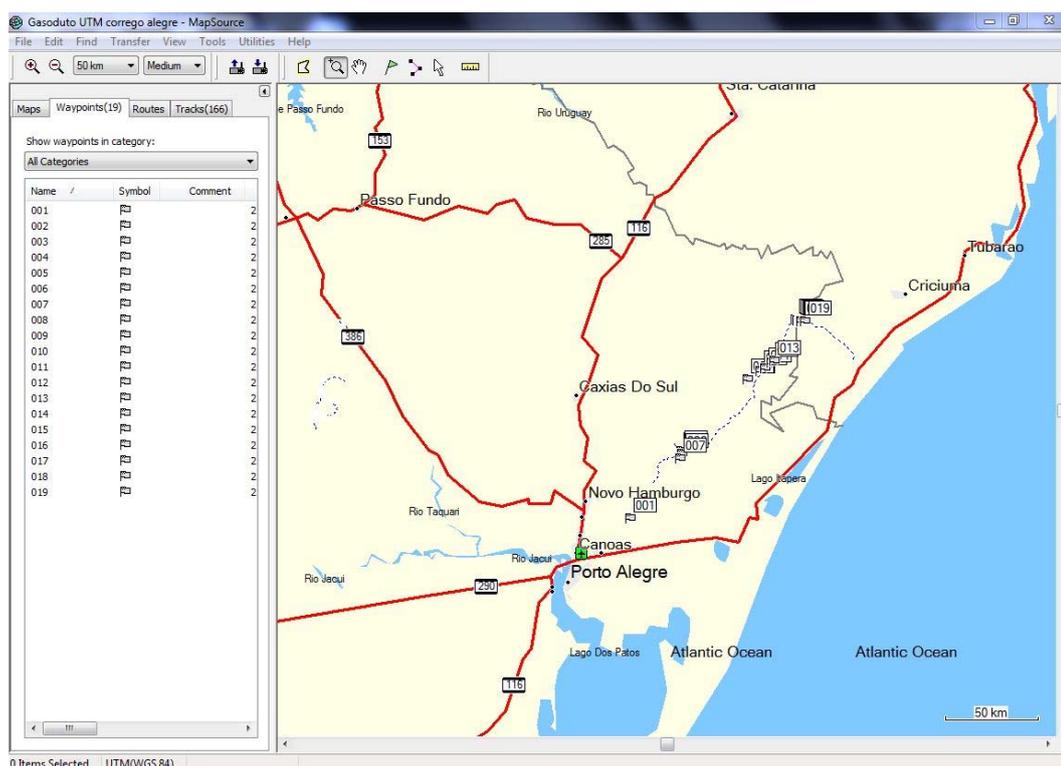
**Figura 5 - Elementos da carta digitalizados.**

Nessa fase, é necessário cuidado para a digitalização certa dos elementos da carta, para que a plotagem dos pontos de campo seja feita com eficiência e precisão.

Nesse caso utilizamos o DATUM Córrego Alegre, para fazer as georreferências de todas as cartas, pontos de GPS e imagens utilizadas para o projeto.

### 3.3.3 Garmin MapSource

Com o Garmin MapSource é possível extrair os pontos do aparelho GPS para incluí-los no banco de dados do ArcGis e plotar esses pontos na carta e nos mapas temáticos (Fig. 6). Nesse ponto é necessário prestar atenção ao Datum adotado em todo o trabalho, que foi o Córrego Alegre, para que não ocorra erro de plotagem que ocasionará mapas distorcidos e objetos com coordenadas irreais.



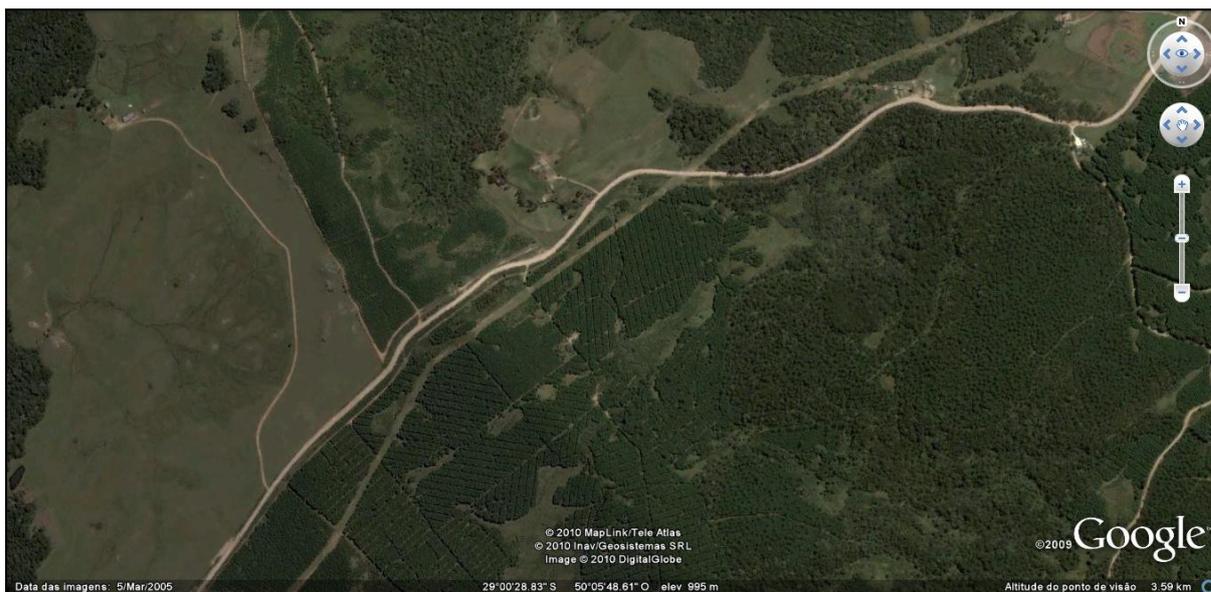
**Figura 6 - Garmin MapSource com pontos de campo plotados.**

### 3.3.4 'Google Earth'

A utilização de imagens do Google Earth, neste trabalho deve-se a alta resolução espacial dessas imagens. Essas imagens foram realizadas pela DigitalGlobe, em sua maioria e disponibilizadas pelo Google em seu software devido a parcerias com essas empresas imageadoras. O uso dessas imagens é importante pelo fato de apresentarem uma resposta de excelente qualidade para a observação de objetos, nesse caso, o Gasoduto Bolívia-Brasil (Figura 7).

No entanto, o uso das imagens do Google Earth é restrito, uma vez que imagens de alta resolução apresentam um custo elevado de aquisição, e pelo fato do Google Earth tratar-se de um software gratuito, as imagens apresentadas nele são no formato JPG, o que impossibilita processamento das mesmas em programas como o ENVI.

Entretanto, as imagens extraídas do Google Earth podem ser georreferenciadas em softwares como o ArcGIS, possibilitando que elas façam parte da base de dados para a criação de mapas temáticos das áreas de risco ambiental, nas quais acenta-se o gasoduto Bolívia-Brasil.



**Figura 7 - Imagem do Google Earth mostrando o gasoduto (faixa entre a mata).**

Em versão mais recente, o Google Earth possibilitou a importação de dados de GPS, facilitando assim, a manipulação de dados de campo e um melhor uso da imagem em softwares geradores de banco de dados e mapas temáticos conforme comentado anteriormente (figura 8).

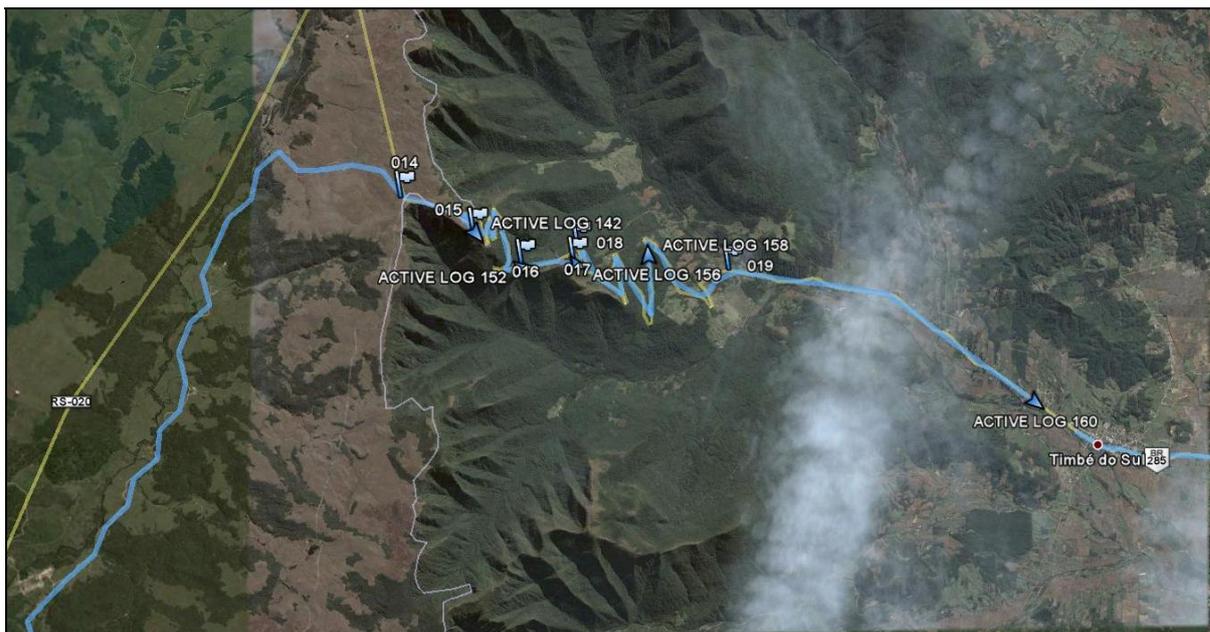


Figura 8 - Imagem do Google Earth com os pontos de GPS plotados.

### 3.3.5 Montagem da Base de Dados

A montagem da base de dados constitui um importante processo na realização deste trabalho, uma vez que permite reunir as informações necessárias para a análise geomorfológica. Tendo-se como base, no mapa geológico, o mapa com a compartimentação morfoestrutural associados ao uso de imagens SRTM, para a geração do modelo digital de elevação (DEM), obteve-se as informações nas três dimensões espaciais (x, y e z).

### Base Geológica do Rio Grande do Sul

A base geológica pode ser adquirida no site do Serviço Geológico do Brasil – CPRM: < [HTTP://www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br) >. Nessa página encontramos o “GEOBANK”, do qual podemos realizar o download dos arquivos vetoriais da base geológica (fig. 9, 10 e 11).

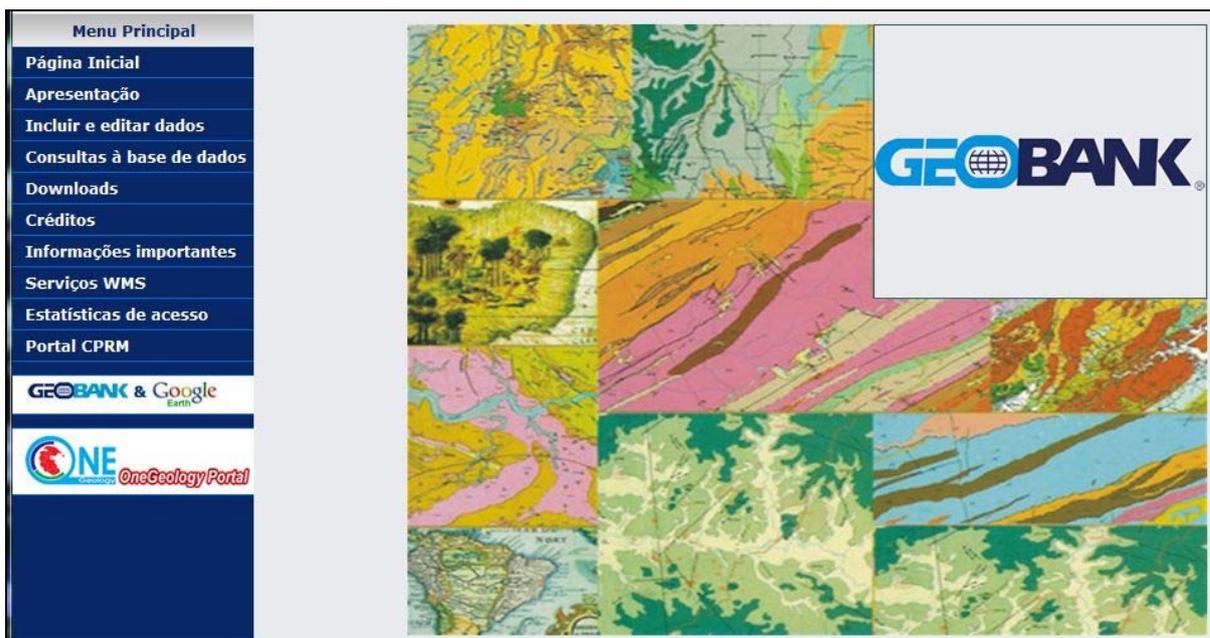


Figura 9 - abertura do GEOBANK no site da CPRM.

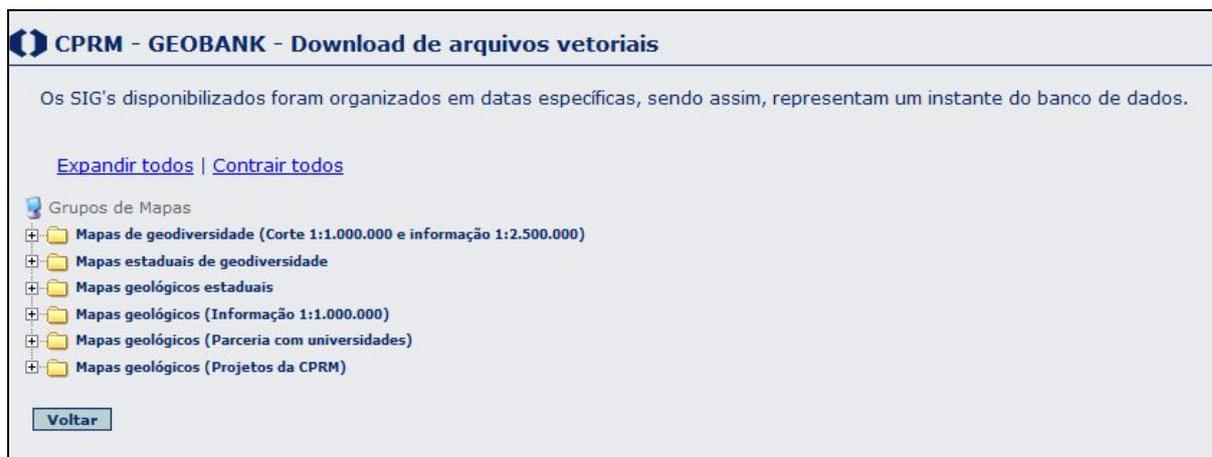


Figura 10 - Arquivos vetoriais da base de dados da CPRM, dentro do GEOBANK.



Figura 11 - Mapas geológicos estaduais disponíveis no GEOBANK.

## Imagens SRTM

As imagens SRTM, utilizadas para a realização dos mapas altimétricos e de declividade, foram obtidas no site da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária).



Figura 12 - Site da Embrapa no qual é possível adquirir as imagens SRTM.

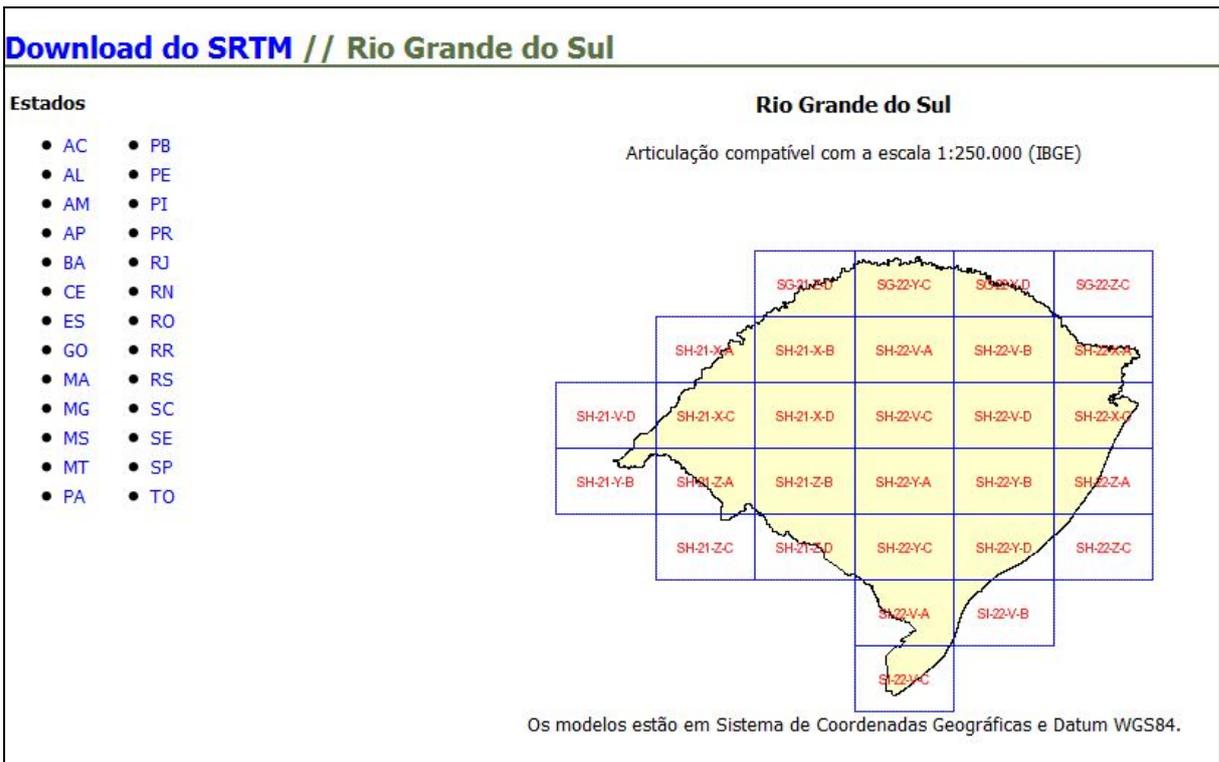


Figura 13 - Imagens SRTM do estado do Rio Grande do Sul.



**Figura 14 - Imagem SRTM utilizada para a base de dados do projeto.**

### 3.4 SAÍDA DE CAMPO

O levantamento dos dados em campo foi realizado nos dias 06 e 07 de maio do presente ano tendo como objetivo o mapeamento dos locais suscetíveis a escorregamento de massa ao longo das áreas nas quais o gasoduto GASBOL está instalado.

O trecho percorrido iniciou em Porto Alegre finalizando junto a Serra da Rocinha, município de Cambará do Sul, na divisa do estado do Rio Grande do Sul com o estado de Santa Catarina. Nesta área, na subida do gasoduto pela Serra da Rocinha, foram localizados os pontos de maior suscetibilidade e interesse. Além dessas áreas, nas proximidades da cidade de São Francisco de Paula, também o gasoduto percorre um caminho íngreme, descendo em direção a Parobé, próximo a Porto Alegre, figuras 15 e 16.



**Figura 15 - Imagem da passagem do gasoduto nas proximidades da cidade de São Francisco de Paula.**



**Figura 16 - Vista da Serra da Rocinha, local de mudança de nível do GASBOL, vindo de SC para o RS.**

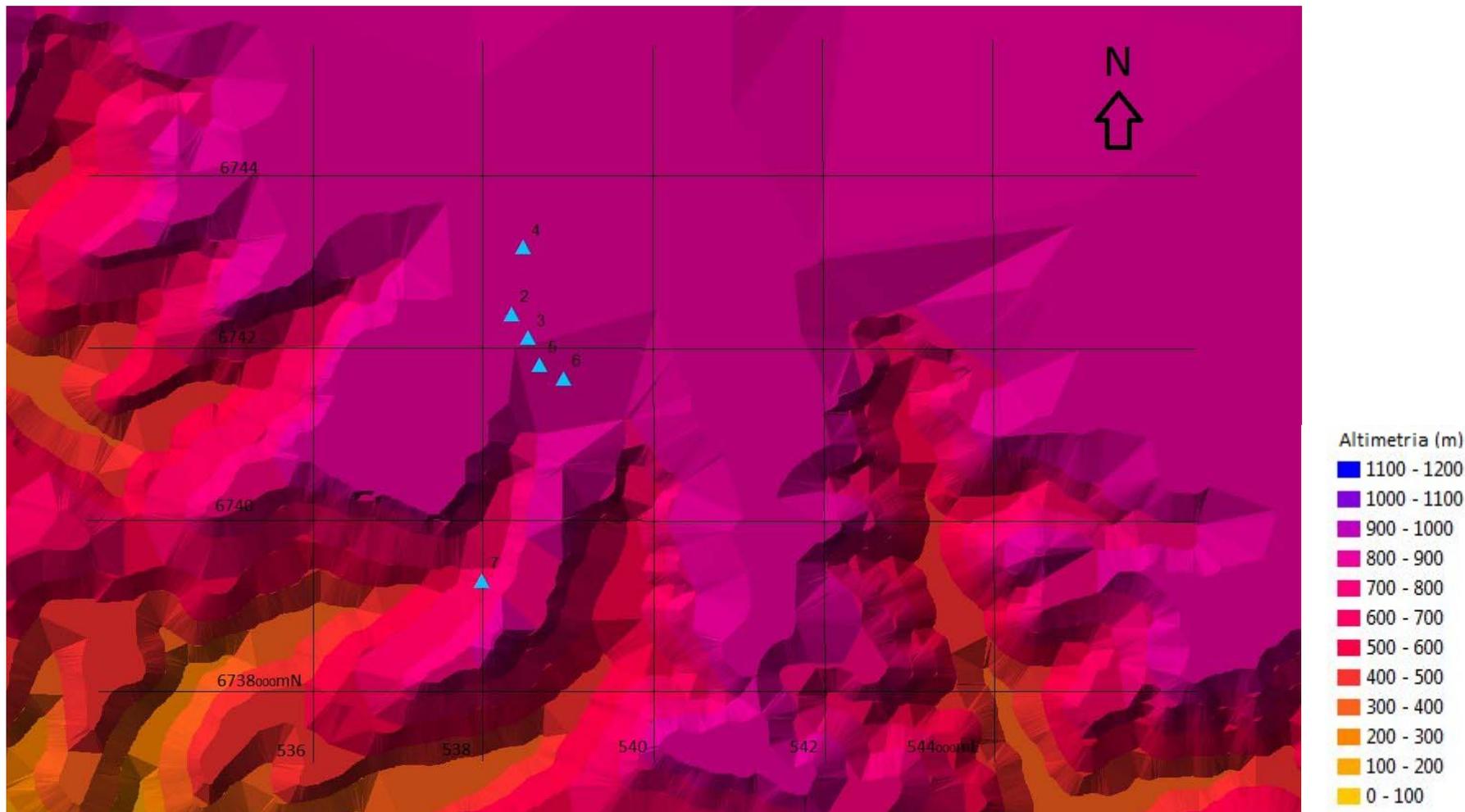
## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Representar e estudar a complexidade dos fatores relacionados aos movimentos de massa representa um grande desafio para os profissionais da área de ciências da terra. Muitas variáveis estão presentes para a ocorrência dos movimentos de massa, sejam elas descritivas de fenômenos naturais ou resultados da ação antrópica. Nesse trabalho está proposto a elaboração de um modelo conceitual com base em informações georreferenciadas, apoiadas pelo trabalho de reconhecimento das áreas suscetíveis ao movimento de massa em campo e que representam risco para o gasoduto Bolívia-Brasil e seu entorno.

Assim, será apresentado o modelo conceitual da área de estudo quanto às suscetibilidades de ocorrência de movimento de massa, por meio da criação de mapas temáticos de altimetria e de declividade, de duas áreas identificadas em campo, como sendo as de maior risco.

### 4.1 MAPA DE ALTIMETRIA

O mapa temático com informações relativas à altimetria foi classificado em 12 classes hipsométricas (representação da elevação de um terreno através de cores), espaçadas de 100 em 100 metros. Na área a altimetria apresenta variações de 100 metros a 1200 metros acima do nível do mar. A representação de altimetria, da região de São Francisco de Paula, figura 17, demonstra a ocorrência de uma mudança brusca de nível altimétrico no local em que está instalado o gasoduto Bolívia-Brasil. Nesta figura 17, observa-se claramente a heterogeneidade do terreno, pois a curva, com cota 900 metros, distancia-se de poucos quilômetros de deslocamento para a cota 100 metros. As maiores altitudes, representadas ao norte da área (cor rosa), estão situadas entre as cotas 800 e 900 metros, local no qual está o município de São Francisco de Paula. Os pontos indicados na figura foram coletados por meio de GPS e localizam a passagem do gasoduto. Essas classes de maior altitude representam a maior parte da área de estudo.



**Figura 17 - Região de São Francisco de Paula, mudança brusca de nível.**

Na região da Serra da Rocinha, mais ao norte, na fronteira com o estado de Santa Catarina, outra área foi verificada em campo como de elevada suscetibilidade a movimentos de massa. Nesta área também ocorre um relevo de grande variação altimétrica (figura 18), abrangendo altitudes de 100 metros à 1200 metros de forma bastante brusca. Na maior altitude, entre 1000 e 1200 metros (azul escuro), localiza-se a região fisiográfica denominada “Altos de Cima da Serra”, próximos ao município de Cambará do Sul. Na porção inferior, com menor altitude, entre 100 m e 200 metros (amarelos), estão as regiões pertencentes ao estado de Santa Catarina. Os pontos plotados na figura 18, adquiridos por meio do GPS, permitem o acompanhamento da localização do gasoduto, mostrando a grande diferença de altitude existente no percurso.

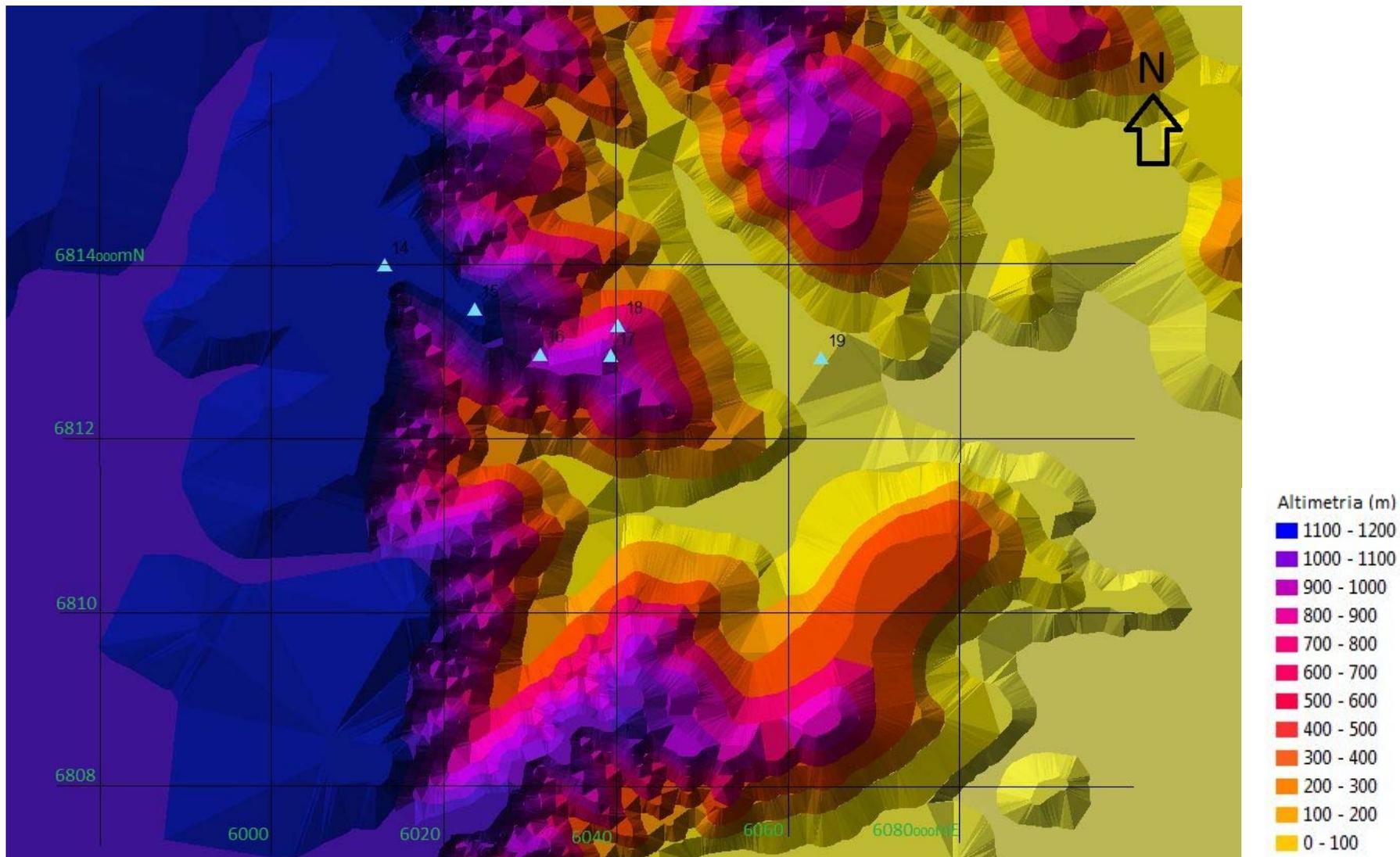
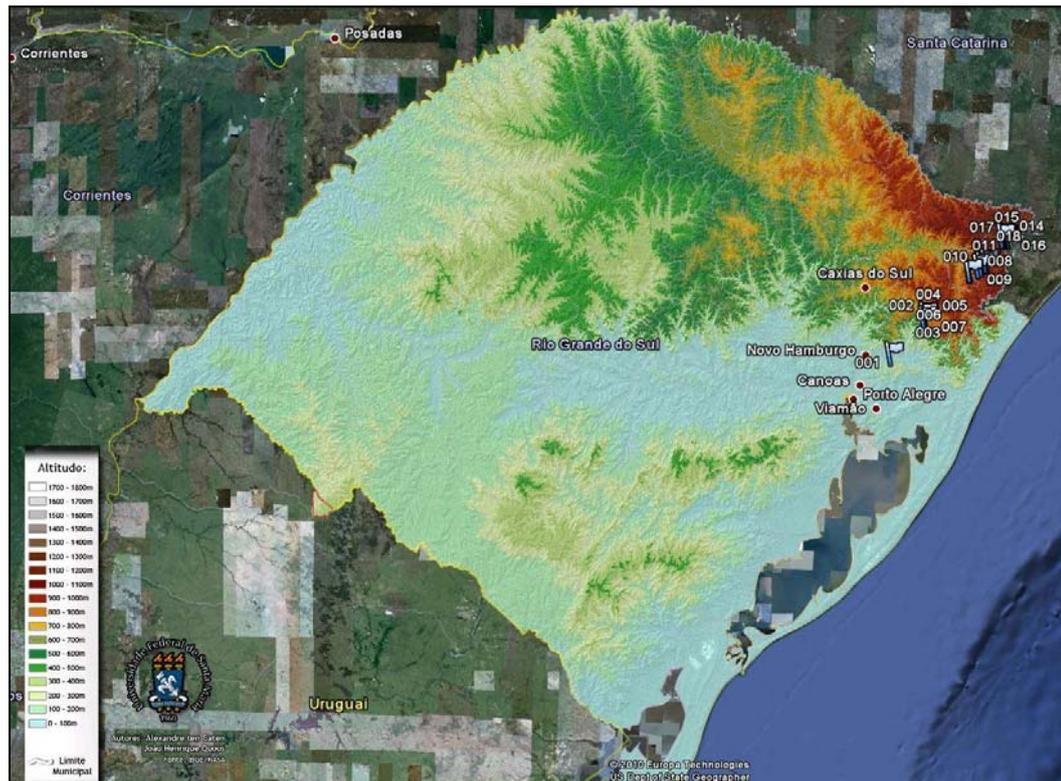
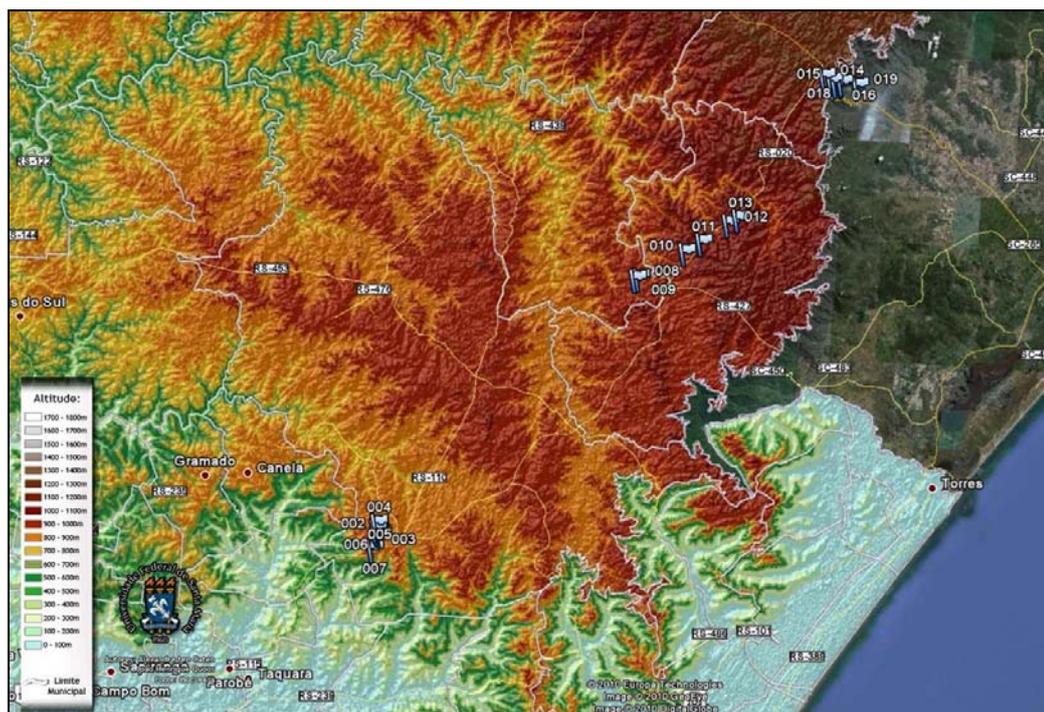


Figura 18 - Rápida variação no nível, indo da cota 1200 m para 100 m rapidamente.

O mapa altimétrico do estado do Rio Grande do Sul, figura 19, realizado pelo Museu do Solo da Universidade Federal de Santa Maria e disponível em extensão kml, para visualização no software Google Earth, permite a comparação dos níveis altimétricos do Estado do Rio Grande do Sul com os modelos gerados por este estudo.



**Figura 19 - Mapa de altimetria do RS elaborado pelo Museu do Solo da UFSM.**



**Figura 20 - Aproximação das áreas do estudo, com os pontos de GPS plotados sobre o mapa de altimetria do Museu do Solo (UFSM).**

O mapa altimétrico foi realizado a partir das imagens SRTM SH-22-X-A e SH-22-X-C, disponíveis no site da Embrapa (<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/>), por meio do software ArcGIS 9.3, usando a ferramenta 3D Analyst. Foram geradas as curvas de níveis com o comando Surface Analysis para posterior criação do TIN (Triangular Irregular Network). Esta é uma estrutura de grade triangular vetorial que representa a topologia do tipo nó-arco e que possibilita a representação de uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas. Cada vértice da face do triângulo armazena informações sobre a localização (x, y) e sobre os valores de altitude/elevação correspondente ao eixo z.

A edição do arquivo TIN, possibilitou a geração dos mapas hipsométricos apresentados anteriormente, das áreas de interesse. Esse mesmo processo é usado para a geração dos mapas de declividade.

## 4.2 MAPA DE DECLIVIDADE

Conforme estabelecido pela Embrapa (1995), no Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (figura 21), os mapas de declividade (figuras 22 e 23), foram elaborados por meio da geração de sete classes de declividade, com graus de limitação ao uso por suscetibilidade a erosão crescente, de acordo com o sistema da Embrapa.

Classes de declividade	Classificação	Grau de limitação	Considerações
0 a 3 %	Plano/praticamente plano	Nulo	Terras não suscetíveis à erosão. Geralmente ocorrem em solo plano ou quase plano e com boa permeabilidade. Quando cultivadas por 10 a 20 anos podem apresentar erosão ligeira, que pode ser controlada com práticas simples de manejo.
3 a 8 %	Suave ondulado	Ligeiro	Terras que apresentam pouca suscetibilidade à erosão. Geralmente possuem boas propriedades físicas. Quando utilizadas como lavouras por um período de 10 a 20 anos, mostram normalmente uma perda de 25% ou mais do horizonte superficial. Práticas conservacionistas simples podem prevenir contra esse tipo de erosão.
8 a 13 %	Moderadamente ondulado	Moderado	Terras que apresentam moderada suscetibilidade à erosão. Se utilizadas fora dos princípios conservacionistas, estas terras podem apresentar sulcos e voçorocas, requerendo práticas de controle à erosão desde o início de sua utilização agrícola.
13 a 20 %	Ondulado	Forte	Terras que apresentam forte suscetibilidade à erosão. Ocorrem em relevo ondulado a forte ondulado, com declive normalmente de 13 a 20%, os quais podem ser maiores ou menores, dependendo de suas condições físicas. Na maioria dos casos a prevenção à erosão depende de práticas intensivas de controle.
20 a 45 %	Forte ondulado	Muito forte	Terras com suscetibilidade maior que o grau forte, tendo o seu uso agrícola muito restrito. Na maioria dos casos o controle à erosão é dispendioso, podendo ser anti-econômico.
45 a 100 %	Montanhoso	Extremamente forte	Terras que apresentam severa suscetibilidade à erosão. Não são recomendáveis para o uso agrícola, sob pena de serem totalmente erodidos em poucos anos. Trata-se de terras onde deve ser estabelecida uma cobertura vegetal de preservação ambiental.
Mais de 100 %	Escarpado		Terras destinadas à preservação ambiental, conforme o Código Florestal Brasileiro.

**Figura 21 - Distribuição das classes de declividade de acordo com a classificação do relevo e o grau de limitação ao uso do solo. Fonte: Embrapa (1995).**

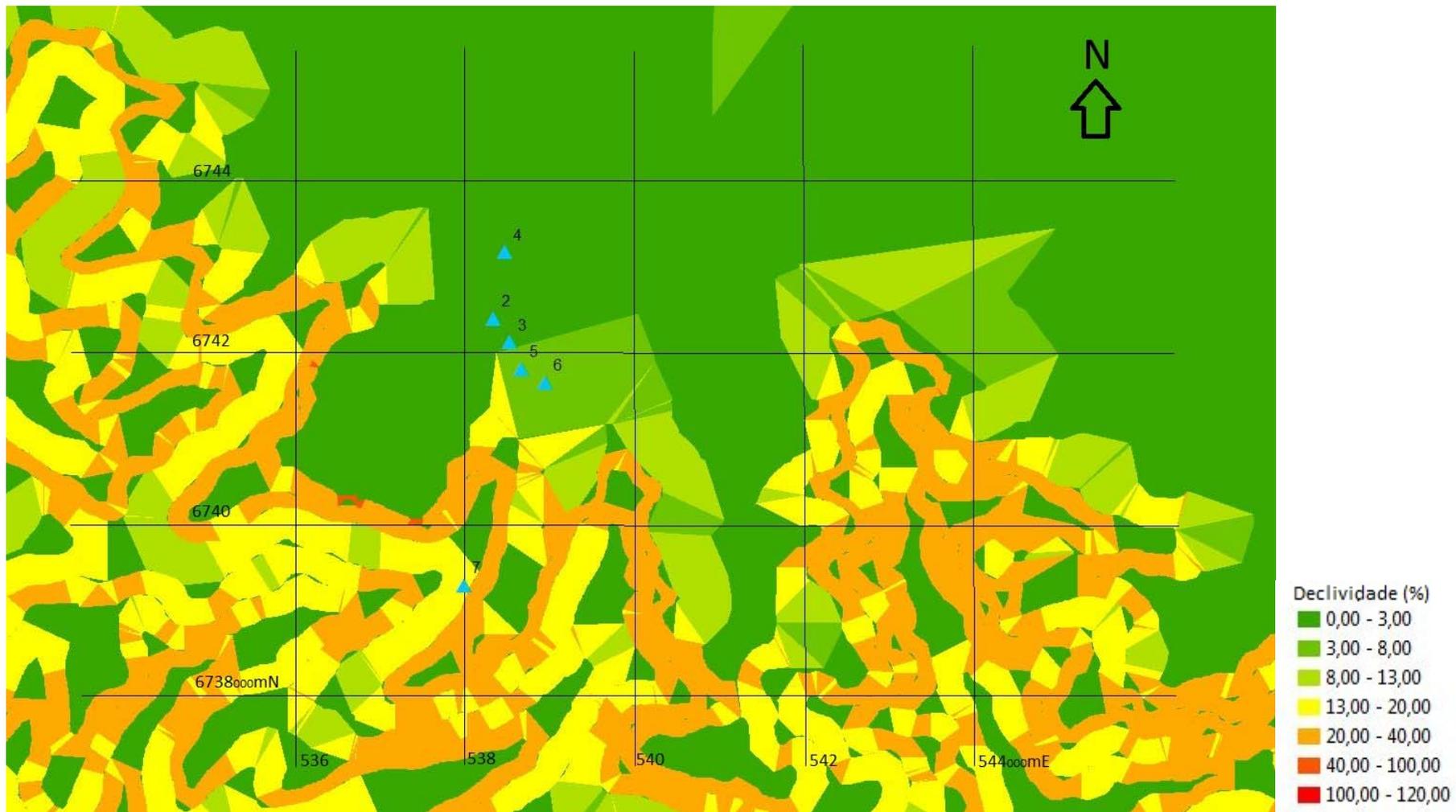


Figura 22 - Mapa de declividade da região de São Francisco de Paula.

Para a construção do mapa de declividade foi realizado uma edição do arquivo TIN (Triangular Irregular Network), anteriormente mencionado, no programa ArcGIS, no qual foi feito a classificação em diferentes intervalos de declividade, em porcentagem, para comparação com o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras, da Embrapa (1995).

A análise dos dados referentes à declividade revela um relevo bastante acidentado na figura 22, demonstrando que o gasoduto passa por um elevado desnível, de 13 a 20%, em relação a uma pequena distância horizontal quando inicia a descida em direção à cidade de Parobé. Convém ressaltar, que nesse trecho o gasoduto situa-se em uma região de mata, com poucas casas no seu entorno.

Em outros trechos esse desnível atinge uma taxa de 20 a 40%, o que denota uma classificação de terreno ondulado a fortemente ondulado, e um grau de limitação de forte a muito forte, respectivamente, conforme figura 21. Essa área apresenta uma forte suscetibilidade à erosão e o uso agrícola deve ser muito restrito, pois o controle à erosão torna-se dispendioso, podendo até mesmo, ser antieconômico.

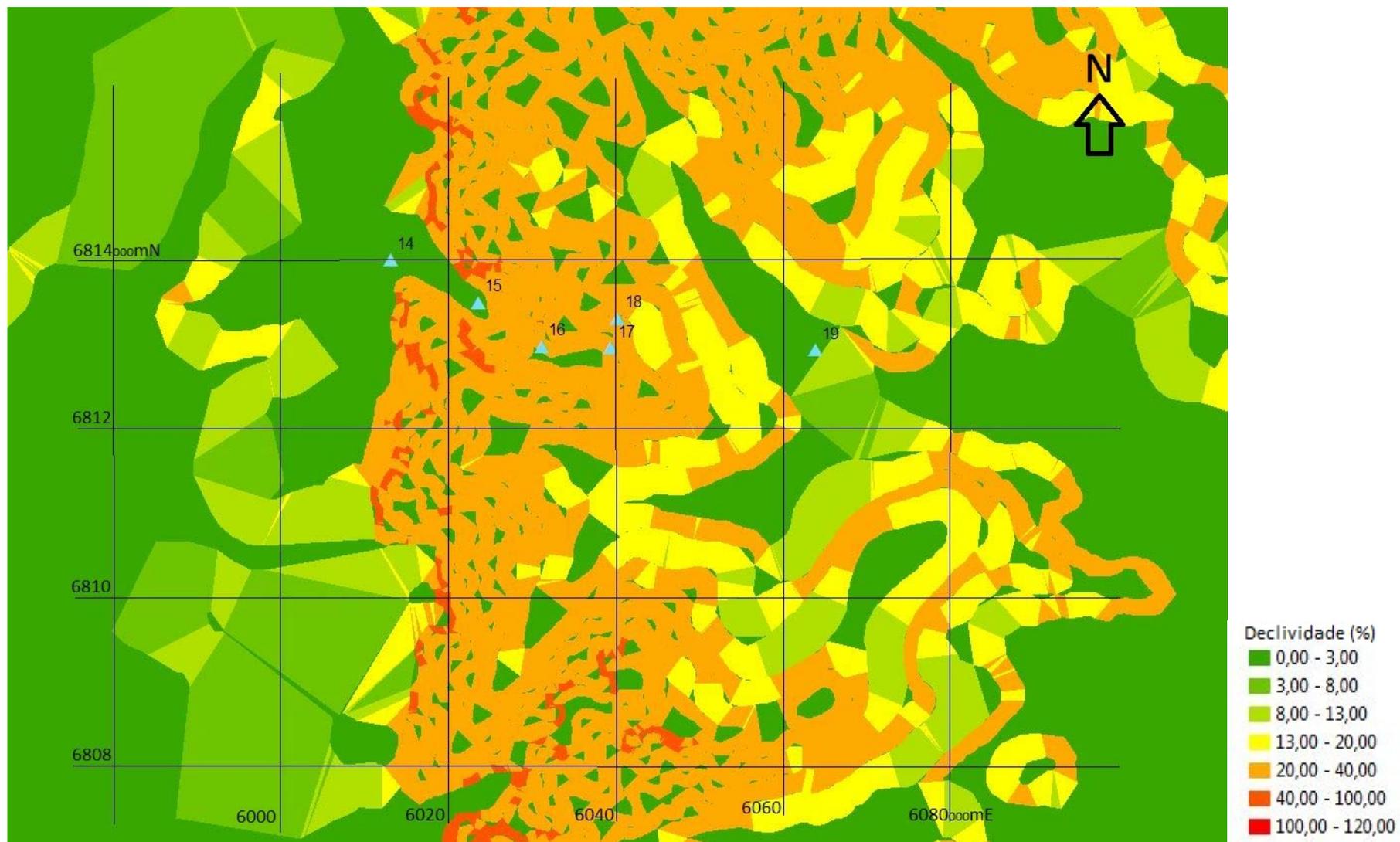


Figura 23 - Mapa de declividade da região da Serra da Rocinha, limite RS - SC.

Na região da Serra da Rocinha, divisa do estado do Rio Grande do Sul com o estado de Santa Catarina, ocorre ainda uma restrição maior. Com base na figura 23, podemos verificar que o gasoduto Bolívia-Brasil perpassa um terreno de relevo mais acentuado o qual apresenta uma declividade que varia de 20% a 40%. Segundo o sistema de classificação da Embrapa estes valores podem ser classificados como de forte ondulado, com grau de limitação muito forte. São terras com suscetibilidade maior e tendo um uso agrícola muito restrito além da inviabilidade econômica para contenção.

Nessa área pode-se observar um risco maior de movimento de massa, tanto devido à declividade acentuada, quanto ao fato do gasoduto seguir seu trajeto atravessando por diversas vezes, a estrada que liga a cidade de Cambará do Sul com a localidade do Turvo no estado de Santa Catarina.

### 4.3 MAPA GEOLÓGICO

O plano temático relativo à geologia compreende quatro classes distintas referentes aos quatro tipos litológicos existentes na região de estudo (figura 24, Fonte: CPRM):

1 – Form. Serra Geral – Unidade Caxias;

2 – Form. Serra Geral – Unidade Várzea do Cedro – caracteriza-se por derrames finos, de pequena extensão, compostos essencialmente por lavas vítreas, de cor preta, brilho graxo, aspecto resinoso, característicos de um *pitch-stone*. Litologicamente, características de rochas vítreas, destacam-se: fraturamento conchoidal formando textura pertítica, as vezes nucleada em arranjos microglomeroporfiríticos de feldspatos, clinopiroxênios do tipo pigeonita e opacos. Quimicamente correspondem aos termos mais ácidos do vulcanismo, caracterizando um magma de mais baixa temperatura, maior viscosidade, acarretando desenvolvimento de texturas de fluxo laminar heterogêneo e autobrechas, sistema *quenched* de cristalização.

3 – Form. Serra Geral – Unidade Gramado – tem sua área tipo ao longo da escarpa sul da Serra Geral, refere-se a um conjunto de derrames com espessura em torno de 300 metros que representam as primeiras manifestações vulcânicas sobre os sedimentos arenosos da Formação Botucatu. As rochas são derrames de basaltos maciços com espessuras entre 15 e



## 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi possível manipular informações cartográficas que se encontram disponíveis nos meios científicos referentes ao meio ambiente estudado. Essas informações relativas aos dados bibliográficos e aos dados de campo permitiram localizar, em cartas, as possíveis áreas cujas condições de segurança ambiental podem ser classificadas como frágeis aos escorregamentos de massa. Documentos cartográficos georreferenciados juntamente com as imagens multiespectrais permitiram a geração de modelos temáticos que representam as características fisiográficas dessas regiões a serem avaliadas com relação à suscetibilidade aos movimentos de massa.

A geração de mapas temáticos, realizada pela construção de bancos de dados georreferenciados possibilita a localização das áreas cujos processos geológicos-geomorfológicos são determinantes para a ocorrência de movimentos de massa.

Duas áreas foram assim localizadas e consideradas críticas por apresentarem elevados níveis altimétricos e declividades acentuadas, tornando-se por isso, áreas de maior probabilidade para ocorrência de movimentos de massa. Tendo em vista que, ao longo destas áreas está instalado o gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL) podemos classificá-las como de elevado risco tendo em vista a possibilidade de rompimento do mesmo, causando assim danos ambientais e problemas para as populações próximas.

Convém ressaltar aqui que, em outra região, embora um trecho do gasoduto se localize nas proximidades da cidade de Cambará do Sul, esse percurso apresenta-se em área de relevo suave e por isso não significativo para causar movimentos de massa.

Em toda a extensão do gasoduto, foi possível localizar marcos de sinalização bem visível e com poucos trechos nos quais os mesmos estavam danificados. Em toda sua extensão, a passagem do gasoduto está bem demarcada, com sinais na forma de pilastras pintadas de amarelo bem como com placas indicativas da sua presença, com números de telefones da administradora para casos de emergência.

Com isso concentrou-se os esforços nas áreas próximas à cidade de São Francisco de Paula e na região da Serra da Rocinha, que apresentam sérios riscos geológicos por apresentarem-se com níveis altimétricos elevados e declividades acentuadas.

Na área próxima a São Francisco de Paula, quando comparada aos dados do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras, da Embrapa (1995), verifica-se que o gasoduto passa por um elevado desnível, de 13 a 20%, em relação a uma pequena distância horizontal

quando inicia a descida em direção à cidade de Parobé, resultando em um terreno ondulado com forte grau de limitação para uso do solo.

O levantamento na região da Serra da Rocinha revela um terreno que é classificado como fortemente ondulado com grau de limitação de uso do solo muito forte, uma vez que essa região apresenta declividade na faixa de 20 a 40%.

O sensoriamento remoto e o geoprocessamento possibilitaram uma visão ampla dos processos geológicos atuantes na superfície terrestre, da região estudada, tornando-se assim ferramentas importantes na construção de modelos conceituais baseados em informações georreferenciadas. Essas informações darão suporte à tomada de decisões, uma vez que auxiliam na caracterização dos condicionantes geológicos-geomorfológicos atuantes nos processos de movimento de massa.

Com esse trabalho verificamos que o gasoduto Bolívia-Brasil encontra-se, dentro do estado do Rio Grande do Sul, com alguns trechos de sua extensão, em áreas suscetíveis a escorregamento de massa. Assim, faz-se necessário um constante monitoramento das condições do mesmo, evitando o seu rompimento. Acidentes que venha a ocorrer nestas regiões poderão causar danos ambientais e riscos para as populações assentadas nestas regiões

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRÓSTA, Álvaro Penteado. 1992. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP: IG/UNICAMP.

DIAS, F.P.; HERRMANN, M.L.P. 2002. **Análise da Susceptibilidade a Deslizamentos no Bairro Saco Grande, Florianópolis-SC**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra, v.21(1), p.91-104.

GUDICINI, G.; NIEBLE, C.M. 1984. **Estabilidade de taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: Edgard Blucher, 2<sup>a</sup>ed., 194p.

MAIO, Celeste. Rodrigues. 1980. Divisões Morfoclimáticas do Brasil. In: GUSMÃO, Rivaldo Pinto. et al. 1980. **Diagnóstico Brasil: a ocupação do território e o meio ambiente**. Rio de Janeiro: IBGE.

MILNER, S.C., A.R. Duncan, A.M. Whittingham, and A. Ewart, **Trans-Atlantic correlation of eruptive sequences and individual silicic units within the Paraná-Etendeka igneous province**, Journal of Volcanology and Geothermal Research 69, 137-157, 1995.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 19 nov. 2010.

MONGUILHOTT, Michele. 2008. Estudo de áreas suscetíveis a movimentos de massa na rodovia RS/486 – Rota do Sol/RS. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

MOURA, Ana Clara Mourão. 2003. **Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano**. Belo Horizonte, MG: Ed. da autora.

MÜLLER FILHO, Ivo Lauro. 1970. **Notas para o Estudo da Geomorfologia do Rio Grande do Sul, Brasil**. Publicação Especial n.1. Santa Maria, RS: Imprensa Universitária/UFSM.

NIELSEN, Shirley Dini. 1994. Geomorfologia da Bacia do Rio Gravataí – RS. In: **Programa Técnico para o Gerenciamento da Região Metropolitana de Porto Alegre – PROTEGER**. Porto Alegre: [S.n.]; v. 1, p. 18.

NOVO, Evlyn M. L. de Moraes. 1992. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2.ed. São José dos Campos, SP: Editora Edgard Blücher LTDA.

SHARPE, C.F.S. 1938. **Landslides and related phenomena**. Columbia University press, New York.

SILVA, Jorge Xavier da. ZAIDAN, Ricardo Tavares. 2004. **Geoprocessamento e Análise Ambiental: Aplicações**. Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil.

SILVA, M.A.S.; MEDEIROS, J.S.; MONTEIRO, A.M.V.; CREPANI, E. 2002. **Computação Inteligente e Sistemas de Informação Geográfica na Análise Espacial: Estudo da Vulnerabilidade aos Movimentos de Massa no Município de Caraguatatuba-SP, através da Lógica Nebulosa**. Anais. I Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Aracajú/SE, 4p.

VANACÔR, Roberto Nunes. 2006. Sensoriamento e Geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

VARNES, D.J. 1978. Slope movement and types and process. In: R.L. SCHUSTER; R.J. KRIZEK (Eds.) **Landslides: Analysis and control**. Transportation Research Board Special Report 176. National Academy of Science, Washington DC, p. 11-33.

VARNES, D.J. 1984. Landslide Hazard Zonation – A Review of the Principles and Practice. International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Movements on Slopes. UNESCO, Natural Hazards Series, n.3, 63p.