



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



Trabalho de Formatura
Curso de Graduação em Geologia

ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS DE ESCORREGAMENTOS POR MEIO DE
IMAGENS GEOEYE EM TRECHO DA FAIXA DE DUTOS RIO DE JANEIRO – BELO
HORIZONTE.

Camila Amélia Coelho da Silva

Prof(a).Dr(a). Paulina Setti Riedel (orientadora)

Rio Claro (SP)

2012

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro (SP)

ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS DE ESCORREGAMENTOS POR MEIO
DE IMAGENS GEOEYE EM TRECHO DA FAIXA DE DUTOS RIO DE
JANEIRO – BELO HORIZONTE.

CAMILA AMÉLIA COELHO DA SILVA

Orientadora: Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

“Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, campus de Rio Claro, como parte das exigências para o cumprimento da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso no ano letivo de 2012”

Rio Claro – SP
2012

621.3678 Silva, Camila Amélia Coelho da
S586a Análise das ocorrências de escorregamentos por meio de imagens
Geoeye em trecho da faixa de dutos Rio de Janeiro – Belo Horizonte /
Camila Amélia Coelho da Silva. - Rio Claro : [s.n.], 2012
63 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade Estadual
Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Paulina Setti Riedel

1. Sensoriamento remoto. 2. Imagens de alta resolução espacial. 3.
Movimentos de massa. 4. Monitoramento de dutos. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

CAMILA AMÉLIA COELHO DA SILVA

ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS DE
ESCORREGAMENTOS POR MEIO DE IMAGENS
GEOEYE EM TRECHO DA FAIXA DE DUTOS RIO DE
JANEIRO – BELO HORIZONTE.

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Comissão Examinadora

Paulina Setti Riedel (orientadora)

Mara Lúcia Marques

Marcelo Elias Delaneze

Rio Claro, 11 de dezembro de 2012.

*À minha mãe Roseli
e aos meus avós Terezinha e Geraldo.*

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus, por iluminar e guiar meus caminhos e decisões, e me amparar nos momentos de maior dificuldade.

Agradeço à minha mãe Roseli, pelo apoio incondicional, por acreditar em mim e me incentivar nos momentos de fraqueza. Obrigada por cada palavra e conselho, por cada abraço e sorriso. Te amo!

Aos meus avós Terezinha e Geraldo, por serem mais que avós, serem anjos em minha vida. Obrigada pela preocupação, por todo o carinho e apoio. Agradeço às tias Sueli, Ederli, Vandí, ao tio Vicente, e aos primos Bruna, Matheus, Victor, Mariana, Gabriel, Heitor, Arthur e Yuri. Obrigada pelos momentos de união e alegria, e por sempre torcerem por mim. Amo todos vocês!

Agradeço à Profa. Paulina, que foi mais que uma orientadora, foi uma mãe. Uma pessoa maravilhosa e admirável, que ama o que faz, e que sempre esteve disposta a me ajudar e compartilhar os seus conhecimentos. Obrigada pelo seu incentivo, conselhos e ensinamentos no desenvolvimento deste trabalho e de todos os outros.

Agradeço também ao pessoal do laboratório de geoprocessamento: Darlene, Mateus, Mara, Marcelo, Rodrigo e Sílvia, e a sempre querida Thais, pela amizade, aprendizagem e pelos momentos de descontração. Em especial, ao Mateus, Marcelo e Mara pela paciência e disposição em me ajudar, e também à Darlene, por todo apoio!

Agradeço ao apoio financeiro da Petrobras e do CNPq.

Aos meus queridíssimos e amados amigos. À Manguinha, uma fofura de pessoa, por ser minha irmã e vizinha, obrigada por sempre estar disposta a me escutar e ajudar. Ao Parceiro, sempre prestativo, meu irmão, meu amigo, meu parceiro de dança, obrigada pelo seu bom humor e apoio. À Camis, um doce de pessoa, minha mais que irmã, além de xará, obrigada pelas conversas e conselhos. À Má, sempre carinhosa, além de amiga é irmã, filha e mãe, obrigada pelas conversas, choros e risadas, e que mesmo de tão longe nunca deixou de estar presente. Só tenho a agradecer a vocês quatro, por esses cinco anos de amizade, de convivência, de cinemas, de almoços e por partilharem comigo de tristezas e alegrias. Amo vocês!

Agradeço à Camilinha por ser tão amiga e companheira. À Cremes por ser uma pessoa verdadeira e por ser uma amiga tão especial. À Nay sempre disposta a ajudar, obrigada por me acolher na sua casa e por todo carinho. À Naty sempre engraçada, obrigada pela amizade, por me acolher também em sua casa e pela experiência inesquecível da nossa primeira viagem de avião! À Katita, agradeço pela amizade e carinho, e que nem a distância Brasil-Angola apague nossa grande amizade. Agradeço também à Cabocla pelas conversas e caronas. À Caju

pela disposição em ajudar, conversar e pelas idas ao Mc para desestressar, e à Jú pela amizade e conversas. A todas vocês, meninas, obrigada pelas maravilhosas risadas, papos e incentivo.

Agradeço ao meu eterno companheiro de campo, Presunto, pela grande paciência que teve comigo e pela amizade. Aqui cito novamente a Katita, que fez da nossa dupla de três um divertimento! Obrigada aos dois por dividirem comigo seus conhecimentos e pelo companheirismo.

Agradeço à minha turma Geovárzea: Amanda Catharina (Manguinha), Antônio Mello (Stopa), Bruno Baptistella (Mormaço/Parceiro), Bruno Venâncio (Kiko), Camila Massaro (Camis), Carolina Matumoto (Caju), Cíntia Fernandes (Valdívia), Daniel Marinzek (Alemão), Danilo Gonçalves (Maisena), Felipe Seguin (Merdingha), Juliane Prado (Jú), Luis Fernando Cordido (Abu), Maria Luiza Carvalho (Malu), Mariana Diniz (Má), Pedro Foster (Bolacha), Rafael Caixeta (Buraco), Ramon Lourenço (Presunto), Robson Rollo (Xorume), Stefanie Aurelio (Cremes), Thiago Rodrigues (Queixo), Vanessa Pimenta (Cabocla) e Wagner Oliveira. E aos agregados: Camila Bittencourt (Camilinha), Celine Coutinho (Dion), Gláucia Chaguri, Julio Silva (Julião), Kátia Cortez (Katita), Larissa Lobo (Loba), Mariana Savietto (Mari), Natália Almeida (Naty), Nayara Pazzini (Nay) e Sérgio Toledo (Modelo). Muito obrigada por esses cinco anos de convivência, pelo companheirismo nas viagens, pela troca de experiências. Com vocês eu faria tudo de novo! Hehehehe... Sucesso a todos!

Um muito obrigada a todos os professores, por compartilharem de seus conhecimentos e pela disposição em ensinar. Ao Prof. Zaine, agradeço pelo seu apoio e conselhos.

Aos meus queridos veteranos: Bruna Pellegrini, Paola Arab, Adriano Delgado, Christiano Ng, Érika Sartori, Milena Rosa e José Antônio Assis. Obrigada pelas conversas, esclarecimentos e por sempre me ajudarem nos momentos em que precisei. Em especial, agradeço à Bruna pela grande amizade, obrigada pelas conversas, visitas, choros e risos!

Agradeço às minhas vizinhas de kit, que fizeram da minha estadia em Rio Claro ser mais agradável. Em especial à Cris, obrigada pela sua amizade, pelos conselhos e conversas, e à Cibele pelos nossos diversos papos!

Agradeço aos meus amigos do Guaçu, representados aqui por: Iago, Rafa, Gi, Adriana, Stéfanie, Stela, Lucas, Fernandinho, Rodolpho, Adriano, Tomaz, Robson e André. Obrigada pela amizade, conversas, cantorias, risadas e viagens. Agradeço também a toda minha comunidade. Obrigada por sempre rezarem por mim, pelos conselhos, pelo amor e pelo acolhimento.

Agradeço à Laila, Lucas e a Juliana que mesmo distantes continuam queridos amigos.

Por fim, a todos os que direta e indiretamente foram importantes durante esse período, deixo aqui meus sinceros agradecimentos!

“Bom mesmo é ir a luta com determinação, abraçar a vida e viver com paixão, perder com classe e vencer com ousadia, pois o triunfo pertence a quem se atreve e a vida é muito bela para ser insignificante.”

(CHARLIE CHAPLIN)

Resumo

A análise dos processos naturais, como escorregamentos, tem grande importância na prevenção de acidentes em dutos, pois podem comprometer a sua segurança, com sérias implicações sociais e ambientais. Considerando as grandes dimensões territoriais que os dutos abrangem, o sensoriamento remoto mostra-se uma ferramenta de grande aplicabilidade para a aquisição de dados, pois possibilita analisar extensas áreas em regulares períodos de tempo. Este trabalho tem como objetivo analisar as relações entre as ocorrências de escorregamentos e os seus condicionantes naturais, em um trecho do duto ORBEL, localizado nos municípios de Duque de Caxias, Nova Iguaçu e Belford Roxo - Rio de Janeiro. Foram utilizadas imagens do sistema sensor GeoEye, com resolução espacial de 0,5 m, referentes aos meses de novembro/2009, janeiro/2010 e março/2010, período de chuvas de verão. As etapas de trabalho envolveram a caracterização da área de estudo e dos escorregamentos existentes, por meio de levantamento de dados bibliográficos; a aplicação de técnicas de interpretação visual na extração das cicatrizes e fraturas; elaboração dos mapas relativos aos condicionantes dos escorregamentos e elaboração do mapa de suscetibilidade ao escorregamento. Na imagem de novembro apenas três cicatrizes de escorregamentos foram extraídas, enquanto em janeiro foram 166 e em março 111. Dificuldades com o sombreamento nas imagens foram encontradas. A partir da relação entre cicatrizes e unidades litológicas, sistemas de relevo, declividade, formas de vertentes e do mapa produzido de suscetibilidade ao escorregamento, apresentado na escala 1:70.000, foi possível concluir que a declividade é o principal condicionante do processo, aliado secundariamente às formas de vertentes, os sistemas de relevo e à litologia.

Palavras-chave: Escorregamentos, Dutos, Imagem GeoEye.

Abstract

The analysis of natural processes, such as landslides, has a great importance for the prevention of accidents in pipelines, since it might compromise its security, with serious social and environmental implications. Considering the large territorial dimensions that pipelines can reach, remote sensing tools have great applicability for data acquisition, allowing the analysis of large areas in regular time periods. This study aims to analyze the relations between the occurrence of landslides and its natural conditionings, on a stretch of the ORBEL pipeline, in the municipalities of Duque de Caxias, Nova Iguaçu and Belford Roxo – Rio de Janeiro. GeoEye sensor system images were used with spatial resolution of 0.5 m, from November/2009, January/2010 and March/2010, that are months of summer rains. The work involved the characterization of the study area and existing landslides, through bibliographic data collection; the application of visual analysis techniques for the extraction of landslide scars and fractures; preparation of maps for the landslide constraints and preparation of the susceptibility map. In the images from November only three landslide scars were extracted, while in January there were 166 and 111 in March. Difficulties were found with the shading in the images. From the relations among landslide scars, lithological units, relief systems, slope, downhill profile and the generated map of landslide susceptibility, presented in 1:70,000 scale, it was possible to conclude that slope is the main determinant of the process, allied secondarily to downhill profile, relief systems and lithology.

Keywords: Landslides, Pipelines, GeoEye Image.

Lista de Figuras

Figura 3.1. Mapa de Localização da Área de Estudo.	4
Figura 3.2. Mapa de Solos.	10
Figura 3.3. Mapa de Uso e Ocupação da Terra.	11
Figura 3.4. Gráficos de precipitação para o município de Duque de Caxias.	13
Figura 4.1. Esquema das principais rupturas em escorregamentos.	16
Figura 4.2. Esquema de escorregamento rotacional.	17
Figura 4.3. Esquema de escorregamento planar ou translacional.	18
Figura 4.4. Esquema de escorregamento em cunha.	19
Figura 4.5. Esquemas: A - Queda de blocos, B - Tombamento, C - Rolamento, e D – Desplacamento.	20
Figura 4.6. Esquema do processo de rastejo.	21
Figura 5.1. Fluxograma das etapas de trabalho.	25
Figura 6.1. Cicatrizes de escorregamentos identificadas nas imagens GeoEye.	31
Figura 6.2. Gráfico da relação do tamanho das cicatrizes, quantidade e período de estudo. ..	32
Figura 6.3. Fraturas (traços em vermelho) extraídas na imagem GeoEye de janeiro/2010. ...	33
Figura 6.4. Cicatrizes (em amarelo) e eixos de maior comprimento (traços brancos) extraídos na imagem GeoEye de janeiro/2010.	33
Figura 6.5. Rosáceas dos eixos maiores das cicatrizes de escorregamento e das fraturas.	34
Figura 6.6. Mapa de Unidades Litológicas.	35
Figura 6.7. Gráfico relacionando litologias, quantidade de cicatrizes e o período de estudo. ...	36
Figura 6.8. Mapa de Sistemas de Relevo.	37
Figura 6.9. Gráfico relacionando sistemas de relevo, quantidade de cicatrizes e o período de estudo.	38
Figura 6.10. Mapa de Declividade.	39
Figura 6.11. Gráfico relacionando declividade, quantidade de cicatrizes e o período de estudo.	40
Figura 6.12. Mapa de Formas de Vertentes.	41
Figura 6.13. Gráfico relacionando as formas de vertentes, quantidade de cicatrizes e o período de estudo.	42
Figura 6.14. Mapa de Suscetibilidade ao Escorregamento.	43
Figura 6.15. Gráfico relacionando as classes de suscetibilidade, a quantidade de cicatrizes e o período de estudo.	44

Lista de Tabelas

Tabela 5.1. Características do Sistema Sensor GeoEye-1.	26
Tabela 5.2. Propriedades das imagens GeoEye adquiridas.	26
Tabela 5.3. Atribuição de pesos dos critérios.	29
Tabela 6.1. Quantidade de cicatrizes no período de estudo.	30
Tabela 6.2. Relação das cicatrizes por área de cada unidade litológica.	36
Tabela 6.3. Relação das cicatrizes por área de cada sistema de relevo.	38
Tabela 6.4. Relação das cicatrizes por área de cada classe de declividade.	40
Tabela 6.5. Relação das cicatrizes por área de cada forma de vertentes.	42
Tabela 6.6. Relação das cicatrizes por área de cada classe de suscetibilidade.	44

Lista de Quadros

Quadro 3.1. Unidades litológicas presentes na área de estudo.	6
Quadro 3.2. Sistemas de relevo presentes na área de estudo.	7
Quadro 3.3. Classes pedológicas presentes na área de estudo.	9
Quadro 4.1. Principais tipos de movimentos de massa em encostas.	15

Lista de Siglas e Abreviaturas

AID	Área de Influência Direta
AII	Área de Influência Indireta
AIV	Área de Influência Variável
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CENPES	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EMPRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENVI	Environment for Visualizing Images (Ambiente para Visualização de Imagens)
ESRI	Environment System Research Institute (Instituto de Pesquisa de Sistema Ambiental)
FUNDREM	Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro
GASBEL	Gasoduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte
GASPAL	Gasoduto Rio de Janeiro – São Paulo
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
MDE	Modelo Digital de Elevação
ORBEL	Oleoduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte
OSRIO	Oleoduto São Paulo – Rio de Janeiro
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro
REDUC	Refinaria Duque de Caxias
REGAP	Refinaria Gabriel Passos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TIN	Triangular Irregular Network (Rede Irregular Triangular)

UNESP	Universidade Estadual Paulista
UTM	Universal Transversal de Mercator
WGS	World Geodetic System (Sistema Geodésico Global)

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Dutos	2
2. OBJETIVO	4
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	4
3.1. Localização da Área	4
3.2. Geologia	5
3.2.1. <i>GEOLOGIA REGIONAL</i>	5
3.2.2. <i>GEOLOGIA LOCAL</i>	6
3.3. Geomorfologia	7
3.4. Pedologia	9
3.5. Uso e Ocupação da Terra	11
3.6. Clima	12
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
4.1. Movimentos de Massas	14
4.1.1. <i>ESCORREGAMENTOS</i>	15
4.1.1.1. <i>Escorregamentos rotacionais ou circulares</i>	16
4.1.1.2. <i>Escorregamentos translacionais ou planares</i>	17
4.1.1.3. <i>Escorregamentos em cunha</i>	18
4.1.2. <i>QUEDA DE BLOCOS</i>	19
4.1.3. <i>CORRIDAS</i>	20
4.1.4. <i>RASTEJO</i>	21
4.2. Suscetibilidade ao Escorregamento pela Análise Multicriterial Ponderada	22
4.3. Sistema de Informação Geográfica - SIG	23
4.4. Sensoriamento Remoto	23
5. MATERIAL E MÉTODOS	25
5.1. Revisão bibliográfica	25
5.2. Aquisição e organização dos dados – Banco de Dados	26
5.2.1. <i>ADEQUAÇÃO DE ESCALA DO MAPA LITOLÓGICO</i>	27
5.2.2. <i>ADEQUAÇÃO DE ESCALA DO MAPA DE SISTEMAS DE RELEVO</i>	27
5.2.3. <i>EXTRAÇÃO DAS CICATRIZES DE ESCORREGAMENTOS</i>	27
5.2.4. <i>CÁLCULO DAS ÁREAS DAS CICATRIZES</i>	28
5.2.5. <i>EXTRAÇÃO DAS FRATURAS</i>	28
5.2.6. <i>GERAÇÃO DO MDE E MAPA DE DECLIVIDADE</i>	28
5.2.7. <i>GERAÇÃO DO MAPA DE FORMAS DE VERTENTES</i>	28
5.2.8. <i>MAPA DE SUSCETIBILIDADE AO ESCORREGAMENTO</i>	28

5.2.9. <i>RELAÇÃO ENTRE OS ESCORREGAMENTOS E OS CONDICIONANTES NATURAIS</i>	29
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
6.1. Análise da extração das cicatrizes de escorregamentos	30
6.2. Análise da extração das fraturas	32
6.3. Relação entre os escorregamentos e os condicionantes naturais	34
6.3.1. <i>LITOLOGIA</i>	34
6.3.2. <i>SISTEMAS DE RELEVO</i>	36
6.3.3. <i>DECLIVIDADE</i>	38
6.3.4. <i>FORMAS DE VERTENTES</i>	40
6.4. Mapa de Suscetibilidade ao Escorregamento	42
7. CONCLUSÃO	45
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

Os dutos, segundo a portaria nº 125 da ANP de 2002, definem-se de modo geral como condutos fechados destinados ao transporte ou transferência de petróleo e seus derivados ou gás natural. Os sistemas dutoviários contribuem para o transporte do petróleo e seus derivados, gás natural, produtos químicos e álcool, acelerando o escoamento dessas produções em países com grandes dimensões continentais como o Brasil.

As extensas faixas de dutos integram as áreas de extração, beneficiamento, refinaria e consumo desses produtos, atravessando diversos municípios e estados com características distintas quanto aos aspectos físicos e socioeconômicos (Terzian, 2005). Deste modo, é indispensável o monitoramento dos dutos, que deve averiguar constantemente o funcionamento do sistema dutoviário, a fim de proteger a integridade dos dutos e do ambiente no qual se inserem.

Na prevenção de acidentes em dutos é importante o monitoramento dos processos naturais, como movimentos de massas do tipo escorregamentos e queda de blocos; além das erosões e outros condicionantes naturais. Esse controle exige estudos detalhados sobre: a geologia, geomorfologia, geotecnia, pedologia, clima e uso e ocupação da terra de toda a região ao entorno dos dutos.

Os movimentos gravitacionais de massa do tipo quedas, rastejos, escorregamentos e corridas ocorrem sucessivamente em diferentes escalas de tempo e espaço, contribuindo na evolução natural das encostas do relevo da Serra do Mar (IPT, 1988; Guidicini & Nieble, 1984), pois sob condições de clima tropical em relevo escarpado, esses movimentos ocorrem de modo localizado e generalizado, geralmente decorrentes de eventos pluviométricos intensos. Os escorregamentos representam os principais processos desse quadro evolutivo, ocorrendo naturalmente nas médias e altas encostas das serras, mesmo em vertentes totalmente isentas de qualquer ação antrópica (Wolle & Carvalho, 1989).

A aplicação das técnicas de sensoriamento remoto se mostra fundamental no diagnóstico e monitoramento do processo de uso e ocupação e na detecção das consequências deixadas pelos fenômenos naturais. O processo de detecção de mudanças a partir da aplicação de produtos do sensoriamento remoto possibilita analisar grandes extensões de áreas em regulares períodos de tempo, permitindo a obtenção de informações espaciais e temporais sobre os diferentes alvos da superfície através de imagens de alta resolução espacial. Estas imagens são obtidas por sensores orbitais que possuem capacidade de identificação de objetos de pequena dimensão, como exemplo destes sistemas sensores pode-se citar: GeoEye, RapidEye, Ikonos, Quickbird, Eros e Worldview.

Este trabalho está direcionado ao estudo de um trecho do duto ORBEL, que interliga os estados do Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Esse trecho abrange parte dos municípios de Duque de Caxias e Nova Iguaçu, na Região Metropolitana do estado do Rio de Janeiro. A faixa de dutos ORBEL atravessa 27 municípios, sendo 6 municípios no estado do Rio de Janeiro e 21 municípios no estado de Minas Gerais. Com uma extensão aproximada de 363,9 km, estende-se desde o município de Duque de Caxias (RJ) até Betim (MG).

A área de estudo apresenta trechos com alta incidência de escorregamentos, principalmente em períodos de alta pluviosidade. A análise das ocorrências de escorregamentos nas faixas de dutos contribui para a manutenção e conservação dos dutos. Essa análise pode ser efetuada através de produtos e técnicas de sensoriamento remoto, devido às grandes áreas que podem ser recobertas e ao intervalo de tempo do imageamento.

1.1. DUTOS

As dutovias recebem designações diferentes de acordo com o tipo de produto transportado, como oleodutos, gasodutos ou polidutos. As faixas de dutos são obras lineares superficiais, envolvendo apenas o horizonte de solo, e podem percorrer grandes distâncias, o que é favorável para um país de grandes extensões territoriais como o Brasil (Nogueira-Junior & Marques, 1998). No entanto, por atravessarem milhares de quilômetros e cruzarem diferentes contextos morfológicos e geológicos, podem ser submetidos a diferentes tipos de processos relacionados ao meio físico e antrópico.

O Brasil deu início às atividades dutoviárias na década de 40, com a criação da Petrobras, que até 1997 tinha o monopólio da exploração de petróleo no país, contribuindo para construção da maior parte na malha dutoviária do país (Fogliatti *et al.*, 2004). Entretanto, boa parte das atividades de transporte e armazenamento de petróleo e seus derivados, biocombustíveis e gás natural estão a cargo de sua subsidiária, a Petrobras Transporte S. A. – Transpetro. A Transpetro é responsável por uma rede de transporte de combustíveis com mais de 11 mil quilômetros de dutos, juntamente com os terminais e a frota de navios petroleiros. Os dutos interligam o sistema Petrobras, correlacionando a exploração, o refino e o escoamento de seus produtos. Os oleodutos são os meios mais utilizados para transportar petróleo e seus derivados para os grandes centros consumidores e para o abastecimento das refinarias (Transpetro, 2012).

As instalações dos dutos e de refinamento estão localizadas, em sua maior parte, próximos ao litoral onde estão os portos e maior contingente populacional, nos grandes centros consumidores e nas regiões de exploração (Ferreira, 2009).

A faixa de dutos Rio – Belo Horizonte tem início no município de Duque de Caxias – RJ e se estende até Belo Horizonte – MG. Em Duque de Caxias esta faixa é compartilhada com os seguintes dutos: Poliduto Rio - Belo Horizonte I (ORBEL I), Oleoduto Rio - Belo Horizonte II (ORBEL II), Gasoduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte (GASBEL), Oleoduto São Paulo – Rio de Janeiro (OSRIO) e o Gasoduto Rio de Janeiro – São Paulo (GASPAL).

O oleoduto ORBEL I foi inaugurado em 1968, possui cerca de 362 km de extensão e interliga o Terminal Campos Elíseos ou a Refinaria Duque de Caxias (REDUC), no estado do Rio de Janeiro, à refinaria Gabriel Passos (REGAP), na cidade de Betim em Minas Gerais. O oleoduto ORBEL II iniciou sua operação em 1980, com aproximadamente 358 km de extensão. Juntos, os dutos ORBEL I e ORBEL II são responsáveis pelo transporte de petróleo bruto e seus derivados como gasolina, diesel e nafta, dentre outros (Terzian, 2005).

Existe ao longo dos dutos uma faixa de segurança sinalizada chamada faixa de servidão, com largura de 20 m, com a finalidade de instalar, proteger, delimitar e identificar os locais onde estão instalados os dutos. O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, através da resolução 01/86, art. 5º, dispõe sobre a definição da área de influência direta e indireta para estudos ambientais de empreendimentos geradores de impactos, tais como as dutovias. Dessa forma, os relatórios ambientais dos dutos propõem uma Área de Influência Direta (AID) de 400 m para cada lado do duto, e uma Área de Influência Indireta (AII) de 5 km para cada lado do duto.

A AID é sujeita aos impactos diretos da operação do duto, compreendendo a faixa de servidão e a área não edificante, sendo utilizada para estudos de risco geotécnico. Já a AII considera os riscos potenciais em relação ao duto, sendo utilizada para estudos do meio físico e biótico. Existe ainda uma terceira área denominada Área de Influência Variável (AIV), que leva em conta as características peculiares de distribuição espacial para o meio antrópico, englobando a área total de todos os municípios interceptados pela AII (Ferreira, 2009).

Segundo Ferreira (2009) houve apenas dois registros de acidentes envolvendo vazamentos nos oleodutos ORBEL I e II. O primeiro foi um vazamento de nafta no ORBEL I, em 1984, no município de Miguel Pereira. O segundo, em 2005, no município de Santos Dumont na Estação da Mantiqueira, foi um vazamento de petróleo no oleoduto ORBEL II. Houve um incidente em 2009, sem vazamento, no município de Duque de Caxias, que envolveu a queda de um matacão sobre o duto ORBEL II, que o danificou e obrigou sua paralisação para reparos.

2. OBJETIVO

O trabalho tem como objetivo a utilização de imagens do sistema sensor GeoEye, que possui resolução espacial de 0,5 m, no estudo da análise das relações entre as ocorrências de escorregamentos e os vários condicionantes naturais, tais como litologia, sistemas de relevo, declividade e forma de vertentes. Além, da elaboração do mapa de suscetibilidade ao escorregamento.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização da Área

A área de estudo abrange parte dos municípios de Duque de Caxias, Nova Iguaçu e Belford Roxo (Figura 3.1), compreendendo 18,5 km de extensão e 5,76 km de largura, totalizando 106,6 km². Os dois municípios são pertencentes à Região Metropolitana do Rio de Janeiro, caracterizados por uma dinâmica socioeconômica acelerada, próximos à capital do estado, apresentando parques industriais de grande importância e um contingente populacional bastante expressivo.



Figura 3.1. Mapa de Localização da Área de Estudo.

3.2. Geologia

3.2.1. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O estado do Rio de Janeiro está geotectonicamente contido na Província Estrutural da Mantiqueira. Segundo Heilbron *et al.* (2004), a Província Mantiqueira corresponde a um sistema orogênico Neoproterozóico, que ocorre sob a forma de uma faixa NE-SW com mais de 3.000 km de comprimento, estendendo-se desde o sul da Bahia até o Uruguai, totalizando cerca de 700.000 km². Faz parte de uma das províncias estruturais do Escudo Atlântico e limita-se com as províncias Tocantins, São Francisco e Paraná. A leste faz limite com as bacias costeiras do Espírito Santo, Santos, Campos e Pelotas. Além de apresentar unidades neoproterozóicas, também apresenta registro de unidades paleotectônicas arqueanas, paleoproterozóicas e mesoproterozóicas (CPRM, 2003).

A Província Mantiqueira pode ser dividida estruturalmente em três grandes blocos crustais de direção NE-SW: Cabo Frio; Serra dos Órgãos e das Zonas de Cisalhamento (Fonseca *et al.*, 1998). Esses blocos foram afetados pelo Ciclo Brasileiro (Neoproterozóico), caracterizado por deformação compressional, cisalhamento transcorrente, metamorfismo de alto grau, fusão parcial de rochas crustais e granitogênese.

As rochas mais abundantes no estado do Rio de Janeiro são rochas metamórficas de idade de 500 milhões de anos até cerca de 2 bilhões de anos, representadas por ortognaisses, paragnaisses e rochas metassedimentares como o mármore. Os Sedimentos Quaternários, como turfas, lamias, areias, cascalhos e conglomerados, foram depositados em vales de rios, próximo a lagoas e ao litoral, e os Sedimentos Terciários foram depositados por processos fluviais e marinhos, formando as bacias sedimentares de Campos, Resende e Itaboraí. Ocorrem também no estado do Rio de Janeiro rochas alcalinas de idades entre 70 e 40 milhões de anos, rochas graníticas de cerca de 500 milhões de anos, rochas básicas e diques de diabásio, sendo estes tendo a origem ligada à abertura do Oceano Atlântico (Mansur *et al.*, 2005).

3.2.2. GEOLOGIA LOCAL

Na área de estudo estão presentes quatro unidades litológicas descritas no Quadro 3.1.

Quadro 3.1. Unidades litológicas presentes na área de estudo. Fonte: CPRM (2000).

Unidades Litológicas	Descrição
Santo Aleixo	Composta por granitóides do Neoproterozóico, esta unidade integra marginalmente o batólito Serra dos Órgãos, sendo constituída por granada-hornblenda-biotita granodiorito, rico em xenólitos de paragnaisse.
Serra dos Órgãos	Corresponde a um batólito granítico de 140 km de comprimento por 20 km de largura média, com forma alongada na direção NE/SW. De idade neoproterozóica, esse batólito é envolvido nas bordas oeste e sul pelos ortognaisses do Complexo Rio Negro, no qual é intrusivo, e na borda norte pelo Leucogranito Gnaisse Serra do Paquequer. Na porção nordeste é intrusivo nos paragnaisse do Complexo Paraíba do Sul. Composto por hornblenda-biotita granitóide de granulação grossa e composição tonalítica a granítica e cálcio-alcálica. Localmente podem ser observados enclaves de paleodiques anfíbolíticos.
Suíte do Tinguá	De idade cretácica/terciária, a Suíte do Tinguá se restringe a uma pequena porção na área de estudo. Essa suíte consiste em um maciço alcalino originado no evento magmático relacionado à Reativação Wealdeniana na Província da Serra do Mar. Constituída por rochas alcalinas compostas por nefelina sienitos, fonólitos e brechas, a Suíte do Tinguá localiza-se nos contrafortes da Serra do Mar, a norte do município de Nova Iguaçu, nas cabeceiras dos rios Douro, Iguaçu e Santo Antônio. Pode atingir cotas de até 1.600 m, e possui cerca de 50 km ² de área.
Depósitos Flúvio-Lagunares	Pertencentes ao Cenozóico/Quaternário, esses depósitos estão relacionados à progradação fluvial em meio a um ambiente transicional a marinho raso, em razão de variações climáticas e/ou glácio-eustáticas. São depósitos compostos por argila rica em matéria orgânica, concentrações localizadas de diatomita e turfas, e localmente presença de depósitos conchíferos.

3.3. Geomorfologia

Quanto à geomorfologia, o estado do Rio de Janeiro apresenta grandes escarpas alternadas com depressões. São notáveis as superfícies de erosão, por vezes basculadas e fragmentadas pela tectônica mesocenozóica (CPRM, 2000).

A divisão em sistemas de relevo em uma região baseia-se na caracterização dos diferentes atributos físicos que compõem as áreas adjacentes. Conforme o Quadro 3.2, na área de estudo estão presentes os seguintes sistemas de relevo: Colinas Isoladas, Domínios de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos, Escarpas Serranas, Planícies Aluviais, e Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas.

Quadro 3.2. Sistemas de relevo presentes na área de estudo. Fonte: CPRM (2000).

Sistemas de Relevo	Descrição
Colinas Isoladas	Esse relevo é constituído de formas de relevo residuais, possui vertentes convexas e topos arredondados ou alongados, com sedimentação de colúvios, remanescentes do afogamento generalizado do relevo produzido pela sedimentação flúvio-marinha que caracteriza as baixadas litorâneas. Apresenta densidade de drenagem muito baixa e com padrão dendrítico. No fundo dos vales afogados a drenagem é imperfeita. As amplitudes topográficas são, geralmente, inferiores a 100 m.
Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos	Esse sistema de relevo é classificado como relevo de degradação em planaltos dissecados ou superfícies aplainadas. As Colinas Dissecadas tem vertentes convexo a côncavas e topos arredondados e/ou alongados. Os Morrotes e Morros Dissecados apresentam vertentes retilíneas e côncavas e topos aguçados ou alinhados, com sedimentação de colúvios e alúvios. Apresentam amplitudes entre 100 e 200 m. A densidade de drenagem é de media a alta com padrão variável, de dendrítico a treliça ou retangular.

Escarpas Serranas	Relevo montanhoso e extremamente acidentado. Esse sistema de relevo é classificado por relevos de degradação em áreas montanhosas, cujas vertentes são retilíneas a côncavas, escarpadas e com topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. A densidade de drenagem é muito alta, com padrão de paralelo a dendrítico ou treliça a retangular. As amplitudes são superiores a 500 m e de gradientes muito elevados, com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramento de rocha.
Planícies Aluviais	Relevo classificado como de agradação continental, constituído por planícies de inundação, terraços fluviais e leques alúvio-coluviais. São superfícies sub-horizontais com gradientes extremamente suaves e convergentes em direção aos canais-tronco.
Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas	Esse sistema é um tipo de relevo de agradação litorânea, é constituído por terrenos argilo-arenosos das baixadas. São superfícies sub-horizontais, de gradientes extremamente suaves e convergentes à linha de costa, de interface com os sistemas deposicionais continentais (processos fluviais e de encosta) e marinhos. Os terrenos são mal drenados com padrão de canais meandrante e divagante. Estão presentes superfícies de aplainamento e pequenas colinas ajustadas ao nível de base das baixadas.

3.4. Pedologia

Na área de estudo estão presentes cinco classes pedológicas que são descritas no Quadro 3.3. O Mapa de Solos (Figura 3.2) mostra a distribuição dos solos na área.

Quadro 3.3. Classes pedológicas presentes na área de estudo. Fonte: CPRM (2000).

Classes Pedológicas	Descrição
Latossolo Vermelho-Amarelo	Os Latossolos Vermelho-Amarelos são bastante comuns em todo o estado do Rio de Janeiro. Este tipo de solo caracteriza-se pelos baixos teores de Fe_2O_3 , nas regiões mais frias e úmidas a tendência é que apresentem menores teores de bases e saturação com alumínio mais elevada. Devido à baixa fertilidade que os Latossolos Vermelho-Amarelos apresentam, as áreas onde se encontram geralmente são utilizadas como pastagem.
Cambissolo Háptico	Os Cambissolos compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B incipiente, por isso, apresentam suas características bastante influenciadas pelo material de origem. São pouco profundos e com teores de silte e argila relativamente elevados. Ocorrem predominantemente nas regiões serranas do estado do Rio de Janeiro, frequentemente associados aos Latossolos Vermelho-Amarelos. Entretanto, podem ser encontrados em algumas baixadas fluviais de relevo aplainado onde sedimentos argilosos mais espessos são depositados pelos rios propiciando o desenvolvimento dos Cambissolos.
Gleissolo Tiomórfico Húmico	Os Gleissolos são relativamente recentes, pouco evoluídos, e originados de sedimentos quaternários, apresentando grande variabilidade espacial. São subdivididos de acordo com o tipo de horizonte superficial. Ocorrem em área de várzea, mas principalmente nas grandes baixadas que se estendem desde os contrafortes da Serra do Mar até o litoral. Na área de estudo esse tipo de solo apresenta concentrações de sulfato e sua textura é argilosa. De modo geral, as áreas onde são encontrados são utilizadas como pastagens.

Neossolo Flúvico	Os Neossolos (ou Solos Aluviais) são pouco evoluídos, constituídos por material mineral recentes do Quaternário, ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Os Neossolos Flúvicos ocorrem em menor escala, quase sempre associados às planícies fluviais ao longo dos principais rios da bacia. Estão concentrados na parte mais plana de onde predomina o sistema morfodinâmico do tipo pedogênese e deposição dominante, e erosão baixa.
Planossolo Háptico	Essa classe compreende solos minerais, geralmente hidromórficos, caracterizados por uma mudança textural abrupta ao longo dos horizontes. Ocorrem principalmente em algumas baixadas de relevo aplainado da região litorânea. Predominam solos de baixa fertilidade, álicos ou distróficos, com argila de baixa atividade.

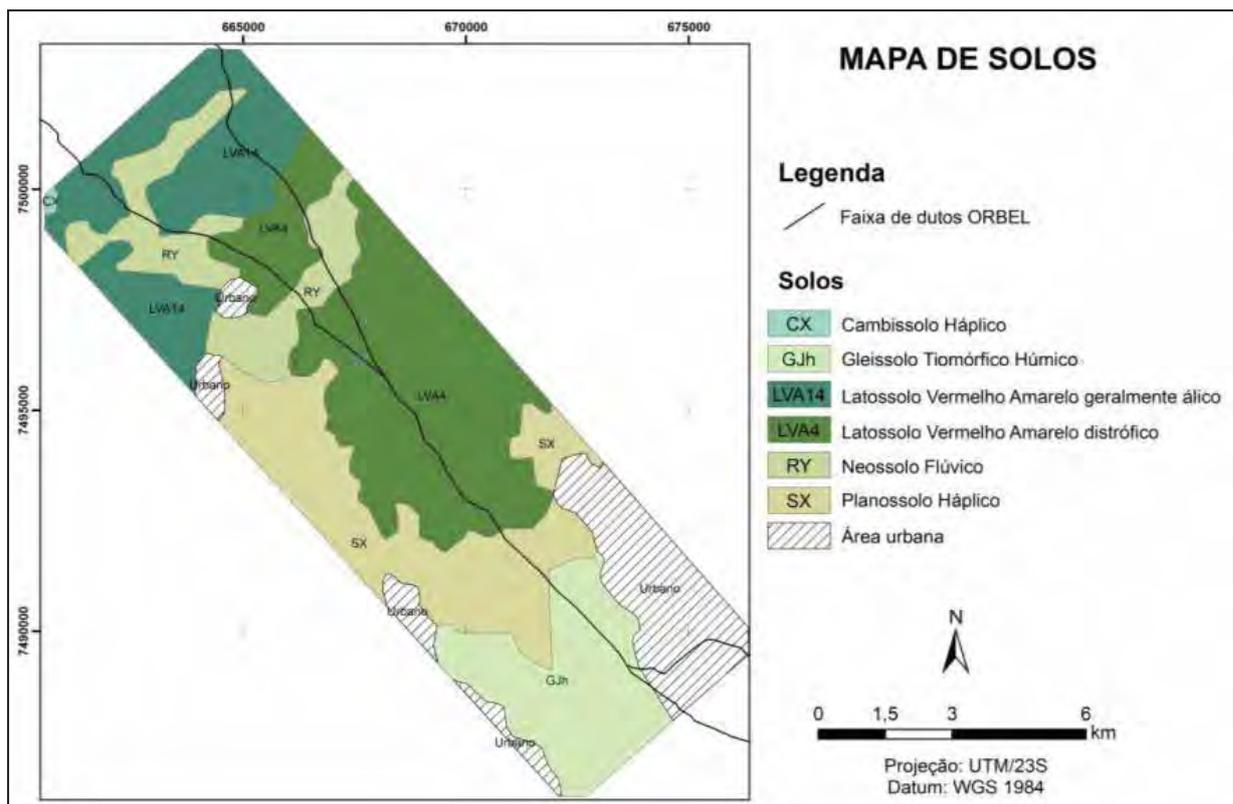


Figura 3.2. Mapa de Solos. Fonte: adaptado de EMBRAPA (2006).

3.5. Uso e Ocupação da Terra

Segundo o mapa de uso e ocupação da terra elaborado por Ferreira (2009), a partir de CPRM (2000), exposto na Figura 3.3, pode-se observar que a área urbana ocupa as áreas de planícies fluviais, marinhas e lagunares, seguido pelas áreas de colinas e morros baixos, enquanto que a vegetação natural ocupa as regiões das escarpas serranas e dos maciços alcalinos.

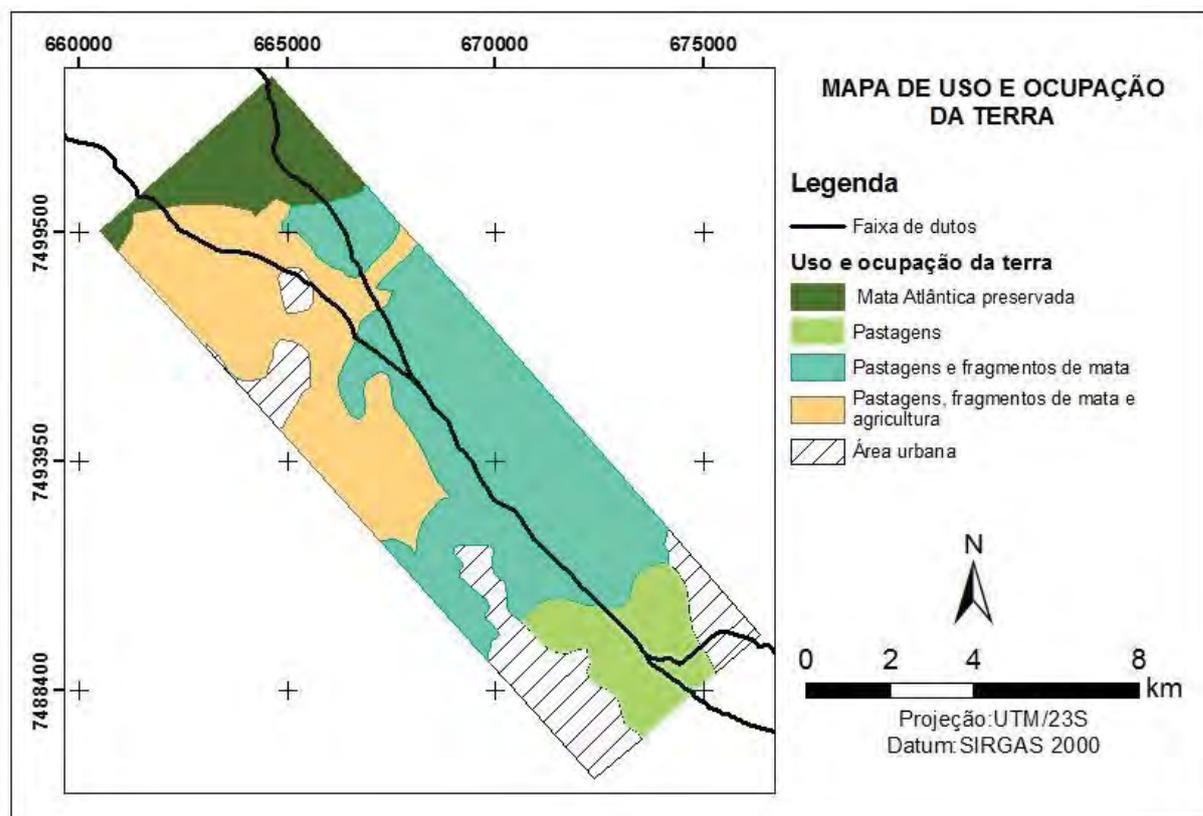


Figura 3.3. Mapa de Uso e Ocupação da Terra. Fonte: adaptado de CPRM (2000) por Ferreira (2009).

3.6. Clima

O clima da região Sudeste é condicionado por dois fatores: os estáticos, que se correlacionam à localização geográfica e topográfica; e os dinâmicos, que correspondem às massas de ar (CPRM, 2000). O clima do litoral da região Sudeste é regulado por massas de ar equatoriais e tropicais. As massas de ar tropicais marítimas são carregadas pelos ventos alísios dando origem a estreitas zonas com fortes chuvas e temperaturas altas. As chuvas demonstram uma forte variação estacional (Strahler, 1975).

A temperatura média anual, no estado do Rio de Janeiro, é sempre superior a 22°C. Os índices pluviométricos mais elevados do estado são registrados na Serra do Mar, de 2.000 a 4.500 mm. Seguidos pela Serra da Mantiqueira com pluviosidade um pouco menor, de 2.000 a 2.500 mm. O Vale do Paraíba, no sul do estado, é bem menos úmido e chuvoso, devido à subtração de umidade do ar realizada pelas serras da Mantiqueira e do Mar, com pluviosidade anual de 750 a 1.000 mm. Outra área igualmente menos chuvosa é a Baixada Litorânea, com precipitação média anual inferior a 1.000 mm (CPRM, 2000).

Predominam na área de estudo dois períodos: um período de chuvas bem definido (verão) que se alterna com um período de baixa pluviosidade (inverno). No verão as frentes frias originadas no pólo sul cruzam o Oceano Atlântico Sul e se encontram com as massas tropicais quentes, o que ocasiona chuvas torrenciais, devido à barreira natural formada pelo relevo escarpado. Especificamente nos municípios da área de estudo a pluviosidade média anual varia de 1.200 a 2.000 mm (CPRM, 2000).

O período de estudo abrange cinco meses, de novembro de 2009 a março de 2010. A precipitação nesse período foi de 1.954 mm para o município de Duque de Caxias e região, informação obtida a partir da estação Xerem – Duque de Caxias (INMET, 2009/2010). A Figura 3.4 mostra os gráficos da precipitação nos meses de novembro/2009 a março/2010.



Figura 3.4. Gráficos de precipitação para o município de Duque de Caxias (INMET, 2009/2010).

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. Movimentos de Massas

Os movimentos de massas são definidos como um importante processo natural que atua na dinâmica das vertentes, contribuindo para evolução geomorfológica em regiões montanhosas e íngremes. Consiste no movimento de uma massa ou volume de solo ou rocha que se desloca em conjunto (Guidicini & Nieble, 1984).

Um talude é considerado estável quando se tem a ação da gravidade equilibrada pela resistência ao cisalhamento. O movimento se dá no momento em que esse equilíbrio é rompido, podendo ser provocado por causa externa, como escavações ou corte no sopé do talude, ou sem causa externa, como com o aumento temporário da pressão intersticial ou por deterioração da resistência do solo (Bigarella, 2003). Tanto chuvas intensas de curta duração, quanto de longa duração, fornecem condições propícias para a diminuição da resistência do solo, atuando como um dos principais agentes predisponentes dos movimentos de encostas em ambientes tropicais úmidos (Guidicini & Iwasa, 1976).

Segundo Fernandes & Amaral (1996), a compreensão dos movimentos de massas como o conhecimento de sua forma e extensão e as suas causas, é fundamental para o estabelecimento de medidas de prevenção e corretivas apropriadas. O crescimento indiscriminado da ocupação urbana em áreas sem o adequado planejamento do uso do solo e de técnicas adequadas de estabilização contribui para ocorrência de acidentes associados a estes processos, que em muitos casos alcançam dimensões de desastres (Tominaga, 2007).

Os movimentos de massa podem ser classificados de acordo com o material envolvido, com o tipo de mecânica e a velocidade de movimentação. Augusto Filho (1992) agrupa os movimentos de massa em quatro tipos principais: rastejos, escorregamentos, quedas e corridas, conforme o Quadro 4.1.

Quadro 4.1. Principais tipos de movimentos de massa em encostas (Augusto Filho, 1992).

PROCESSOS	Dinâmica/Geometria/Material
Rastejos	<ul style="list-style-type: none">• Vários planos de deslocamento (internos)• Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade• Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes• Material constituinte: solo, depósitos, rocha alterada/fraturada• Geometria indefinida
Escorregamentos	<ul style="list-style-type: none">• Poucos planos de deslocamento (externos)• Velocidades médias (m/h) a altas (m/s)• Pequenos a grandes volumes de material• Geometria e material variáveis: Planares - solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza Circulares - solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha - solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas	<ul style="list-style-type: none">• Sem planos de deslocamento• Movimentos do tipo queda livre ou em plano inclinado• Velocidades muito altas (vários m/s)• Material rochoso• Pequenos a médios volumes• Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. Rolamento de matacão Tombamento
Corridas	<ul style="list-style-type: none">• Muitas superfícies de deslocamento• Movimento semelhante ao de um líquido viscoso• Desenvolvimento ao longo das drenagens• Velocidades médias a altas• Mobilização de solo, rochas, detritos e água• Grandes volumes de material• Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

4.1.1. ESCORREGAMENTOS

Segundo Guidicini & Nieble (1984) e Fernandes & Amaral (1996), os escorregamentos são processos de movimentos de massas envolvendo materiais que recobrem as superfícies das vertentes ou encostas, tais como solos, rocha e vegetação. São caracterizados por movimentos rápidos (m/h a m/s) de duração relativamente curta e com plano de ruptura bem definido.

Um escorregamento ocorre quando a relação entre a resistência ao cisalhamento do material e a tensão de cisalhamento na superfície potencial de movimentação diminui até atingir uma unidade, no momento do escorregamento. A velocidade do movimento depende da inclinação da superfície de escorregamento, da causa inicial de movimentação e da natureza do terreno. Os movimentos mais bruscos ocorrem em superfície de escorregamento elevada, em terrenos homogêneos, que combinam coesão com atrito interno elevado (Guidicini & Nieble, 1984).

Os escorregamentos podem ser classificados com base na forma do plano de ruptura e no tipo de material em movimento. A classificação baseada na forma considera a geometria: circular (ou rotacional), planar (ou translacional) ou em cunha (Figura 4.1). Quanto ao material envolvido pode ser solo, solo e rocha, ou somente rocha, que podem apresentar ou não estruturas e/ou planos de fraqueza, que favoreçam as rupturas (Guidicini & Nieble, 1984; Augusto Filho, 1994; Fernandes & Amaral, 1996).

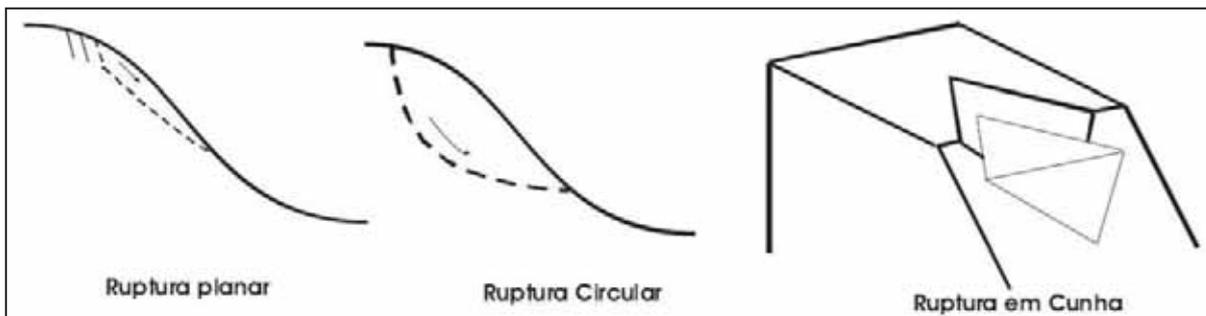


Figura 4.1. Esquema das principais rupturas em escorregamentos (modificado de IPT, 1991).

4.1.1.1. Escorregamentos rotacionais ou circulares

Os escorregamentos rotacionais têm como principal característica a presença de uma superfície de ruptura curva, côncava para cima, ao longo da qual se dá o movimento da massa de solo (Figura 4.2). A principal condição para existência desse movimento é a presença de espessos mantos de alteração. A gênese dos escorregamentos rotacionais está frequentemente vinculada a cortes na base das vertentes, sejam artificiais, como na implementação de estradas, ou naturais, em casos de erosão fluvial (Fernandes & Amaral, 1996).

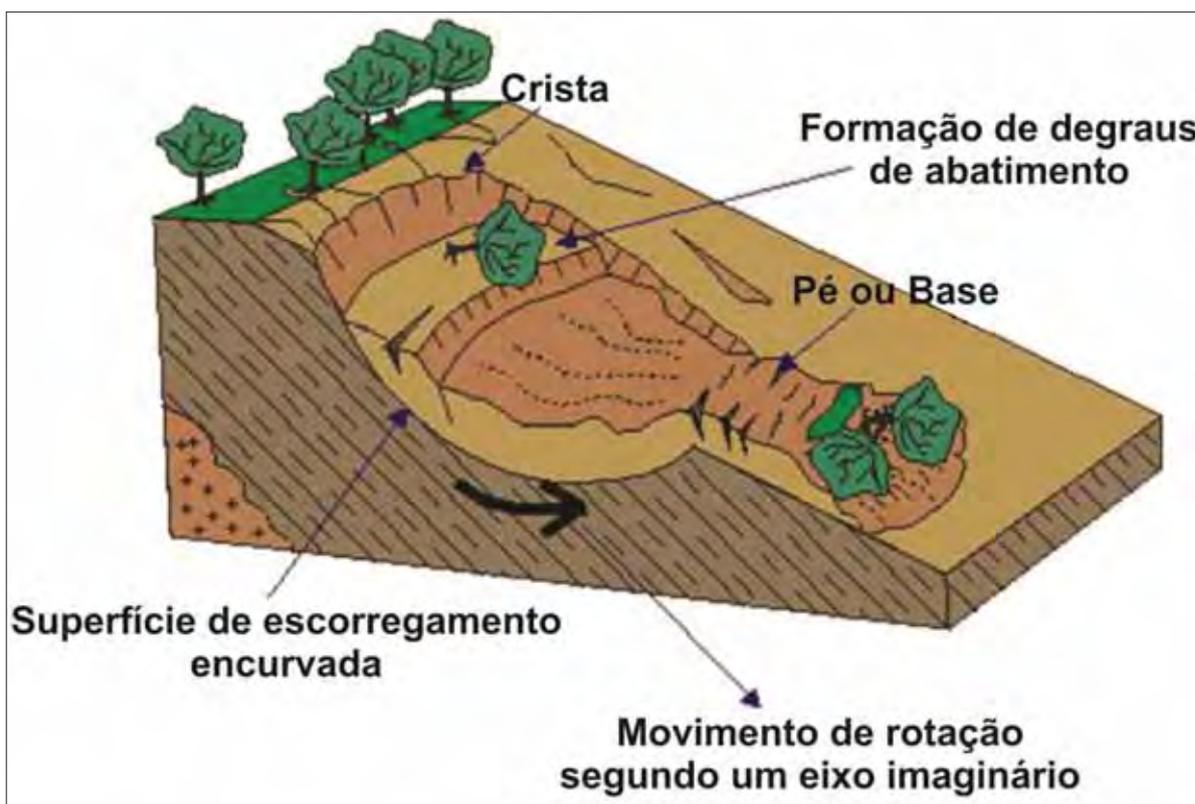


Figura 4.2. Esquema de escorregamento rotacional (modificado de Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998).

4.1.1.2. *Escorregamentos translacionais ou planares*

Os escorregamentos translacionais são os mais frequentes entre todos os outros tipos de escorregamentos. Fernandes & Amaral (1996) citam que estes tipos de movimentos são compridos e rasos, onde o plano de ruptura encontra-se, geralmente, em profundidades rasas que variam entre 0,5 a 5,0 m (Figura 4.3). Ocorrem em encostas tanto de alta como de média declividades e podem atingir centenas ou até milhares de metros (Guidicini & Nieble, 1984).

Há três tipos de materiais que podem ser transportados pelos escorregamentos translacionais. Nos escorregamentos translacionais de rocha, a movimentação tem início em planos de fraqueza da rocha, como falhas, juntas, xistosidade, foliação, entre outros. Nos escorregamentos translacionais de solo o movimento se dá ao longo de uma superfície plana relacionada a alguma feição estrutural do substrato rochoso, ocorrendo em mantos de alteração (Guidicini & Nieble, 1984). E, por fim, nos escorregamentos translacionais de solo e rocha, a massa transportada apresenta um volume significativo de rocha, os materiais mais comuns nesse tipo de movimento são de depósitos de tálus e colúvio (Tominaga, 2011).

Em geral, os escorregamentos translacionais ocorrem durante ou logo após chuvas intensas. A ação das águas é mais superficial e as rupturas se dão em um curto período de tempo (Fernandes & Amaral, 1996).

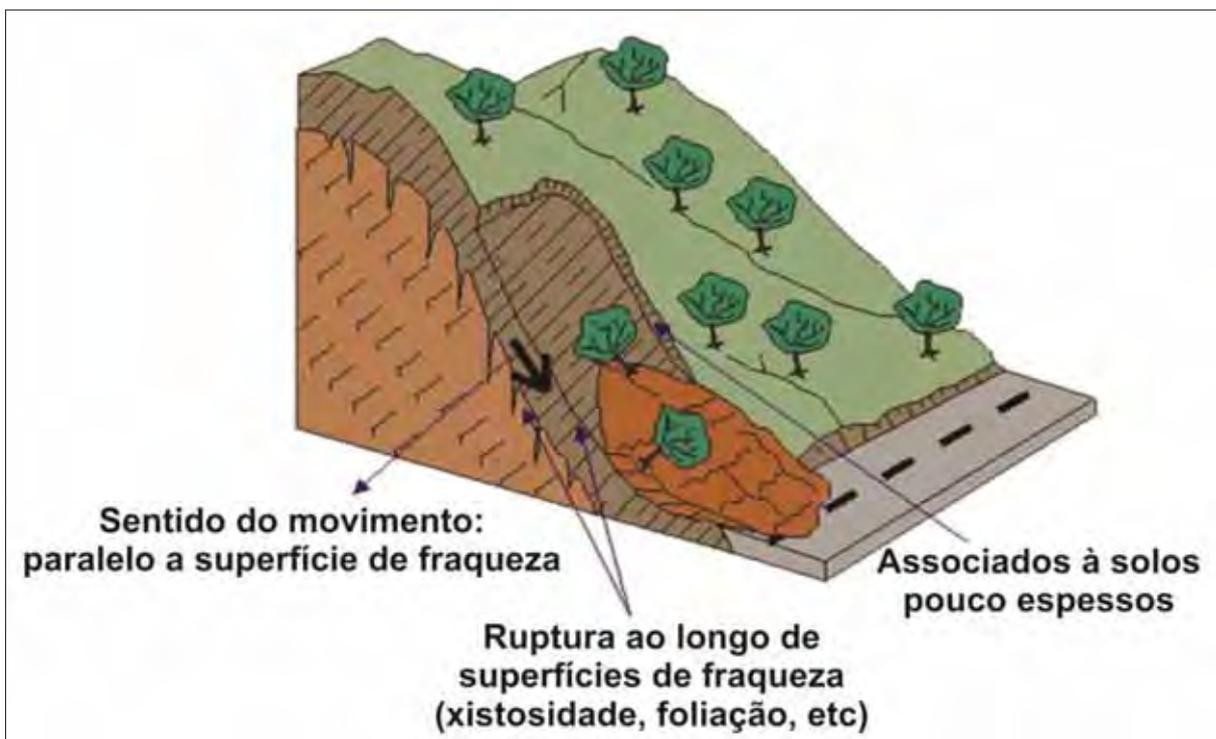


Figura 4.3. Esquema de escorregamento planar ou translacional (modificado de Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998).

4.1.1.3. *Escorregamentos em cunha*

Os escorregamentos em cunha ocorrem ao longo de um eixo formado pela intersecção de estruturas planares em maciços rochosos, que desloca o material na forma de um prisma (Figura 4.4). São comuns em taludes de corte ou encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento natural ou antrópico (Tominaga, 2011).



Figura 4.4. Esquema de escorregamento em cunha (modificado de Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998).

4.1.2. *QUEDAS DE BLOCOS*

As quedas de blocos são movimentos extremamente rápidos, da ordem de metros por segundo, envolvendo o desprendimento de placas rochosas, lascas e blocos, com movimento em queda livre ou sobre um plano inclinado (Augusto Filho, 1994). A queda pode estar associada a outros movimentos como saltação, rolamento dos blocos, tombamento e deslocamento do material rochoso (Figura 4.5). Os locais mais suscetíveis à ocorrência de queda de blocos são em pedreiras de diabásio, basalto, granito e regiões serranas.

Os agentes causadores das quedas de blocos podem ser diversos: perda de apoio dos blocos pela ação erosiva da água, tração ao longo de juntas verticais, desconfinamento lateral dos maciços rochosos decorrentes de linhas de entalhes recentes, alívio de tensões de origem tectônica, vibrações de origem antrópica ou pela uma combinação desses processos (Guidicini & Nieble, 1984).

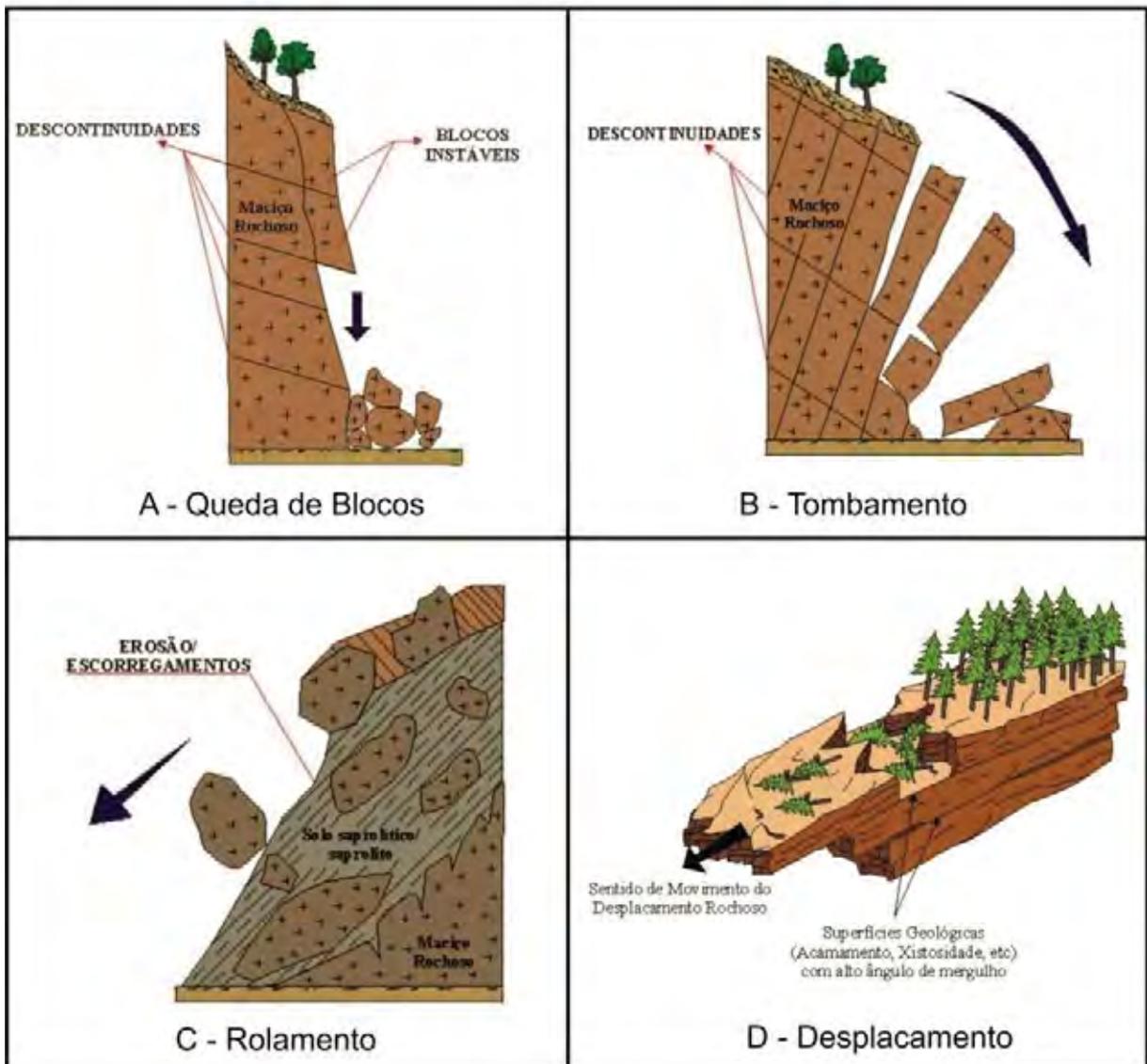


Figura 4.5. Esquemas: A - Queda de blocos, B - Tombamento, C - Rolamento, e D – Desplacamento (modificado de Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998).

4.1.3. CORRIDAS

As corridas (*flows*) são movimentos rápidos, nos quais os materiais se comportam como fluidos viscosos, formados por grandes volumes de rochas, solos e detritos (Fernandes & Amaral, 1996). A massa deslocada pode atingir grandes distâncias em um curto período de tempo e suas consequências são muito maiores das causadas por escorregamentos (Tominaga, 2011).

4.1.4. RASTEJO

Rastejo é um movimento lento e contínuo de rocha e solo vertente abaixo, causado pela ação da gravidade e também aos efeitos das variações térmicas e de umidade (Figura 4.6). A variação térmica causa um processo de expansão e contração do material, provocando o movimento deste vertente abaixo (Guidicini & Nieble, 1984). O rastejo pode envolver grandes volumes de solos, mas com movimentação tão imperceptível, que não há diferenciação entre o material em movimento e o estacionário (Augusto Filho, 1994).

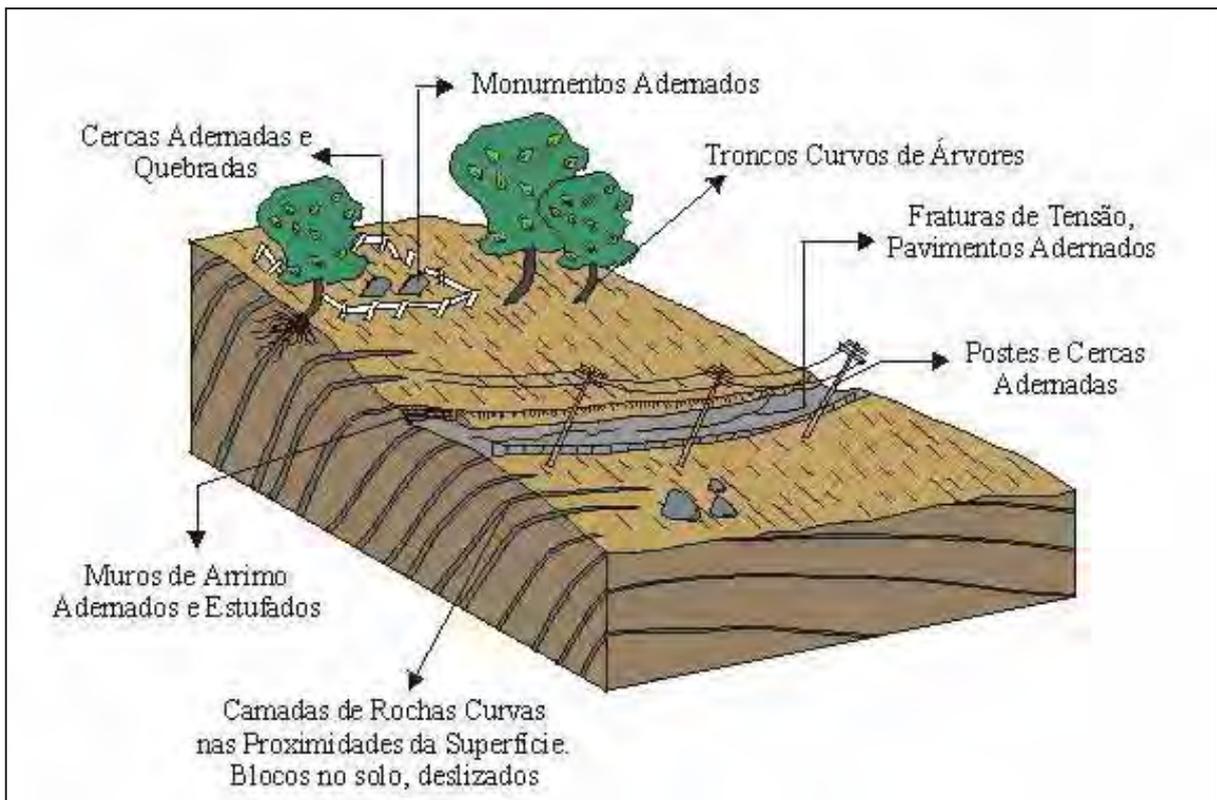


Figura 4.6. Esquema do processo de rastejo (modificado de Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998).

4.2. Suscetibilidade ao Escorregamento pela Análise Multicriterial Ponderada

Devido às características diferentes das rochas, solos, e relevo que compõem as encostas e também à diversidade climática de região para região, existem terrenos mais suscetíveis (instáveis) à ocorrência de escorregamentos e outros que são menos suscetíveis (estáveis). Dessa forma, é importante realizar uma avaliação de suscetibilidade numa área a ser ocupada ou já ocupada (Vedovello & Macedo, 2007).

A melhor forma de evitar os prejuízos e danos decorrentes de escorregamentos é reconhecer as áreas propensas às ocorrências (Marcelino, 2004). A avaliação de suscetibilidade a escorregamentos consiste em um zoneamento da área estudada em diferentes classes, que indicam a menor ou maior predisposição de ocorrer um escorregamento naquele local. O mapa de suscetibilidade tem a função de zonar em áreas, a partir da classificação em baixa, média e alta suscetibilidade de ocorrer escorregamento em determinado local (Vedovello & Macedo, 2007).

A elaboração do mapa de suscetibilidade a escorregamentos, segundo Marcelino (2004), tem como ponto de partida o mapeamento de escorregamentos, onde se analisam as ocorrências de escorregamentos em determinada área. A segunda etapa é a elaboração de mapas temáticos contendo informações sobre geologia, geomorfologia, declividade, entre outros. Após essas etapas, é realizada a sobreposição dos mapas temáticos em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), onde são definidas as diferentes zonas de suscetibilidade (Marcelino, 2004).

Segundo Ferreira *et al.* (2008), uma técnica utilizada na sobreposição e interpretação de informações espaciais é a análise multicriterial ponderada, pela sua eficiência em casos onde há diferentes variáveis ou condicionantes que contribuem para a ocorrência de um determinado processo. Nesta análise, os diferentes fatores que influenciam o processo são sintetizados por meio do cruzamento ordenado por pesos previamente definidos, comumente, por uma equipe multidisciplinar. Valente (2005) ressalva que no processo de tomada de decisão com a análise multicriterial, os resultados apresentam-se incertos, devido aos componentes que são os fatores, pesos e prioridades. Portanto, as informações a serem cruzadas e os pesos associados, precisam de uma atenta avaliação para que os resultados representem adequadamente a realidade.

4.3. Sistema de Informação Geográfica – SIG

Segundo Câmara (2005), o Sistema de Informação Geográfica é uma ferramenta capaz de realizar o tratamento computacional de dados geográficos e a recuperação de informações com base na sua localização espacial e suas características alfanuméricas. Desta forma, o SIG permite que o usuário obtenha uma visão única e integrada de seu ambiente de trabalho, estando ao seu alcance todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto que está inter-relacionado com base na localização geográfica.

O SIG é capaz de capturar, armazenar, analisar, transformar, integrar e apresentar os dados geográficos da melhor forma possível, sendo uma ferramenta que automatiza tarefas que eram realizadas manualmente, além de facilitar a realização de análises complexas através da integração de dados de diversas fontes. As principais utilizações de um SIG são na produção de mapas, como suporte para análise espacial, e como banco de dados geográficos (Câmara, 2005).

No monitoramento das faixas de dutos, o SIG conjuntamente com os produtos de sensoriamento remoto, auxiliam no reconhecimento de áreas com maior suscetibilidade à ocorrência de eventos naturais e conseqüentemente setorização das áreas de risco. Além de possibilitar o acompanhamento das mudanças no entorno da faixa de dutos (Ferreira, 2009).

4.4. Sensoriamento Remoto

Segundo Novo (2010), o Sensoriamento Remoto pode ser definido como a utilização conjunta de sistemas sensores e demais equipamentos para processamento e transmissão de dados, com a finalidade de analisar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície da Terra, por meio das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem.

Os sensores podem ser classificados como passivos e ativos. Os sensores passivos ou ópticos são aqueles que detectam a energia originada de uma fonte externa e os sensores ativos ou radares detectam a energia originada de fonte própria. Os sensores possuem características básicas relacionadas às suas resoluções temporais, espaciais, espectrais e radiométricas (Novo, 2010).

A resolução temporal refere-se ao intervalo de tempo que o sensor leva na obtenção de duas imagens da mesma área da superfície terrestre. A resolução espacial é diretamente relacionada ao tamanho do pixel e é o tamanho da menor feição passível de ser identificada no terreno. A resolução espectral é a medida da largura das faixas espectrais ou bandas,

quanto mais estreitas, maior a sensibilidade do sensor na distinção entre as variações do comportamento espectral. A resolução radiométrica é a capacidade em distinguir variações do nível de energia proveniente do alvo (Novo, 2010).

As principais aplicações do Sensoriamento Remoto são no monitoramento de cobertura da terra e de processos geomorfológicos, no mapeamento geológico, na área de agricultura e na pesquisa mineral. O Sensoriamento Remoto pode ser aplicado ainda para estudos de detecção e monitoramento de escorregamentos, os dados obtidos podem ser utilizados para avaliação das implicações diretas dos escorregamentos, sendo também possível mapear os fatores condicionantes, como a cobertura vegetal, formas de uso da terra, morfologia das vertentes, entre outros (Marcelino, 2004).

Para analisar a variação de algum fenômeno, feições ou objetos ao longo do tempo, utilizam-se técnicas de detecção de mudanças que analisam dados adquiridos de maneira multitemporal. Os estudos feitos com essas técnicas permeiam diversos temas relacionados ao uso e cobertura da terra, variações em florestas e vegetações, desmatamento, regeneração e extração seletiva de madeira, alterações em ambientes úmidos, queimadas, mudanças na paisagem e no ambiente urbano, alterações ambientais incluindo monitoramento de inundações e secas, ambientes costeiros e detecção de áreas de escorregamento (Lu *et al.*, 2004).

As fontes dos dados podem ser diversas, no entanto, os produtos advindos de sensores remotos têm se mostrado cada vez mais indispensáveis como fontes de informação para essa aplicação, devido à capacidade de aquisição repetitiva de informação e da visão integradora do espaço. Informações originadas de mapas temáticos e cartas topográficas também são usualmente utilizadas no processo de detecção de mudanças (Ferreira, 2009).

Uma das técnicas que pode ser utilizada na análise temporal é a comparação de feições por meio de análise visual. A partir da interpretação visual é possível identificar áreas que sofreram mudanças observadas em imagens de datas diferentes, através das alterações de padrões de textura, cor, forma e tamanho. A extração das informações é manual e depende principalmente da experiência do interpretador. No entanto, essa técnica apresenta algumas desvantagens como o alto consumo de tempo e a dificuldade em atualizar os resultados, mas mesmo assim, esta técnica é aplicada quando os padrões que devem ser analisados são muito complexos para prática computacional (Lu *et al.*, 2004).

5. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento dessa monografia as seguintes etapas de trabalho foram seguidas, conforme o fluxograma (Figura 5.1):

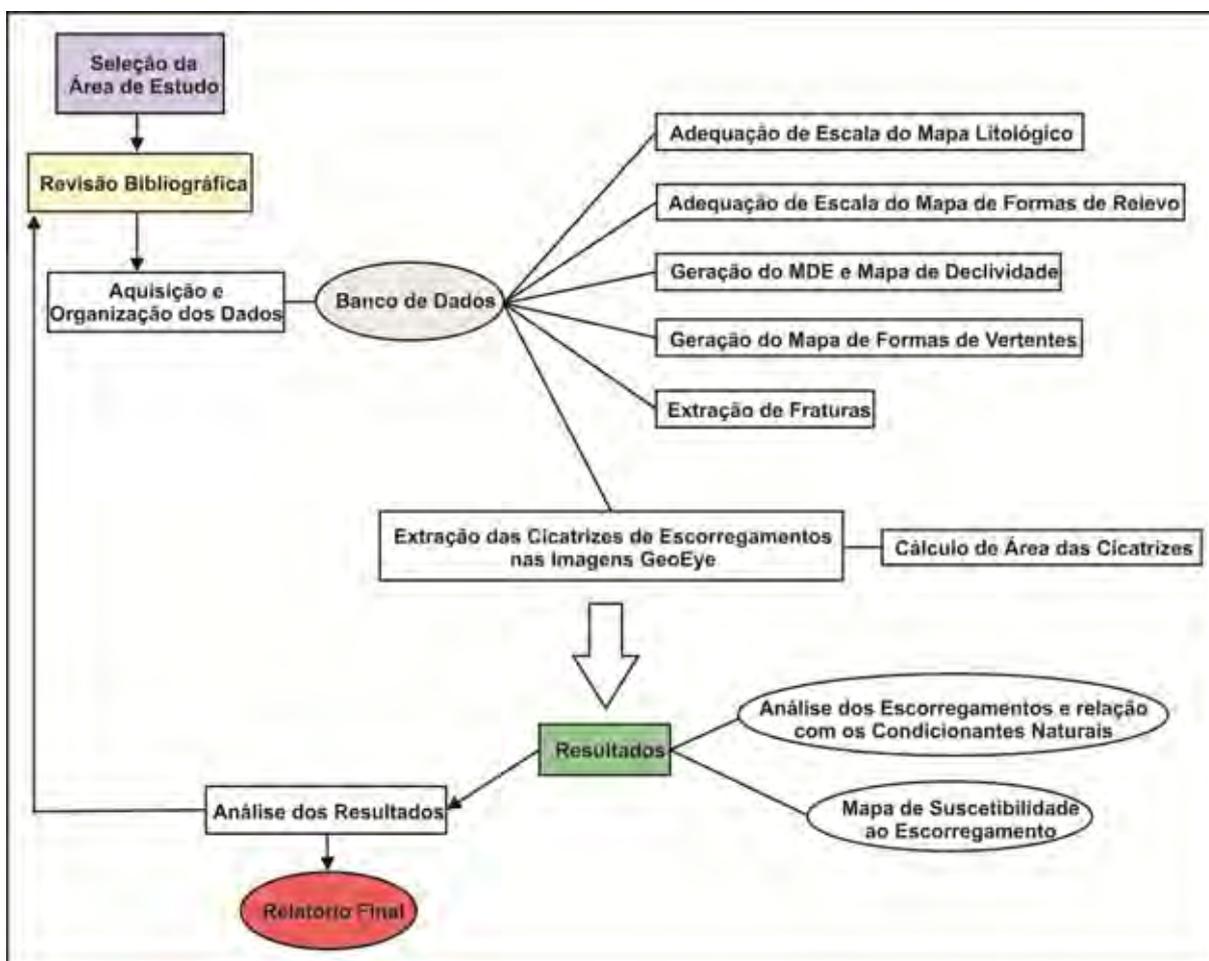


Figura 5.1. Fluxograma das etapas de trabalho.

5.1. Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica foi realizada em todas as etapas de trabalho. Como auxílio na compreensão da ocorrência dos movimentos de massas aos arredores dos dutos e das técnicas de processamento a serem aplicadas na extração e quantificação das cicatrizes de escorregamentos, além da contextualização da área quanto à geologia, geomorfologia, solos, clima e uso e cobertura da terra.

5.2. Aquisição e organização dos dados – Banco de Dados

Este trabalho de monografia está inserido no projeto de pesquisa denominado “Avaliação de produtos de Sensoriamento Remoto e técnicas de detecção de mudanças para o monitoramento de riscos antrópicos em faixas de dutos - estudo de caso: Duto Orbel”, financiado pelo Cnpes - Petrobras. Dessa forma, a área de estudo selecionada e a aquisição do material necessário para a realização deste trabalho permearam os objetivos do citado projeto.

Os dados referentes à área de estudo foram organizados em um banco de dados geográficos, para que as informações ficassem reunidas facilitando seu acesso e possibilitando o monitoramento.

Para este trabalho, as imagens de alta resolução espacial utilizadas são do sistema sensor GeoEye-1 e suas características são apresentadas na Tabela 5.1. O estudo foi realizado nas imagens GeoEye referentes aos meses de novembro/2009, janeiro/2010 e março/2010. A Tabela 5.2 mostra as propriedades dessas imagens.

Tabela 5.1. Características do Sistema Sensor GeoEye-1. Fonte: GEOEYE (2009).

Sistema Sensor	País	Atividade	Sensores Ópticos	Bandas	Resolução Espectral (µm)	Resolução Espacial (metros)	Resolução Temporal (dias)	Resolução Radiométrica (bits)	Tamanho das Cenas (km)
GeoEye-1	EUA	Início em 06/09/2008 Ativo	MS	Band 1	0,45 - 0,51	1,65 <i>reamostrado para 2</i>	3	11	11,3
				Band 2	0,51 - 0,58				
				Band 3	0,66 - 0,69				
				Band 4	0,78 - 0,92				
			PAN	Pan	0,45 - 0,90	0,41 <i>reamostrado para 0,5</i>			

Tabela 5.2. Propriedades das imagens GeoEye adquiridas.

Data	Nº de cenas	Nº de componentes	Ângulo de elevação do imageamento	Azimute do imageamento	Ângulo de elevação solar	Azimute solar	Horário (GMT)
07/11/2009	1	2	61,47	293,30	71,03	74,22	13:21
03/01/2010	1	2	62,34	140,41	62,43	96,19	12:58
10/03/2010	1	4	62,53	165,11	55,08	62,28	13:01

O pré-processamento destas imagens havia sido anteriormente efetuado pela equipe do projeto. Consistiu inicialmente na ortorretificação das imagens, realizada no software Envi 4.7 (RSI, 2009). Para isso foram utilizadas as cartas da FUNDREM (Fundação para o

Desenvolvimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro), do ano de 1975, como base cartográfica, que permitiu a identificação clara dos pontos de controle escolhidos tanto na base quanto na imagem a ser ortorretificada. Os pontos escolhidos foram ao nível do solo, o que diminuiu as distorções inerentes ao ângulo de aquisição da imagem, e foram distribuídos homogeneamente por toda a imagem.

A imagem GeoEye de novembro/2009 já foi adquirida fusionada, e as imagens de janeiro e março de 2010, passaram pelo pré-processamento da fusão realizado no software Envi 4.7. A fusão das imagens é um meio eficiente e econômico para se adquirir imagens com alta resolução espacial, com ênfase também na informação espectral, já que a fusão reúne, em um único produto, a melhor resolução espacial inerente à banda pancromática, com a resolução espectral das bandas multiespectrais.

5.2.1. ADEQUAÇÃO DE ESCALA DO MAPA LITOLÓGICO

A partir do Mapa Geológico obtido do Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000), na escala 1:400.000, foi necessária a adequação e compatibilização da escala do mapa adquirido e das escalas de trabalho, que variou de 1:3.000 a 1:10.000. Para essa compatibilização de escalas, utilizou-se como base a imagem GeoEye, que possui resolução espacial de 0,5 m, e foram analisados fatores como densidade de textura, forma e extensão dos topos, cor, tamanho da sombra (amplitude), que foram os condicionantes para os ajustes.

5.2.2. ADEQUAÇÃO DE ESCALA DO MAPA DE SISTEMAS DE RELEVO

O Mapa de Sistemas de Relevo também foi obtido do Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000), na escala 1:250.000. Para sua adequação às escalas de trabalho, de 1:3.000 a 1:10.000, a imagem GeoEye foi usada como apoio aos ajustes, e foram utilizados alguns critérios fotointerpretativos como textura, forma e extensão dos topos, declividade e as relações de altitudes, analisadas pelas sombras.

5.2.3. EXTRAÇÃO DAS CICATRIZES DE ESCORREGAMENTOS

As feições equivalentes às cicatrizes de escorregamentos foram extraídas nas imagens GeoEye, referentes aos meses de novembro/2009, janeiro/2010 e março/2010. As escalas utilizadas na extração variaram de 1:3.000 a 1:10.000, o que possibilitou um maior detalhamento das cicatrizes. A extração das cicatrizes se deu por meio de interpretação visual, através da utilização dos seguintes critérios: ausência de vegetação, tonalidade, forma, posição na vertente e orientação. As cicatrizes foram extraídas manualmente e diretamente na tela, utilizando-se o software ArcGis 10 (ESRI, 2010).

5.2.4. CÁLCULO DAS ÁREAS DAS CICATRIZES

Após a extração manual das cicatrizes de escorregamentos, foi feito o cálculo de suas áreas. As cicatrizes foram subdivididas em pequenas, médias e grandes. Foram consideradas cicatrizes pequenas aquelas com áreas até 150 m², médias com áreas entre 150 e 500 m², e foram avaliadas como grandes aquelas com áreas de 500 até aproximadamente 3.500 m².

5.2.5. EXTRAÇÃO DAS FRATURAS

As fraturas foram extraídas por meio de técnicas de foteointerpretação, manualmente e diretamente na tela, utilizando-se o software ArcGis 10. A imagem GeoEye de janeiro/2010 foi a base para a extração.

Para análise da relação entre a direção das fraturas e das cicatrizes de escorregamentos, extraíram-se os eixos maiores das cicatrizes, que correspondem à direção de movimento. Em seguida foram feitas rosáceas no software Spring, versão 5.0, para compreensão da relação angular entre as fraturas e os eixos das cicatrizes.

5.2.6. GERAÇÃO DO MDE E MAPA DE DECLIVIDADE

O MDE (Modelo Digital de Elevação), com resolução de 10 m, foi produzido através da digitalização das cartas topográficas da FUNDREM, com escala de 1:10.000 e curvas de nível de 5 m de equidistância, e como interpolador foi utilizado o TIN (Triangular Irregular Network).

A partir do MDE foi gerado o mapa de declividade da área, utilizando-se a ferramenta Slope do software ArcGis 10. Após a geração do mapa, foram estabelecidas quatro classes ou intervalos que variam de 0 - 15°, 15 - 30°, 30 - 45°, e valores > 45°.

5.2.7. GERAÇÃO DO MAPA DE FORMAS DE VERTENTES

O mapa de formas de vertentes foi obtido a partir do MDE. A ferramenta do ArcGis 10 para geração do mapa foi a Curvature do Módulo Spatial Analyst. Dessa forma, foram destacadas as formas de vertente côncavas, retilíneas e convexas.

5.2.8. MAPA DE SUSCETIBILIDADE AO ESCORREGAMENTO

Para confecção do Mapa de Suscetibilidade ao Escorregamento foram analisados os condicionantes do processo e foram atribuídos pesos para cada mapa temático, sendo estes: o mapa litológico, de sistemas de relevo, de declividade, e de formas de vertentes; e também para as classes de cada mapa.

A atribuição de pesos dos critérios foi feita por uma equipe multidisciplinar das áreas de Geologia Ambiental, Geotécnica, Geoprocessamento, e Geografia. Após a atribuição de pesos de cada consultor, foi feita uma média e elaborada uma tabela final dos pesos (Tabela 5.3).

O mapa de suscetibilidade ao escorregamento foi gerado pela ferramenta Weighted Overlay do ArcGis 10 e os dados utilizados foram os da Tabela 5.3. O mapa apresenta a seguinte classificação quanto à suscetibilidade: Baixa, Média, Alta e Muito Alta. O mapa foi validado a partir da sobreposição das cicatrizes de escorregamentos extraídas nas imagens GeoEye, e a análise da quantidade de cicatrizes em cada classe de suscetibilidade.

Tabela 5.3. Atribuição de pesos dos critérios.

Mapas Temáticos:	Peso: D+L+R+V=100%	-	-	Peso: 0 a 9 p/ cada
Declividade (D)	50	Classes de declividade	0 – 15°	2
			15 – 30°	4
			30 – 45°	8
			> 45°	7
Litologia (L)	10	Depósitos Flúvio-Lagunares: areia, argila e silte.		Restricted*
		Suíte Tinguá: rochas alcalinas (fonólito, nefelina sienito, foialito).		8
		Santo Aleixo: granitoides.		6
		Serra dos Órgãos: granitoides e granodioritos.		6
Sistemas de Relevo (R)	20	Colinas isoladas		3
		Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos		7
		Escarpas serranas		9
		Planícies aluviais		Restricted*
		Planícies colúvio-alúvio-marinhas		Restricted*
Forma de Vertentes (V)	20	Côncava		4
		Retilínea		8
		Convexa		2

*Restricted – Pesos Próximos a Zero

5.2.9. RELAÇÃO ENTRE OS ESCORREGAMENTOS E OS CONDICIONANTES NATURAIS

As relações entre os escorregamentos e o substrato geológico, os sistemas de relevo, as classes de declividade e as formas de vertentes, foram feitas por meio da contagem de cicatrizes de escorregamentos por classe em cada mapa temático. Dessa forma, os gráficos elaborados no Excel 2007, mostram a quantidade de cicatrizes nas classes de cada mapa temático, em cada mês de extração (novembro/2009, janeiro/2010 e março/2010). E por fim, as tabelas apresentam a relação cicatriz/km² das classes de cada mapa.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Análise da extração das cicatrizes de escorregamentos

A partir da extração manual das cicatrizes de escorregamentos chegou-se aos seguintes números, apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1. Quantidade de cicatrizes no período de estudo.

Data da Imagem GeoEye	Quantidade de cicatrizes
Novembro/2009	3
Janeiro/2010	166
Março/2010	111

Observou-se que houve um aumento significativo na quantidade de cicatrizes no período entre os meses de novembro e janeiro, isso pode ser atribuído às fortes chuvas que ocorreram nos meses de dezembro de 2009 e janeiro de 2010.

O mês de março apresentou um leve sombreamento devido ao ângulo de elevação solar, o que dificultou na extração visual das cicatrizes. Consequentemente houve uma diminuição no número de cicatrizes.

A seguir, a Figura 6.1 destaca algumas cicatrizes de escorregamentos encontradas nas imagens dos três meses e as dificuldades encontradas na sua identificação, como sombreamento, a regeneração da vegetação na cicatriz ou fechamento das copas das árvores após a movimentação.

Observou-se que em novembro/2009 não havia uma quantidade significativa de cicatrizes, pois os escorregamentos ocorreram devido às chuvas de dezembro. Em janeiro as cicatrizes foram claramente identificadas, já em março o sombreamento e a regeneração da vegetação em algumas cicatrizes foram os principais fatores que dificultaram a identificação e consequente extração visual.

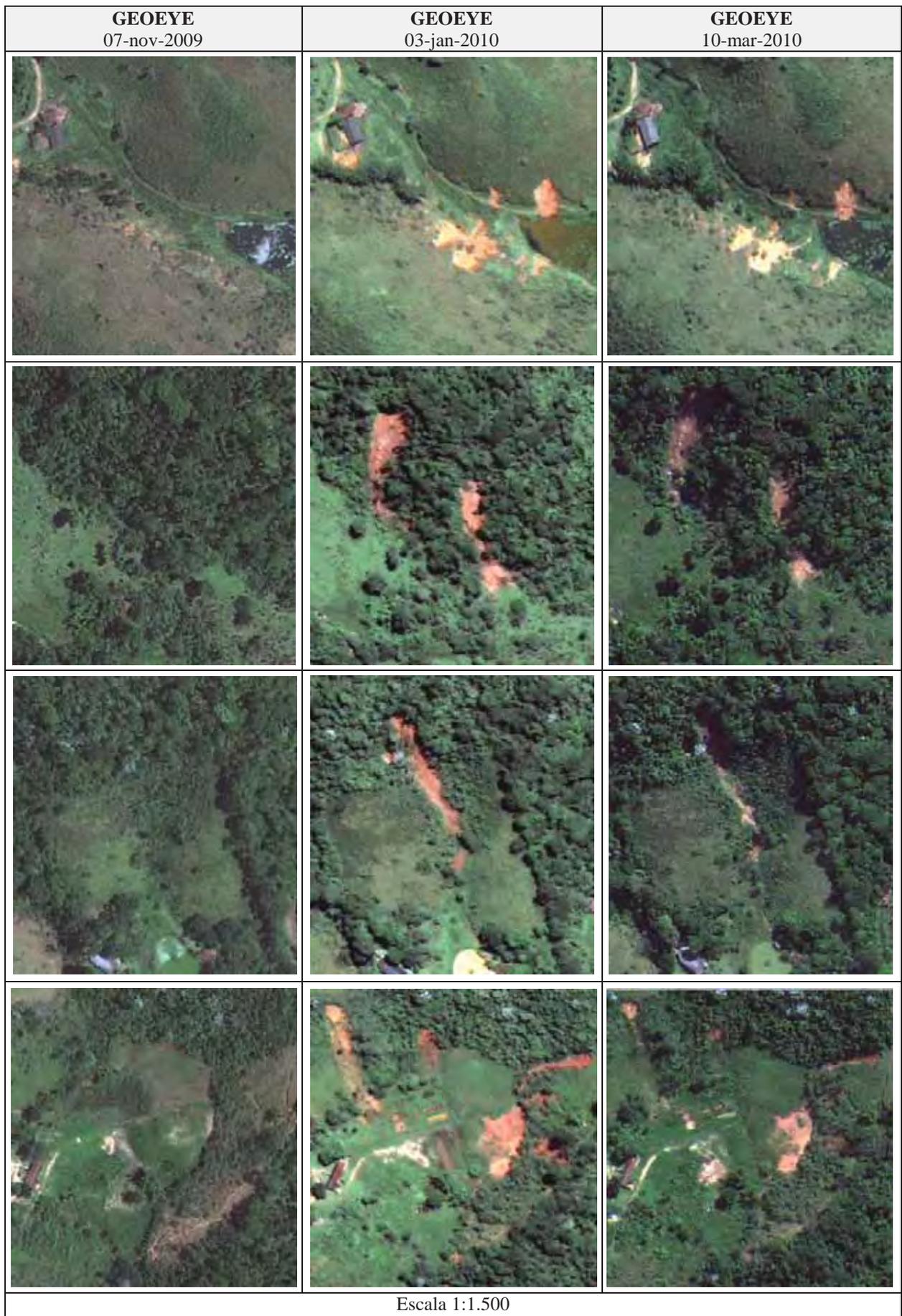


Figura 6.1. Cicatrizes de escorregamentos identificadas nas imagens GeoEye.

No que diz respeito ao tamanho das cicatrizes, o gráfico da Figura 6.2 mostra a subdivisão em pequenas, médias e grandes, segundo os critérios adotados, com relação ao período de estudo.

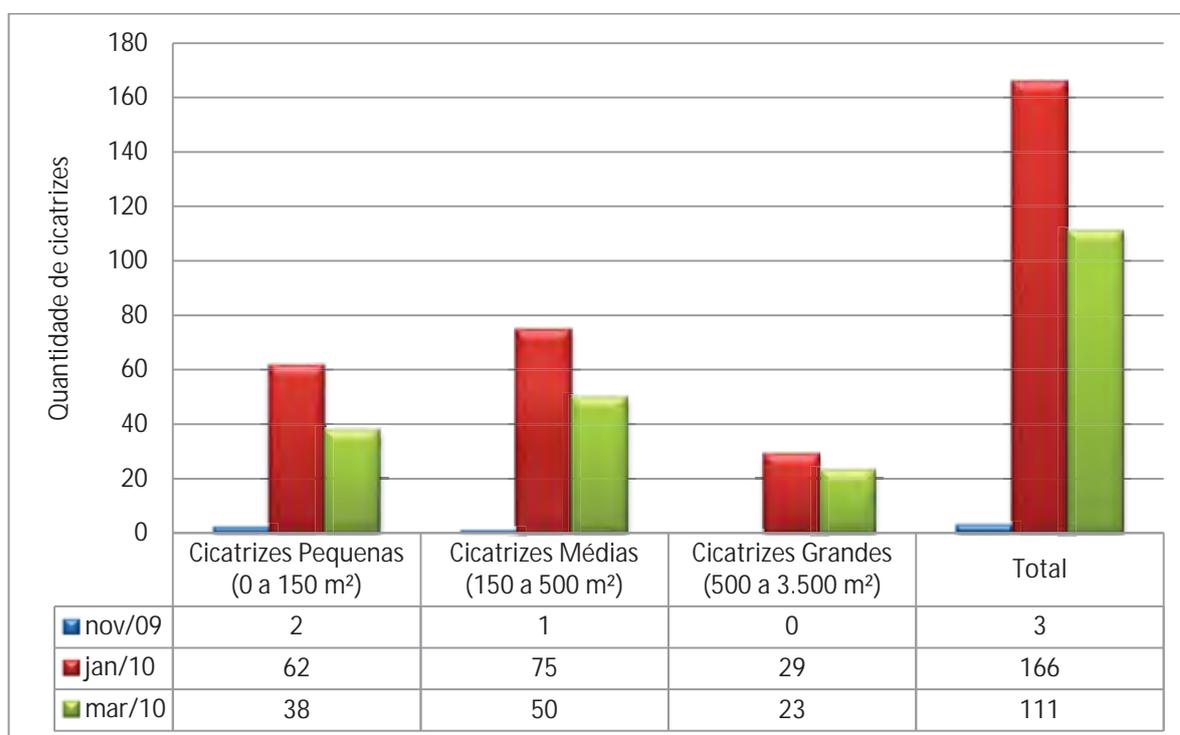


Figura 6.2. Gráfico da relação do tamanho das cicatrizes, quantidade e período de estudo.

Observa-se nesse gráfico que as cicatrizes grandes foram extraídas nos meses de janeiro e março de 2010, devido às chuvas intensas, que no período de estudo apresentou uma precipitação de 1954 mm. As cicatrizes médias são as mais comuns e são aquelas encontradas principalmente em taludes de estradas, em que a declividade não é muito alta.

6.2. Análise da extração de fraturas

As fraturas foram extraídas da imagem GeoEye do mês de janeiro/2010, totalizando 327 fraturas. A Figura 6.3 mostra, em traços vermelhos, as fraturas extraídas num trecho da área de estudo.



Figura 6.3. Fraturas (traços em vermelho) extraídas na imagem GeoEye de janeiro/2010.

A partir das cicatrizes identificadas, traçaram-se os eixos de maior comprimento das mesmas, que correspondem à direção de movimento do material. A Figura 6.4 apresenta em amarelo as cicatrizes de escorregamentos e em branco os eixos que foram extraídos na imagem GeoEye de janeiro/2010.



Figura 6.4. Cicatrizes (em amarelo) e eixos de maior comprimento (traços em branco) extraídos na imagem GeoEye de janeiro/2010.

A rosácea realizada para os eixos maiores das cicatrizes de escorregamentos, ou seja, a direção do movimento, mostrou concentração maior de valores entre N30-50W. Já a rosácea das fraturas, os valores mostraram várias concentrações, com predomínio dos intervalos de N50-70W e N10-30W e, secundariamente, N 50-70E, como pode ser visualizado na Figura 6.5.

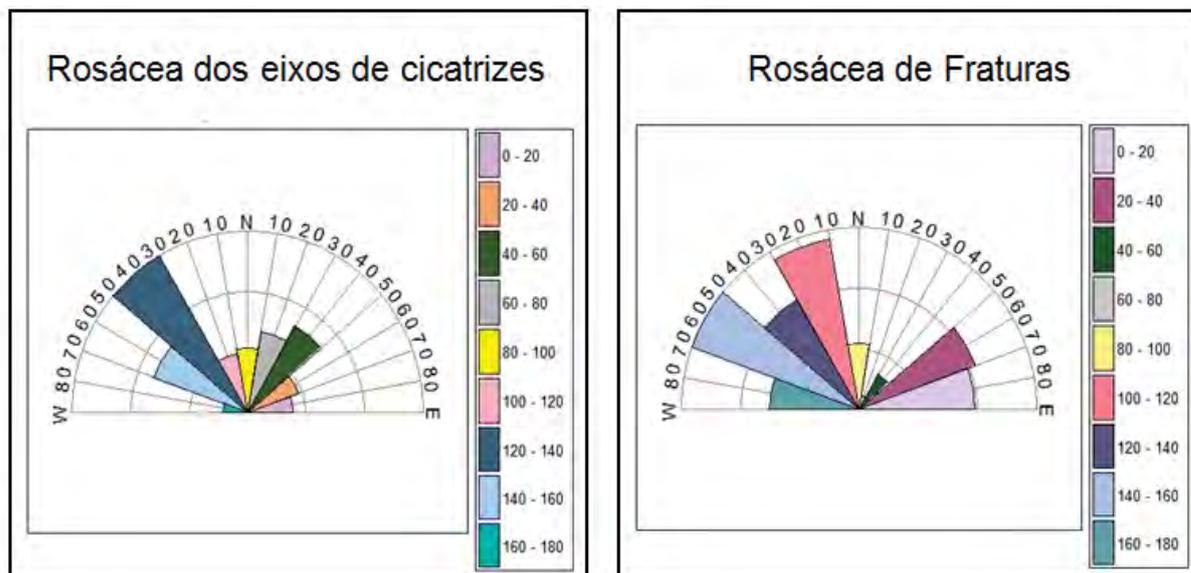


Figura 6.5. Rosáceas dos eixos maiores das cicatrizes de escorregamentos e das fraturas.

6.3. Relação entre os escorregamentos e os condicionantes naturais

6.3.1. LITOLOGIA

A Figura 6.6 exibe o Mapa Litológico na escala 1:70.000 da área de estudo, com sobreposição das cicatrizes extraídas no mês de janeiro de 2010, que apresentou o maior número de cicatrizes. A Figura 6.7 mostra a relação das cicatrizes de escorregamentos com as unidades litológicas encontradas na área e a Tabela 6.2 mostra a relação cicatriz por área de cada unidade.

MAPA DE UNIDADES LITOLÓGICAS E CICATRIZES DE ESCORREGAMENTOS

Legenda:

— Faixa de dutos ORBEL

■ Cicatrizes de escorregamentos

Unidades Litológicas:

Qhl Depósitos Flúvio-Lagunares

Argila rica em matéria orgânica, e concentrações locais de diatomita e turfas.

KTAt Tinguaá

Rochas alcalinas compostas por nefelina sienitos, fonólitos, tinguaiitos e brechas.

Ny2ss Unidade Santo Aleixo

Granitóides constituídos por granada-hornblenda-biotita granodiorito rico em xenólitos de paragneisse.

Ny2s Unidade Serra dos Órgãos

Granitóides constituídos por hornblenda-biotita, granitóide de granulação grossa e composição tonalítica a granítica.



Escala 1:70.000

Datum: WGS 1984

Projeção: UTM/ 23S

Unidade: metros

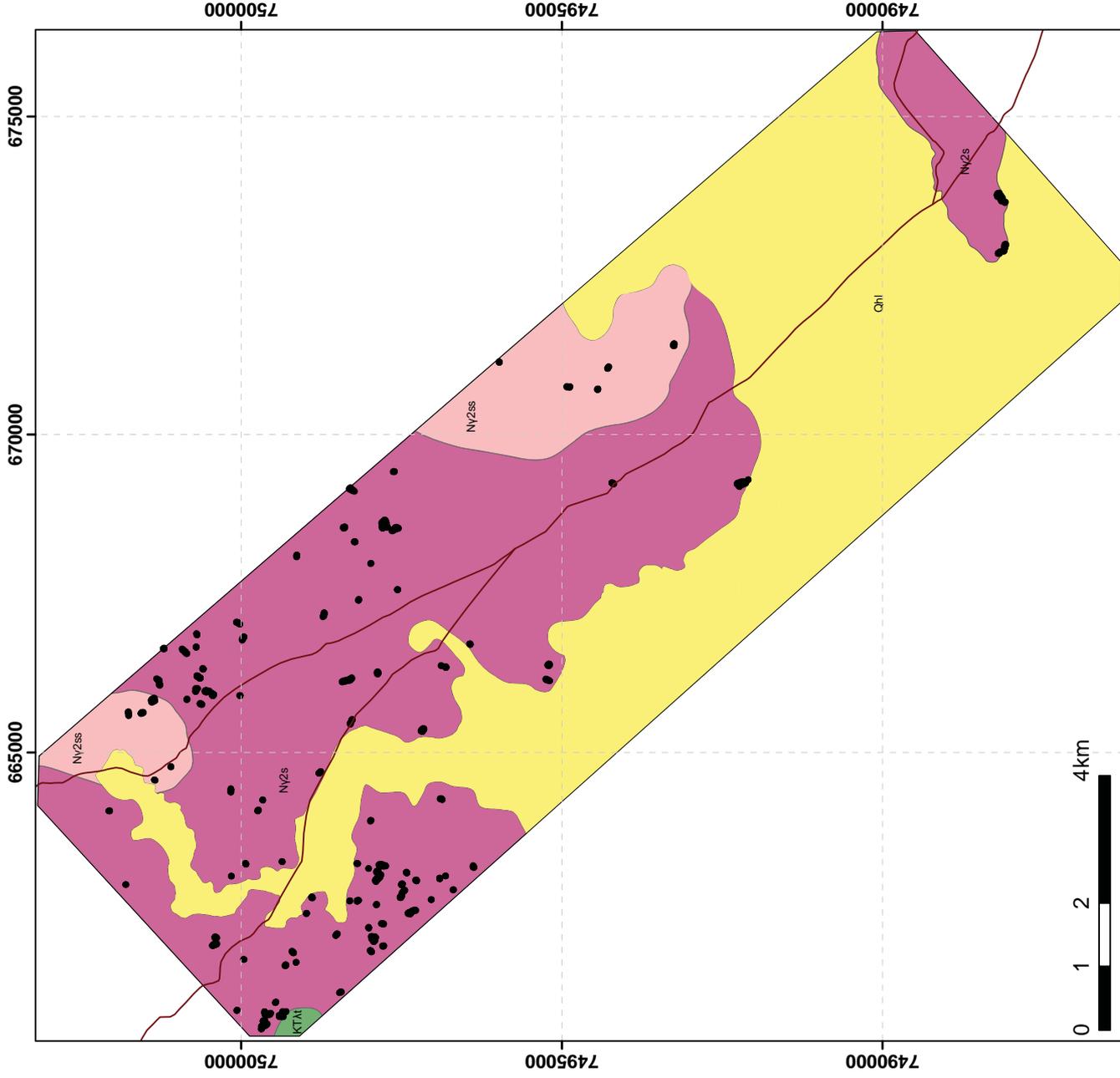


Figura 6.6. Mapa de Unidades Litológicas. Fonte: adaptado de CPRM (2000).

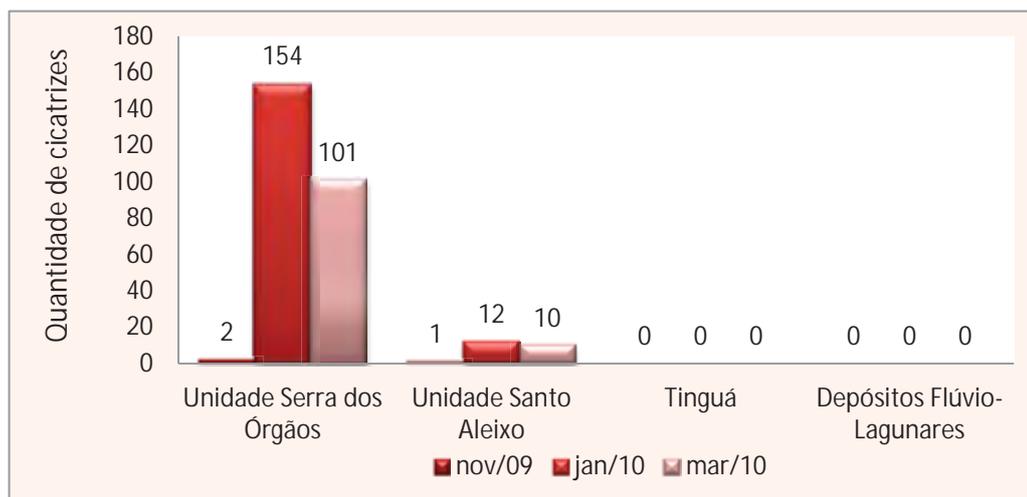


Figura 6.7. Gráfico relacionando litologias, quantidade de cicatrizes e o período de estudo.

Tabela 6.2. Relação das cicatrizes por área de cada unidade litológica.

Unidades litológicas	Quantidade de cicatrizes (Janeiro)	Área (km ²)	Relação cicatriz/km ²
Depósitos Flúvio Lagunares	0	48.69	0
Suíte do Tingua	0	0.214	0
Serra dos Órgãos	154	48.89	3.15
Santo Aleixo	12	8.82	1.36

Observou-se que há uma concentração maior de cicatrizes na Unidade Serra dos Órgãos, constituída basicamente por granitóides, com menor concentração encontra-se a Unidade Santo Aleixo, também constituída por granitóides. Isso pode ser explicado relacionando a litologia, com os aspectos geomorfológicos e de declividade.

A relação cicatriz por quilômetro quadrado, apresentada na Tabela 6.2, reafirmou que as unidades Serra dos Órgãos e Santo Aleixo são as que apresentam maior concentração das cicatrizes extraídas.

6.3.2. SISTEMAS DE RELEVO

A Figura 6.8 exibe o Mapa de Sistemas de Relevo (escala 1:70.000) da área com a sobreposição das cicatrizes de escorregamentos. A Figura 6.9 mostra a relação das cicatrizes de escorregamento com os diferentes sistemas de relevo e a Tabela 6.3 mostra a relação cicatriz por área de cada sistema.

MAPA DE SISTEMAS DE RELEVO E CICATRIZES DE ESCORREGAMENTOS

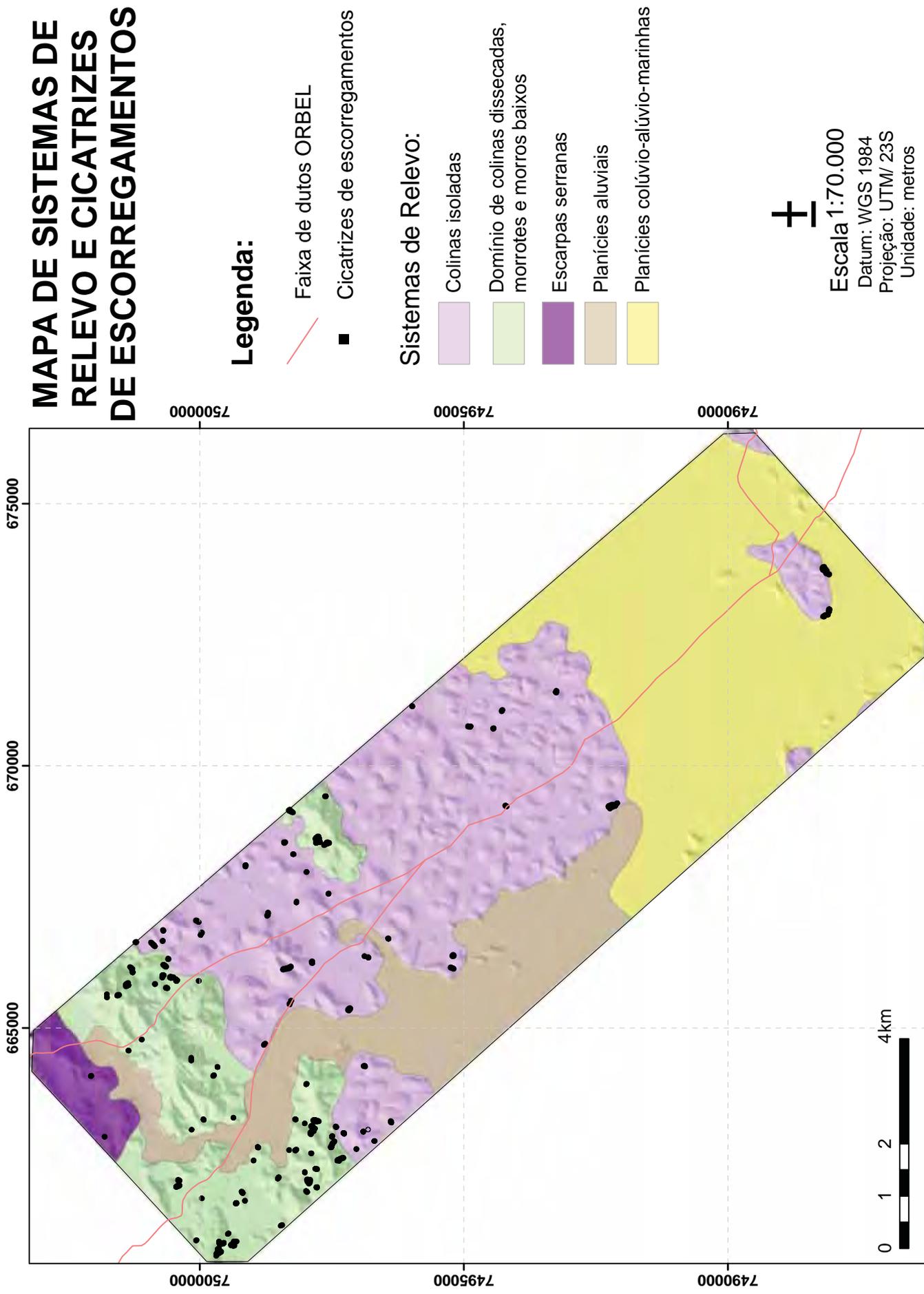


Figura 6.8. Mapa de Sistemas de Relevo. Fonte: adaptado de CPRM (2000).

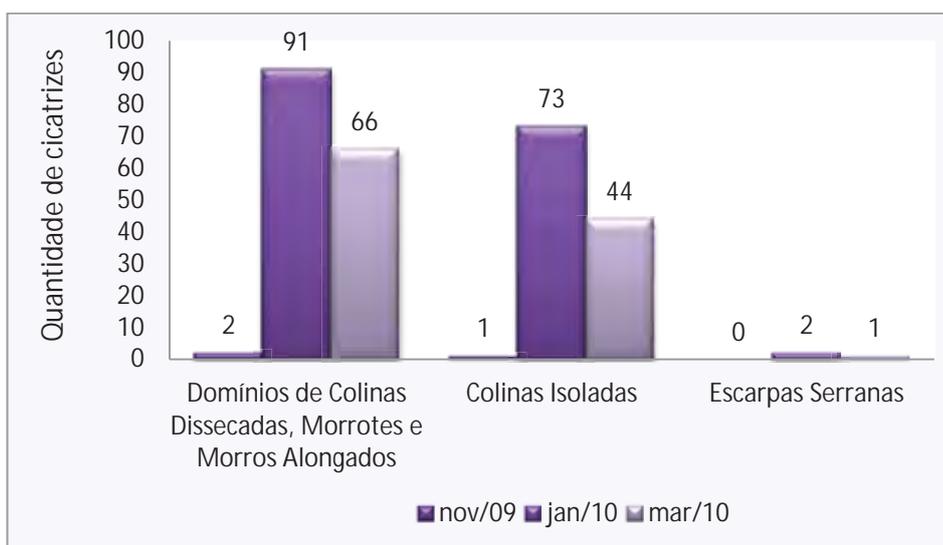


Figura 6.9. Gráfico relacionando sistemas de relevo, quantidade de cicatrizes e o período de estudo.

Tabela 6.3. Relação das cicatrizes por área de cada sistema de relevo.

Sistemas de Relevo	Quantidade de cicatrizes (Janeiro)	Área (km ²)	Relação cicatriz/km ²
Planícies Aluviais	0	16.34	0
Planícies Colúvio-alúvio-marinha	0	34	0
Colinas Isoladas	73	37.64	1.94
Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos	91	15.98	5.7
Escarpas Serranas	2	2.64	0.76

Em relação aos sistemas de relevo da área, observaram-se concentrações das cicatrizes nos Domínios de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos e nas Colinas Isoladas. As Escarpas Serranas apareceram com baixa concentração, mas isso se deve ao fato desse sistema de relevo ter ocorrência restrita na área de estudo, como pode ser observado no mapa da Figura 6.8.

Pela Tabela 6.3 pôde-se confirmar, a partir da relação cicatriz por quilômetro quadrado, que os sistemas de relevo de Domínios de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos e as Colinas Isoladas, são os que apresentaram maior concentração das cicatrizes de escorregamento.

6.3.3. DECLIVIDADE

A Figura 6.10 exibe o Mapa de Declividade da área, na escala 1:70.000, feito a partir de informações do Modelo de Elevação do Terreno (MDE). A Figura 6.11 mostra a relação das cicatrizes de escorregamento com a declividade, e a Tabela 6.4 mostra a relação cicatriz por área de cada classe de declividade.

MAPA DE DECLIVIDADE E CICATRIZES DE ESCORREGAMENTOS

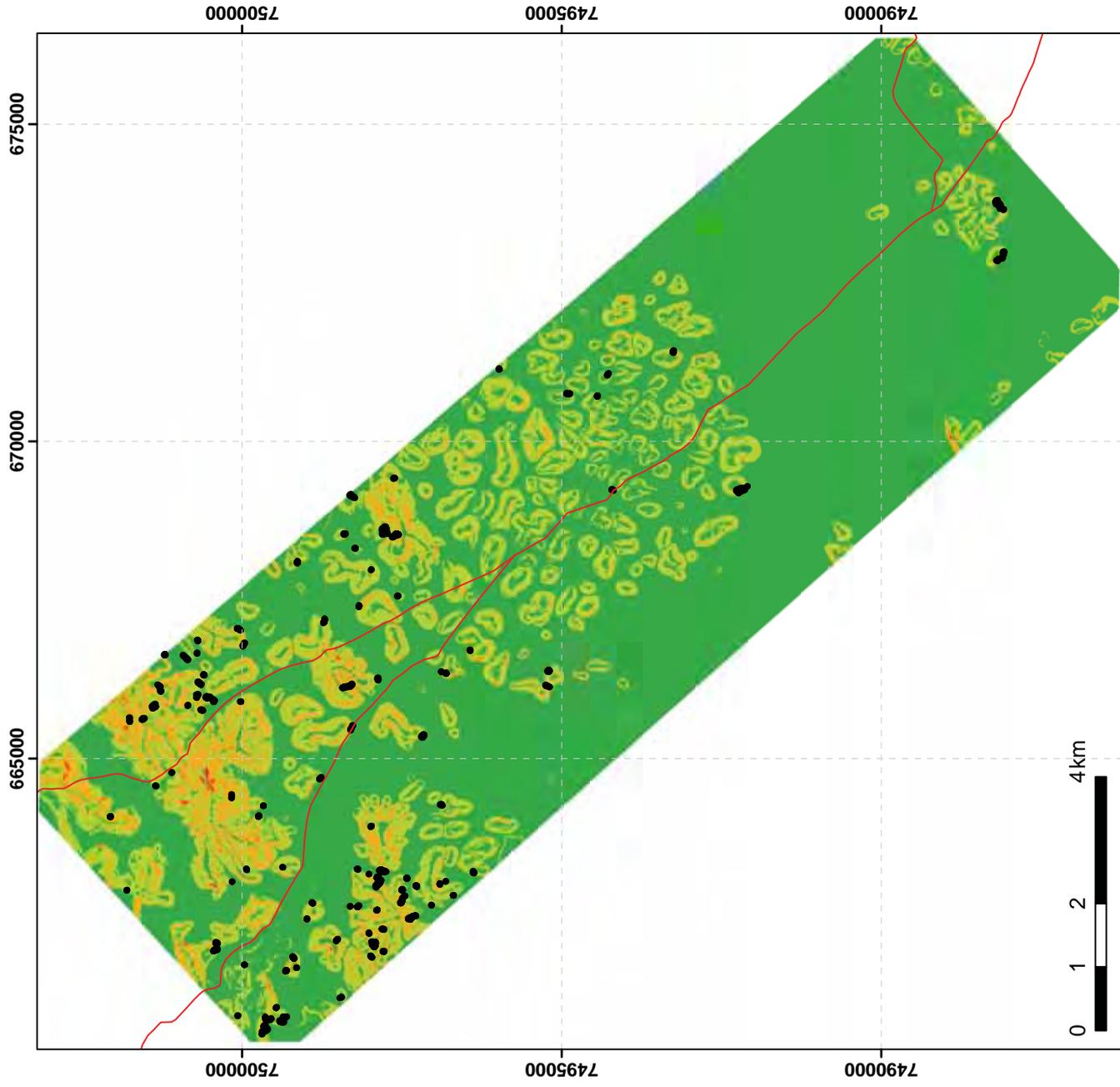


Figura 6.10. Mapa de Declividade. Base cartográfica: FUNDREM (1975).

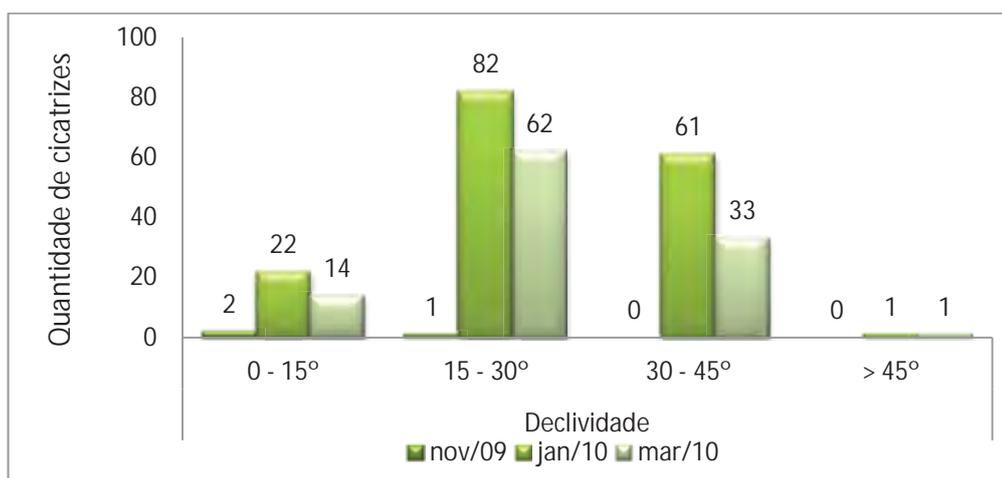


Figura 6.11. Gráfico relacionando declividade, quantidade de cicatrizes e o período de estudo.

Tabela 6.4. Relação das cicatrizes por área de cada classe de declividade.

Classes declividade	Quantidade de cicatrizes (Janeiro)	Área (km ²)	Relação cicatriz/km ²
0 - 15°	22	79.37	0.28
15 - 30°	82	21.69	3.8
30 - 45°	61	5.38	11.3
> 45°	1	0.08	12.5

A partir do Mapa de Declividade (Figura 6.10) e o gráfico apresentado (Figura 6.11), observou-se uma concentração maior das cicatrizes de escorregamentos no intervalo de declividade entre 15 - 30° e secundariamente no intervalo de 30 - 45°.

A relação cicatriz por quilômetro quadrado de cada intervalo ou classe de declividade, mostrou que a classe > 45° tem a maior relação cicatriz/km², isso se deve ao fato da área dessa classe ser pequena. A classe 30 - 45° apresentou também alta relação cicatriz/Km².

6.3.4. FORMAS DE VERTENTES

A Figura 6.12 exibe o Mapa de Formas de Vertentes (escala 1:70.000) da área, efetuado a partir de informações do MDE. A Figura 6.13 mostra a relação das cicatrizes extraídas com as formas de vertentes e a Tabela 6.5 mostra a relação cicatriz por área de cada forma de vertentes.

MAPA DE FORMAS DE VERTENTES E CICATRIZES DE ESCORREGAMENTOS

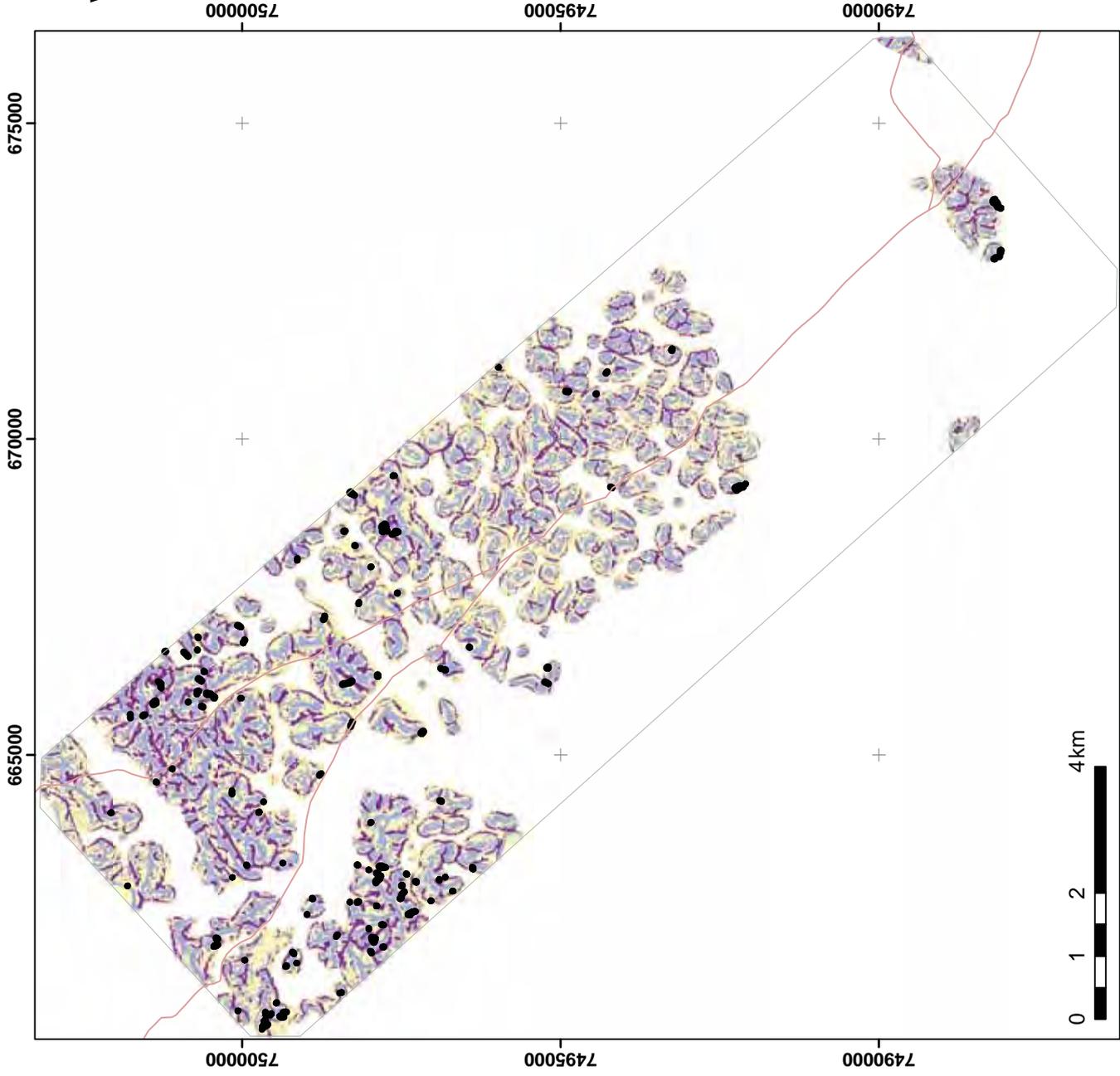


Figura 6.12. Mapa de Formas de Vertentes. Base cartográfica: FUNDREM (1975).

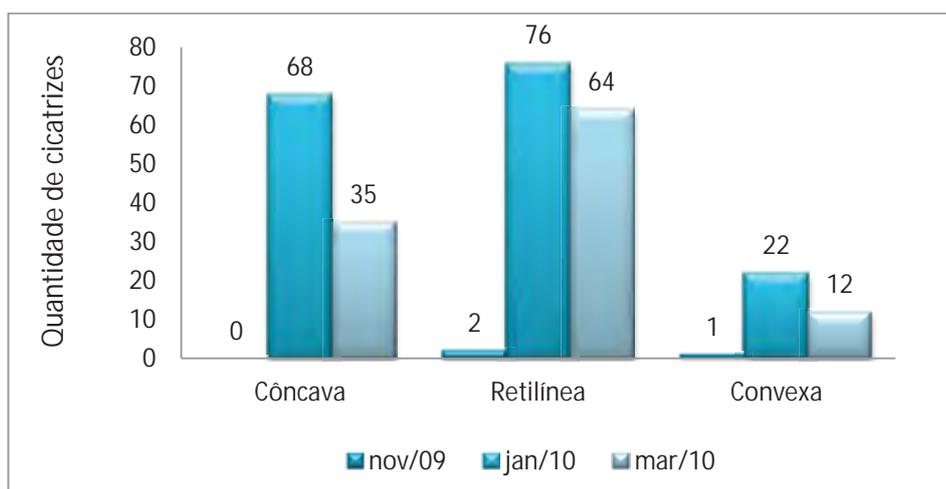


Figura 6.13. Gráfico relacionando as formas de vertentes, a quantidade de cicatrizes e o período de estudo.

Tabela 6.5. Relação das cicatrizes por área de cada forma de vertentes.

Formas das Vertentes	Quantidade de cicatrizes (Janeiro)	Área (km ²)	Relação cicatriz/km ²
Côncavas	68	9.2	7.39
Retilíneas	76	23.53	3.23
Convexas	22	12.26	0.56

A partir do Mapa de Formas de Vertentes (Figura 6.12) e o gráfico da Figura 6.13, observou-se que as vertentes retilíneas são as que apresentaram a maior concentração das cicatrizes de escorregamentos. Secundariamente estão as vertentes côncavas.

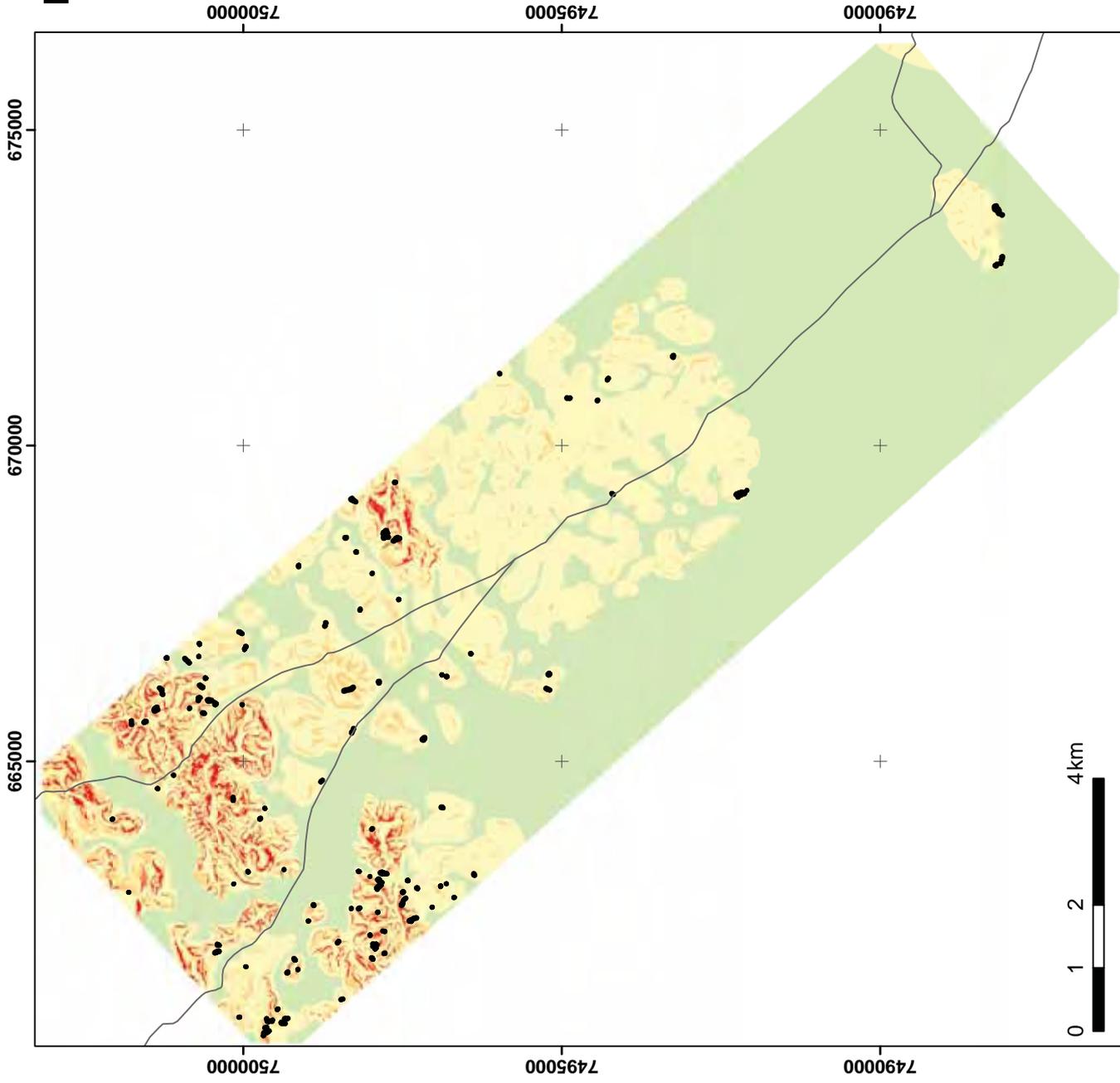
A relação cicatriz por quilômetro quadrado de cada forma de vertentes mostrou que as vertentes côncavas têm a maior relação com a ocorrência dos escorregamentos, seguida pelas retilíneas.

6.4. Mapa de Suscetibilidade ao Escorregamento

A partir da análise multicriterial ponderada elaborada com os seguintes mapas temáticos: Mapa Litógico, Mapa de Sistemas de Relevo, Mapa de Declividade e Mapa de Formas de Vertentes, foi gerado o Mapa de Suscetibilidade ao Escorregamento, que é apresentado na escala 1:70.000.

A Figura 6.14 mostra o mapa produzido e a sobreposição das cicatrizes de escorregamentos extraídas. O gráfico da Figura 6.15 mostra a quantidade de cicatrizes em cada classe de suscetibilidade no período de estudo e a Tabela 6.6 mostra a relação cicatriz por área de cada classe de suscetibilidade.

MAPA DE SUSCETIBILIDADE AO ESCORREGAMENTO

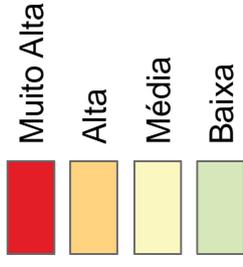


Legenda:

— Faixa de dutos ORBEL

■ Cicatrizes de escorregamentos

Classes de Suscetibilidade:



Escala 1:70.000

Datum: WGS 1984

Projeção: UTM/ 23S

Unidade: metros

Figura 6.14. Mapa de Suscetibilidade ao Escorregamento.

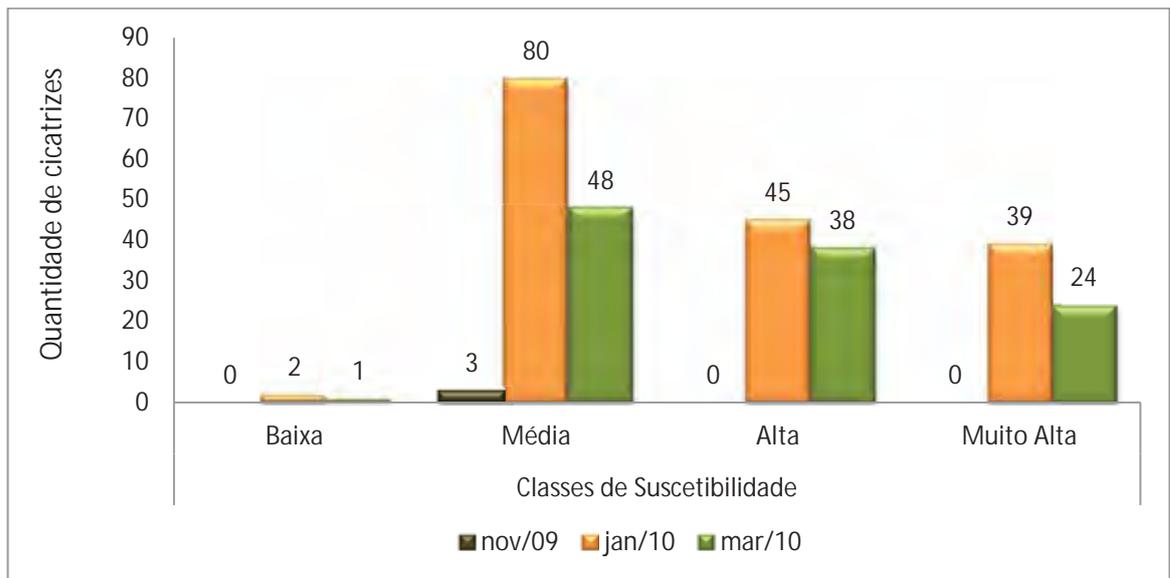


Figura 6.15. Gráfico relacionando as classes de suscetibilidade, a quantidade de cicatrizes e o período de estudo.

Tabela 6.6. Relação das cicatrizes por área de cada classe de suscetibilidade.

Classes de Suscetibilidade	Quantidade de cicatrizes (Janeiro)	Área (km ²)	Relação cicatriz/km ²
Baixa	2	62.06	0.03
Média	80	35.72	2.24
Alta	45	6.86	6.56
Muito Alta	39	1.84	21.2

O Mapa de Suscetibilidade ao Escorregamento (Figura 6.14) foi validado pelas cicatrizes previamente extraídas, e observou-se que os escorregamentos ocorreram em áreas com a classificação de média a muito alta, como pode ser visualizado no gráfico da Figura 6.15.

A relação cicatriz por quilômetro quadrado de cada classe de suscetibilidade, como pode ser visualizada na Tabela 6.6, mostrou que a classe Muito Alta tem a maior relação, seguida das classes Alta e Média, respectivamente.

7. CONCLUSÃO

A análise temporal dos fenômenos de escorregamentos mostrou-se adequada para o monitoramento das mudanças ocorridas na área de estudo no período de cinco meses (novembro/2009 a março/2010).

Comparando-se a quantidade de cicatrizes de escorregamentos na imagem de janeiro de 2010 com a imagem de novembro de 2009, constatou-se um grande aumento no número de ocorrências. Esse aumento na quantidade de cicatrizes pode ser atribuído às intensas chuvas de verão, ocorridas entre dezembro/2009 e janeiro/2010, que nesse período teve uma precipitação de 1.954 mm. Ressalta-se que foram encontradas algumas dificuldades de extração das cicatrizes devido ao sombreamento nas imagens e ao fechamento da copa das árvores em algumas cicatrizes, principalmente no mês de março/2010.

Quanto à relação das fraturas com as cicatrizes de escorregamentos, esperava-se que as direções perpendiculares ou transversais aos eixos fossem as mais frequentes, podendo influenciar na liberação da massa em movimento. Concluiu-se, a partir destes resultados, que embora exista uma notável ocorrência de fraturas na direção N50-70E, aproximadamente perpendicular à direção do eixo maior dos escorregamentos, não se pode afirmar que exista uma relação direta entre as direções das fraturas e as cicatrizes, que dependem fortemente da declividade, da forma da encosta e tipo de terreno.

A partir dos mapas temáticos apresentados na escala 1:70.000 e da análise dos dados dos gráficos e tabelas, pode-se concluir que as regiões mais suscetíveis à ocorrência de escorregamentos são aquelas em que a declividade está entre 15 e 30°. Nestas regiões estão presentes os granitoides das unidades Serra dos Órgãos e Santo Aleixo, associados aos sistemas de relevo correspondentes ao Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos, Colinas Isoladas e Escarpas Serranas.

O Mapa de Suscetibilidade ao Escorregamento apresenta-se de forma coerente quando validado pelas cicatrizes de escorregamentos extraídas, pois estas ocorreram onde a suscetibilidade é de média a muito alta. Conclui-se, portanto, que a declividade é o principal condicionante dos escorregamentos, aliados às formas de vertentes, os sistemas de relevo e a litologia presentes na área de estudo.

Observou-se que os escorregamentos ocorrem na Área de Influência Direta do duto e em parte da Área de Influência Indireta. Isso mostra a importância dessa análise, pois a partir do Mapa de Suscetibilidade é possível a identificação dos locais suscetíveis a esse fenômeno e, dessa forma, pode-se averiguar constantemente essas áreas para evitar potenciais acidentes no duto decorrentes de escorregamentos.

Em vista das conclusões apresentadas, ressalta-se a importância da observação constante dos trechos da faixa de dutos Rio de Janeiro - Belo Horizonte que passam por essas unidades. Assim, intensificando o monitoramento e aplicando medidas de prevenção, principalmente no que diz respeito à remoção de solo e vegetação, uma vez que tais práticas intensificam a fragilidade natural do terreno.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. 2002. Portaria n° 125. 5.8.2002. DOU 6.8.2002. Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder_portarias_anp/portarias_anp_tec/2002/agosto/panp%20125%20-%202002.xml?fn=document-frame.htm&f=templates\\$3.0](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder_portarias_anp/portarias_anp_tec/2002/agosto/panp%20125%20-%202002.xml?fn=document-frame.htm&f=templates$3.0)> Acessado em 24 set 2012.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. 2012. Glossário. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?id=582#d>>. Acessado em: 24 set 2012.

Augusto Filho, O. 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. *In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1*, Rio de Janeiro, *Anais...*, p. 721-733.

Augusto Filho, O. 1994. Cartas de Risco de Escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 167 p.

Bigarella, J. J. 2003. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: *Ed. da UFSC*, 3: 884 – 939.

Câmara, G. 2005. Capítulo 1: Representação computacional de dados geográficos. *In: Casanova, M. et al (Ed.). Bancos de dados geográficos*. São Jose dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - INPE. p. 1-44.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 2000. Projeto Rio de Janeiro. Relatórios Técnicos. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil Departamento de Recursos Minerais – DRM – RJ.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 2003. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: textos, mapas & SIG*. Bizzi, L. A.; Schobbenhaus, C.; Vidotti, R. M.; Gonçalves, J. H. (Orgs.) Brasília, 692 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2006. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro. 306p.

ESRI – ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE. ARC/INFO v.10 Redlands, 2010. Programa de computador. DVD-ROM.

Fernandes, N. F. & Amaral, C. P. 1996. Capítulo 3: Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. (Eds.). *Geomorfologia e meio ambiente*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p. 123-194.

Ferreira, M. V. 2009. Análise das pressões do uso e ocupação da terra sobre o trecho da faixa de dutos Rio – Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 184 p.

Ferreira, M. V.; Riedel, P. S.; Lopes, E. S. S.; Merino, E. R. 2008. Comparação entre diferentes critérios para elaboração de mapas de suscetibilidade aos escorregamentos. Exemplo do Município de Cubatão, Serra do Mar Paulista. *Revista Brasileira de Cartografia*, **60**: 385-400.

Fogliatti, M. C.; Filippo, S.; Goudard, B. 2004. *Avaliação de impactos ambientais – Aplicação ao Sistema de Transporte*. Editora Interciência. Rio de Janeiro.

Fonseca, M.J.G.; Peçanha, R.M.; Junho, M.C.B.; Francisco, B.H.R.; Dreher, A.M. 1998. Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro (Escala 1:400.000). Texto explicativo, DNPM, 141 p.

GEOEYE, INC. 2009. GeoEye Product Guide. Disponível em: <http://www.genesisis.com/pdf/2009_geoeye_product_guide.pdf>. Acessado em 30 out 2012.

Guidicini, G. & Iwasa, O. Y. 1976. *Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido*. São Paulo: IPT, 48 p.

Guidicini, G. & Nieble, C. M. 1984. *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. 2º Edição. Edgard Blücher, São Paulo, 194 p.

Heilbron, M.; Pedrosa-Soares, A.C.; Silva, L.C.; Campos Neto, M.C.; Trouw, R.A.J. 2004. A Evolução Tectônica da Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito Neves, B.B. (Coords.). *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, São Paulo, p. 203-234.

Infanti Junior, N. & Fornasari Filho, N. Processos de Dinâmica Superficial. 1998. In: Oliveira, A.M.S. & Brito, S.N.A. (Eds.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 9, p.131-152.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Gráficos de precipitação da Estação A606 - Xerem (Duque de Caxias) referentes a 2009 e 2010. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br>>. Acessado em 27 set 2012.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1988. Programa Serra do Mar: Estudo geotécnico dos principais mecanismos de instabilização na Serra do Mar. São Paulo. Relatório n 25957.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. 1991. Ocupação de encostas. Cunha, M.A. (Coord.) São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. – (Publicação IPT n.1831).

Lu, D. S; Mausel, P.; Brondízio, E.; Moran, E. Change detection techniques. 2004. *International Journal of Remote Sensing*. Jun. Vol. 25, n. 12, p. 2365-2401.

Mansur, K.; Medeiros, F.; Guedes, E.; Guimarães, P. V. 2005. Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro - As rochas nos contam sua história. DRM-RJ. *In: Simpósio de Geologia do Sudeste, IX, Niterói.*

Marcelino, E. V. 2004. Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 228 p.

Nogueira-Junior, J. & Marques, A. S. 1998. Capítulo 30: Linhas de transmissão e dutovias. *In: Oliveira, A. M. S. & Brito, S. N. A. (Eds.). Geologia de Engenharia*. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, p. 475-485.

Novo, E. M. L. de Moraes. 2010. *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações*. 4ª ed. Blucher, São Paulo, 387 p.

Resolução CONAMA nº 01. “Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente.” – Data da Legislação: 23/01/1986 - Publicação no DOU: 17/02/1986.

RSI - Research Systems Inc. The Environment for Visualizing Images - ENVI. Boulder, CO, USA, 2009.

SPRING: “Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling” Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

Strahler, A. 1975. *Geografia física*. Omega, Barcelona.

Terzian, R. L. 2005. Conceitos e metodologias de gestão de projeto e sua aplicação ao caso da Integridade da malha dutoviária. Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial, Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 130 p.

Tominaga, L. K. 2007. Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP. Tese de Doutorado, Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 220 p.

Tominaga, L. K. 2011. Capítulo 2: Escorregamentos. *In: Tominaga, L. K.; Santoro, J.; Amaral, R. (Orgs.). Desastres Naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico. p. 25-38.

TRANSPETRO – PETROBRÁS TRANSPORTE S. A.. Atividades. 2012. Disponível em: <www.transpetro.com.br>. Acesso em 06 fev. 2012.

Valente, R. O. A. 2005. Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG. Tese de Doutorado em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 121 p.

Vedovello, R. & Macedo E. S. 2007. Capítulo 6. *In*: Santos, R. F. (org). *Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?* Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 75-93.

Wolle, C.M. & Carvalho, C. S. 1989. Deslizamentos em encostas na Serra do Mar - Brasil. *Solos e Rochas*, **12**: 27-36.