
NATÁLIA REZENDE COSTA

**UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS NO
MONITORAMENTO DE PROCESSOS EROSIVOS E
MOVIMENTOS DE MASSA EM TRECHO DA FAIXA DE
DUTOS RIO DE JANEIRO – BELO HORIZONTE**

*Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas,
Campus de Rio Claro (SP), da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
para obtenção do grau de Engenheiro
Ambiental.*

Orientadora: Profa. Dra. Paulina Setti Riedel
Co-orientadora: Profa. Dra. Mara Lúcia Marques

Rio Claro (SP)
2010

NATÁLIA REZENDE COSTA

UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS NO MONITORAMENTO
DE PROCESSOS EROSIVOS E MOVIMENTOS DE MASSA EM
TRECHO DA FAIXA DE DUTOS RIO DE JANEIRO – BELO
HORIZONTE

*Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas,
Campus de Rio Claro (SP), da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
para obtenção do grau de Engenheiro
Ambiental.*

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Paulina Setti Riedel (orientadora)
Profa. Dra. Lucilia do Carmo Giordano
Thaís Minatel Tinós

Rio Claro, 23 de Novembro de 2010.

Natália Rezende Costa

Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

*Aos meus pais.
Pelo esforço, dedicação,
compreensão e apoio
em todos os momentos desta
e de outras caminhadas.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço muito à Paulina Setti Riedel, pela orientação, dedicação, apoio, confiança e, pela oportunidade de fazer parte da sua equipe neste trabalho.

À minha co-orientadora Mara Lúcia Marques pela fundamental ajuda ao longo de todo o trabalho, e pelas dicas para melhorá-lo sempre mais.

Meus sinceros agradecimentos aos colegas de laboratório pela disposição em sempre me ajudar a buscar soluções e pelos momentos de descontração que foram tão necessários. Agradeço especialmente ao Mateus Vidotti Ferreira pela paciência e tempo desprendidos para me ensinar a mexer no ArcGis. E também à Darlene de Cássia Armbrust pela alegria, pela amizade e pelos deliciosos pães, bolos e tortas, sempre feitos com muito capricho.

À Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobras, pelo apoio financeiro.

Agradeço aos meus pais, Marcio e Marly, por terem acreditado em mim, por terem me apoiado e por muitas vezes terem se sacrificado para me dar tudo o que precisei.

Ao meu irmão, pelo companheirismo e pelos momentos de alegria.

Aos meus familiares por serem a minha referência de tantas maneiras.

Ao meu grande amigo Caio, pelas tantas conversas e conselhos, pelas opiniões sempre sinceras e pelo abraço reconfortante, que nesses cinco anos de faculdade foi o meu porto seguro.

Aos meus amigos Lély, Nanda, Ary, Yuri e Gui por estarem sempre presentes na minha vida de uma forma indispensável, mesmo separados por tantos quilômetros, aliviando minhas horas difíceis, me alimentando de certezas, força e alegria.

À Elisa e ao Angelo que me apoiaram e deram força nos momentos mais difíceis das etapas finais da graduação.

Às meninas da minha república e nossos agregados: à Dani que me ouviu e me agüentou todos esses anos, por estar presente, por rever os episódios de seriado comigo e por me ajudar sempre. À Kotoko, pela companhia, amizade, organização e por todas as vezes que preparou o arroz. À Fi, pela sua dedicação aos estudos que sempre foi muito inspirador. À Féli, pelo alto astral e alegria contagiantes que tanto me animou nos momentos em que faltou entusiasmo. Ao Lucas por saber tudo sobre as matérias e tirar todas as minhas dúvidas antes das provas. À Paola, pela amizade, cumplicidade e pelas conversas e divagações sobre as incertezas do futuro.

Por fim, agradeço especialmente a Deus por ter me dado tanta força, me revitalizando em todos os momentos difíceis.

“Para ser grande, sê inteiro: nada teu exagera ou exclui.
Sê todo em cada coisa. Põe quanto és no mínimo que fazes.
Assim, como em cada lago, a lua toda brilha, porque alta vive.”

Ricardo Reis (Heterônimo de Fernando Pessoa)

RESUMO

O transporte de derivados de petróleo por meio de dutos gera uma preocupação relacionada à segurança e aos impactos ao meio ambiente quando expostos a riscos que afetem sua integridade. Dentre os fenômenos naturais que podem afetar os dutos estão os processos erosivos e os escorregamentos. Considerando as grandes dimensões territoriais que abrangem os dutos, o sensoriamento remoto mostra-se uma ferramenta de grande aplicabilidade para a aquisição de dados. Utilizou-se a técnica de análise visual para realizar a detecção de mudanças para monitorar as feições erosivas e de escorregamento ao longo de um trecho da faixa de dutos Rio de Janeiro-Belo Horizonte, localizado no estado do Rio de Janeiro. As etapas de trabalho envolveram a caracterização da área de estudo, das erosões e dos escorregamentos existentes, por meio de levantamento de dados bibliográficos. O processamento das imagens Ikonos e GeoEye e a aplicação da técnica de detecção de mudanças foram realizados em duas cenas referentes aos anos de 2002 e de 2010, respectivamente. Pode-se notar um pequeno crescimento em número de feições de erosão e escorregamento, entretanto no que se refere à área ocupada pelas feições identificadas foi observado uma diminuição de 21,7%.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Geoprocessamento; Dutos; Erosão; Escorregamento.

ABSTRACT

The transportation of oil through pipelines raises a concern related to safety and environmental impacts they may cause, especially when exposed to risks that affect their integrity. Among the natural phenomena that can affect the pipelines are erosion and landslides. Considering the large territory involving the pipelines, remote sensing tools have a great applicability for data acquisition. For this, visual analysis techniques were applied to perform change detection in order to monitor erosion features and landslides along a stretch of pipeline Rio de Janeiro – Belo Horizonte, in the state of Rio de Janeiro. The work involved the characterization of the study area as well as the erosion and landslide processes, through bibliographical data. The satellite image processing and the application of change detection techniques were developed in two scenes for the years 2002 and 2010. It was noted a small increase in the number of the identified features, however with regard to their area, a decrease of 21.7% was observed.

Keywords: Remote sensing; Geoprocessing; Pipelines; Erosion; Landslide.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	16
Figura 2 - Mapa de localização da Província da Mantiqueira.....	18
Figura 3 - Unidades litológicas.....	19
Figura 4 - Unidades geomorfológicas.....	20
Figura 5 - Sistemas de relevo.....	23
Figura 6 - Mapa de vegetação natural.....	25
Figura 7 - Mapa Altimétrico e Isoietas.....	26
Figura 8 – Mapa pedológico.....	28
Figura 9 – Mapa indicativo de uso e ocupação.....	29
Figura 10 – Cubo de formação de cores no RGB.....	34
Figura 11 – Poliedro de formação de cores no IHS.....	35
Figura 12 – Erosão agravada pelo superpastejo.....	40
Figura 13 – Desagregação do solo pelo impacto da gota de chuva.....	41
Figura 14 – Exemplos dos tipos de erosão hídrica.....	42
Figura 15 – Esquema das principais rupturas em escorregamentos.....	43
Figura 16 – Fluxograma das etapas de trabalho.....	46
Figura 17 – Distribuição das feições de acordo com a litologia.....	57
Figura 18 – Distribuição das feições de acordo com a pedologia.....	58
Figura 19 – Gráfico do número de feições identificadas nas imagens de 2002 e 2010.....	59
Figura 20 – Área, em m ² , dos polígonos correspondentes a cada feição.....	60
Figura 21 – Feições próximas ao duto.....	61
Figura 22 – Checagem em campo.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área total relativa das classes para os municípios.....	30
Tabela 2 - Tipos de erosão hídrica.....	41
Tabela 3 - Materiais utilizados.....	45
Tabela 4 – Dados nominais dos sensores ópticos.....	51
Tabela 5 – Comparação entre os métodos de fusão IHS, Brovey, PC e GS.....	53
Tabela 6 - Valores de médios da correlação entre as imagens original e fusionada.....	54
Tabela 7 - Descrição das classes e amostra da respectiva feição na imagem GeoEye.....	56
Tabela 8 – Quantificação das feições.....	59

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO	14
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
3.1. Localização da área de estudo.....	15
3.2. Geologia.....	17
3.2.1. Depósitos flúvios-lagunares	18
3.2.2. Suíte do Tinguá	18
3.2.3. Unidade Serra dos Órgãos	19
3.2.4. Unidade Santo Aleixo	19
3.3. Geomorfologia	20
3.3.1. Bacias Sedimentares Cenozóicas	21
3.3.2. Cinturão Orogênico do Atlântico	21
3.4. Sistemas de Relevo	22
3.4.1. Colinas isoladas	23
3.4.2. Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos	23
3.4.3. Escarpas serranas	24
3.4.4. Planícies aluviais.....	24
3.4.5. Planícies colúvio-alúvio-marinhas.....	24
3.5. Vegetação	24
3.6. Clima	25
3.7. Pedologia	26
3.7.1. Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico.....	27
3.7.2. Cambissolo Háplico Distrófico	27
3.7.3. Gleissolo Tiomórfico Hístico Sódico	27
3.7.4. Neossolo Flúvico Distrófico	28
3.7.5. Planossolo Hidromórfico	28
3.8. Uso e Ocupação.....	29
4. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
4.1. Geotecnologias.....	31
4.1.1. Sensoriamento Remoto	32
4.1.1.1. Ortorectificação ou registro de imagens	33
4.1.1.2. Fusão	33
4.1.1.2.1. IHS	34
4.1.1.2.2. Brovey	35
4.1.1.2.3. Principais componentes (PC).....	36
4.1.1.2.4. Gram-Schmidt (GS)	36
4.1.1.3. Técnicas de detecção de mudanças	36
4.1.2. Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	37

4.2. Erosão.....	38
4.3. Movimentos de massa	42
MATERIAIS E MÉTODOS	45
4.2. Materiais	45
4.3. Métodos e etapas do trabalho.....	46
4.3.1. Aquisição e organização dos dados	46
4.3.2. Pré-processamento dos dados	47
4.3.2.1. Ortorectificação e/ou registro de imagens	47
4.3.2.2. Correção atmosférica	47
4.3.2.3. Fusão	48
4.3.3. Processamento dos dados.....	48
4.3.4. Trabalhos de campo	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1. Resultados	51
6.1.1. Pré-processamento dos dados	51
6.1.2. Processamento dos dados.....	54
6.2. Discussão	59
6.2.1. Análise quantitativa	59
6.2.2. Ocorrência das feições e as características do meio físico.....	61
6.2.3. Análise da proximidade com o duto	61
6.2.3. Visita de campo	61
7. CONCLUSÕES.....	63
8. RECOMENDAÇÕES.....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1. INTRODUÇÃO

O petróleo é uma das principais fontes de energia do mundo. A partir dele são derivados produtos como a gasolina, o gás natural, a nafta petroquímica, o óleo diesel, querosene, solventes, lubrificantes, entre outros. O transporte do petróleo e seus derivados para as refinarias e para os centros consumidores é feito através de ferrovias, rodovias e principalmente pelas malhas dutoviárias.

As dutovias são obras lineares que atravessam regiões com características distintas quanto aos aspectos físicos e socioeconômicos, dessa maneira, torna-se necessário o monitoramento das atividades antrópicas e dos processos naturais que possam causar riscos à integridade dos dutos e, assim, trazer impactos negativos ao meio através do vazamento das substâncias transportadas. A fim de prevenir e/ou mitigar a ocorrência de acidentes foram criados programas de monitoramento que definem procedimentos estratégicos de controle e intervenção que englobam aspectos técnicos, como controle de vazão, pressão, temperatura e densidade do produto transportado, aspectos inerentes às características físicas do duto, como corrosão, e aspectos relacionados ao meio físico e antrópico no qual o duto se encontra.

O monitoramento dos riscos ao duto relacionados ao meio ambiente é de grande importância, porém é complexo e exige estudos criteriosos sobre a geologia, geomorfologia, pedologia e clima de toda a região atravessada pelo duto. Estes aspectos indicam a propensão natural do meio a ocorrências de fenômenos erosivos e de escorregamentos que podem acarretar grandes danos ao duto. Também é necessário relacionar tais aspectos ao uso e ocupação do solo, pois a capacidade do homem de apropriação e transformação do meio em que vive tem intensificado e acelerado diversos fenômenos naturais, tal fato deve-se à utilização, muitas vezes, de forma descontrolada de tudo quanto o meio possa oferecer sem o conhecimento das limitações e consciência das conseqüências de tal prática.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) auxiliam na sobreposição e interpretação de informações espaciais de uma determinada área, além de facilitar a gestão de informações e o acesso ao banco de dados e, ainda, fornecerem subsídios para a análise integrada dos dados. Nos casos em que se têm diferentes variáveis ou condicionantes que contribuem para a ocorrência de um determinado processo, a utilização de tal ferramenta permite a obtenção e manipulação dos dados de forma a possibilitar a análise de grandes áreas em um curto intervalo de tempo, quando comparado ao monitoramento por terra ou outros sistemas.

Os sistemas de processamento de imagens, por sua vez, possuem algoritmos computacionais que permitem correções de distorções geométricas e radiométricas de imagens, transformações e demais técnicas que favorecem a extração de informação nestes produtos.

Para o setor de transporte petroquímico é de extrema relevância o estudo das condições do meio físico, pois a instalação de dutos em locais naturalmente suscetíveis aos movimentos de massa e aos processos erosivos pode agravar e aumentar a ocorrência de tais fenômenos. Além disso, a ocorrência destes processos nas proximidades dos dutos pode comprometer a sua estrutura, ocasionar vazamentos e consequentemente inúmeros impactos negativos ao meio ambiente.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo analisar, numa abordagem temporal, a ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa, do tipo escorregamentos translacionais, para auxiliar na identificação de áreas que se encontram sob risco, utilizando como ferramenta geotecnologias como o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), ao longo da faixa de dutos Rio de Janeiro – Belo Horizonte, localizada em área de estudo previamente definida e inserida no estado do Rio de Janeiro.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização da área de estudo

A área de estudo selecionada encontra-se no entorno do poliduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte, localizada na região Sudeste, onde ocupa uma faixa de 363,9 km que se estende desde o município de Betim - MG até o município de Duque de Caxias - RJ. Nessa faixa estão alocadas linhas de dutos, como o ORBEL I, ORBEL II, GASBEL, o GASPAL e o OSRIO que transportam produtos como gás natural, petróleo bruto e seus derivados como gasolina, diesel, nafta, etc.

Ao longo do percurso, a faixa de dutos atravessa 24 municípios, sendo 18 no estado de Minas Gerais e 6 no Rio de Janeiro. Tendo em vista a grande extensão do duto, a escolha da área foi baseada nos aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos e de uso e ocupação do solo, que pudessem proporcionar uma diversidade de situações que compromettesse a segurança e integridade do duto.

Deste modo, a área escolhida é apresentada na Figura 1 e abrange os municípios de Nova Iguaçu, Belford Roxo e Duque de Caxias, localizados no estado do Rio de Janeiro. Os três municípios inseridos na área de estudo selecionada são caracterizados por uma dinâmica socioeconômica acelerada, uma vez que se encontram próximos à capital do estado e no contexto da segunda maior região metropolitana do país, a do Rio de Janeiro, com a presença de parques industriais de grande importância e um contingente populacional bastante expressivo.

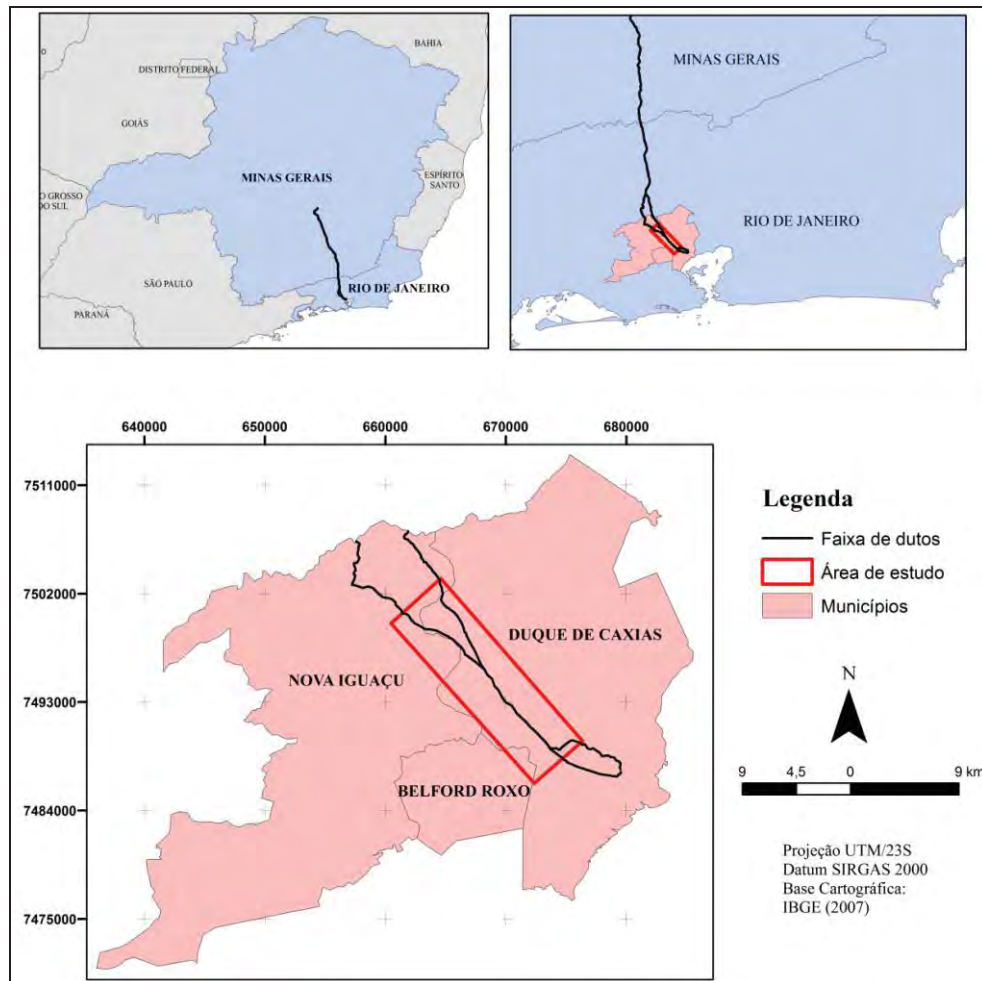


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

Nova Iguaçu pertence à mesorregião metropolitana do Rio de Janeiro e à microrregião de Vassouras, com uma população de 754.519 habitantes que representam 7% de todo o contingente da Região Metropolitana e a sua densidade demográfica é de 1.506 habitantes por km² (IBGE, 2000). Por estar próximo à cidade do Rio de Janeiro, o município de Nova Iguaçu está integrado ao sistema ferroviário e viário da capital, sendo que as principais vias de acesso são a BR-116 (Rodovia Presidente Dutra), BR-465 (Antiga Rodovia Rio-São Paulo), RJ-105 (Estrada de Madureira), RJ-113, (Estrada Zumbi dos Palmares) e RJ-111 (Estrada de Madureira).

No que diz respeito à economia, o setor secundário destaca-se em Nova Iguaçu com a fabricação industrial de alimentos e tradição na fabricação de artefatos de ferro, aço e não ferrosos, além da fabricação de peças e equipamentos mecânicos leves.

Duque de Caxias pertence à mesorregião metropolitana do Rio de Janeiro e à microrregião do Rio de Janeiro. Segundo os dados do censo 2000, Duque de Caxias possui

842.890 habitantes que representa 7,1% do contingente da Região Metropolitana e a sua densidade demográfica é de 1.711 habitantes por km². Assim como Nova Iguaçu, o município também está integrado ao sistema viário e ferroviário da capital do estado.

O setor secundário tem especial importância em Duque de Caxias, com destaque para a indústria alimentícia que ainda será favorecida com a ampliação do porto de Sepetiba. Ainda apresenta potencial para o desenvolvimento da indústria de fabricação de artefatos de cimento e fibrocimento para a construção civil. O setor petroquímico também apresenta posição de destaque no município, com a presença da REDUC e com a chegada da Rio Polímeros, que produz resinas a partir do etanol e propano do gás natural, proveniente da Bacia de Campos. Vale ressaltar ainda a presença da termelétrica TermoRio, instalada no município através do Programa Prioritário de Termelétricas do governo federal.

Belford Roxo também pertence à mesorregião metropolitana do Rio de Janeiro e à microrregião do Rio de Janeiro. O município de Belford Roxo possui 480.695 habitantes, correspondentes a 4,1% do contingente da Região Metropolitana e a densidade demográfica é de 5.722 habitantes por km² (IBGE, 2000). Seguindo a mesma linha dos municípios limítrofes, Belford Roxo apresenta condições que favorecem o desenvolvimento da indústria de fabricação de artefatos de cimento e fibrocimento para a construção civil. O município ainda possui tradição na fabricação de moveis e de material elétrico leve. A indústria química e de matérias plásticas podem encontrar em Belford Roxo um bom potencial para se desenvolver.

3.2. Geologia

O contexto geológico no qual a área de estudo está inserida corresponde à Província Estrutural da Mantiqueira, de acordo com a delimitação feita por Almeida et al. (1981). A Figura 2 mostra a localização desta província, que se estende desde o Uruguai até o sul da Bahia (da latitude 34° S à latitude 15° S), disposta em paralelo à costa atlântica, possui aproximadamente 3.000 km de extensão e 200 km, em média, de largura (CPRM, 2000).

A formação da Província Metamórfica da Mantiqueira corresponde a um dos eventos orogênicos mais complexos do período Pré-Cambriano, e foi resultado da amalgamação do Paleocontinente Gondwana Ocidental. Por apresentar uma área bastante extensa, tais eventos derivaram diferentes segmentos orógenos, sendo que o estado do Rio de Janeiro encontra-se na porção interna da faixa do Ribeira, cuja evolução orogênica foi responsável pela deformação, metamorfismo, magmatismo e articulação dos diversos terrenos (HEILBRON et al., 1999).

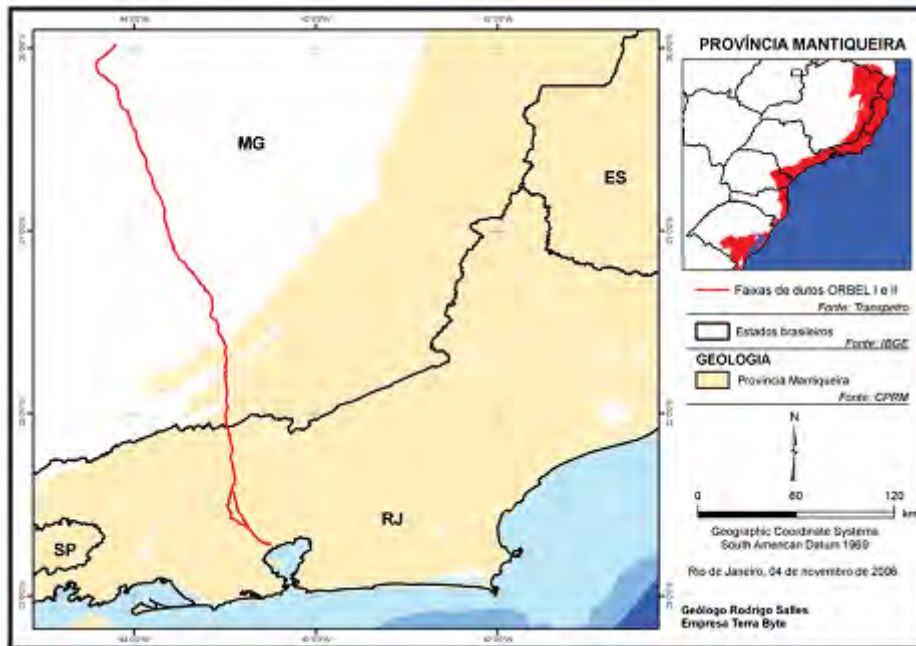


Figura 2 - Mapa de localização da Província da Mantiqueira. Fonte: Transpetro (2006)

Em termos litológicos, observa-se pela Figura 3 que na área de estudo ocorrem quatro formações, descritas a seguir:

3.2.1. Depósitos flúvios-lagunares

São depósitos recentes, do período cenozóico/quaternário, compostos de argila rica em matéria orgânica e concentrações localizadas de diatomita, turfas, localmente portadoras de depósitos conchíferos. Esta deposição está relacionada à progradação fluvial em um ambiente transicional/marinho raso em razão de variações climáticas e/ou glácio-eustáticas (CPRM, 2000).

3.2.2. Suíte do Tinguá

A Suíte do Tinguá está presente em uma pequena parte da área de estudo, localiza-se nos contrafortes da Serra do Mar, a norte do município de Nova Iguaçu, nas cabeceiras dos rios Douro, Iguaçu e Santo Antônio. É constituída de rochas alcalinas compostas por nefelina sienitos, fonolitos e brechas, sendo que pode alcançar a cota de até 1.600 m, com cerca de 50 km² de área (CPRM, 2000).

Esta formação consiste em um maciço alcalino do período cretáceo/terciário originado do evento magmático relacionado à Reativação Wealdeniana na Província Serra do Mar (Almeida, 1967 apud CPRM, 2000).

3.2.3. Unidade Serra dos Órgãos

A Unidade Serra dos Órgãos é o maior batólito granítico exposto do estado que apresenta uma forma extremamente alongada na direção NE/SO, com 140 km de comprimento por 20 km de largura média. O batólito é envolvido nas bordas oeste e sul pelos ortognaisses do Complexo Rio Negro, no qual é intrusivo, e na borda norte pelo Leucogranito Gnaiss Serra do Paquequer. Na porção nordeste é intrusivo nos paragneisses do Complexo Paraíba do Sul. É composta litologicamente por hornblenda-biotita granitóide de granulação grossa e composição expandida de tonalítica a granítica, composição cálcio-alcalina. Texturas e estruturas magmáticas preservadas com foliação tangencial em estado sólido superimpostas. Localmente podem ser observados enclaves de paleodiques anfibolíticos (CPRM, 2000).

3.2.4. Unidade Santo Aleixo

A Unidade Santo Aleixo integra marginalmente o batólito da Serra dos Órgãos, sendo constituída por granada-hornblenda-biotita granodiorito, rico em xenólitos de paragneisse parcialmente fundido e assimilado (migmatito de injeção) (CPRM, 2000).

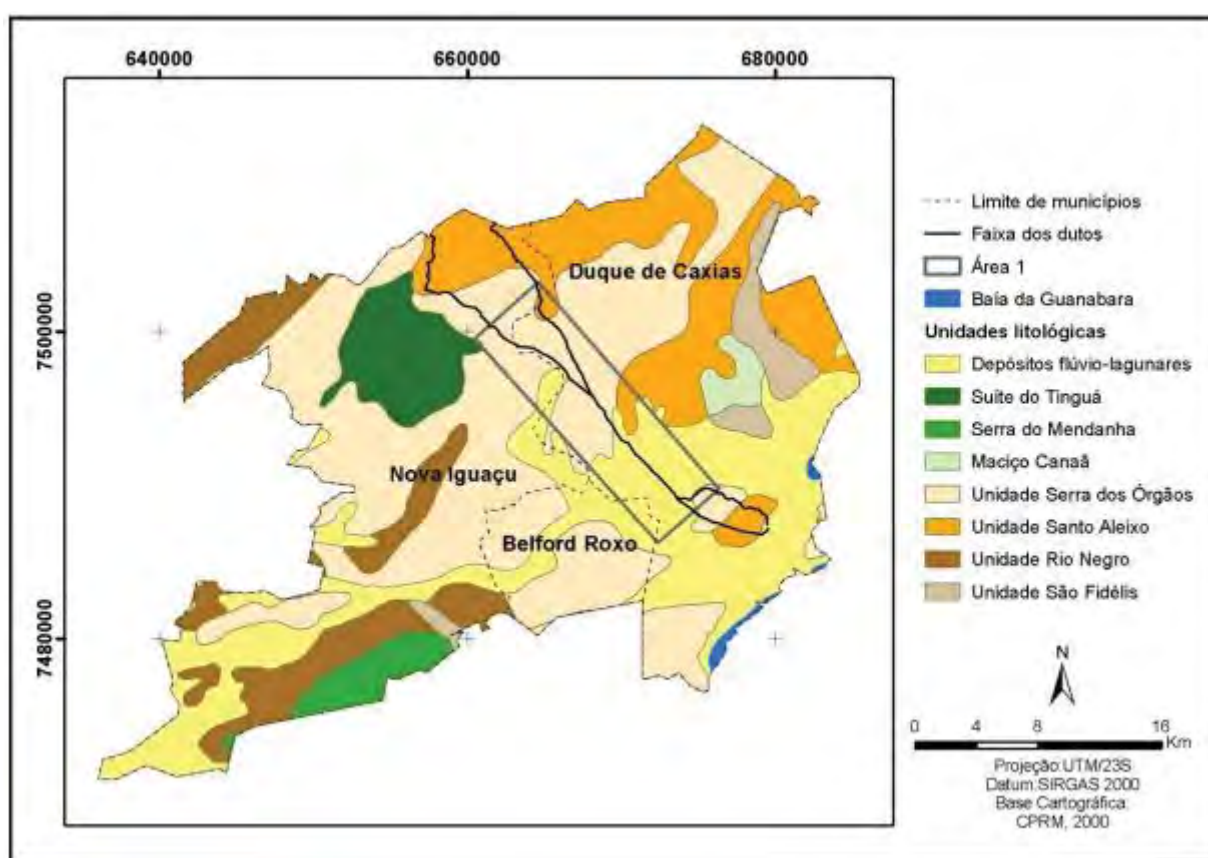


Figura 3 - Unidades litológicas. Fonte: Ferreira (2009)

3.3. Geomorfologia

O estado do Rio de Janeiro possui um cenário geomorfológico bastante diversificado, o que se deve à interação entre aspectos tectônicos e climáticos que determinaram sua atual geomorfologia. Pode-se observar grandes escarpas, alternadas com depressões e bacias sedimentares tafrogênicas marcadas pela influência da tectônica que exerceu o rifteamento continental do sudeste brasileiro, principalmente entre o Cretáceo e o Terciário Inferior (Almeida, 1976). Ainda vale ressaltar que são notáveis as superfícies de erosão observadas no estado, ainda que muito basculadas e fragmentadas pela tectônica mesocenozoica (CPRM, 2000).

No que diz respeito aos domínios morfoestruturais, o estado do Rio de Janeiro pode ser dividido em Cinturão Orogênico do Atlântico e nas Bacias Sedimentares Cenozóicas. A Figura 4 ilustra as unidades geomorfológicas presentes na área de estudo.

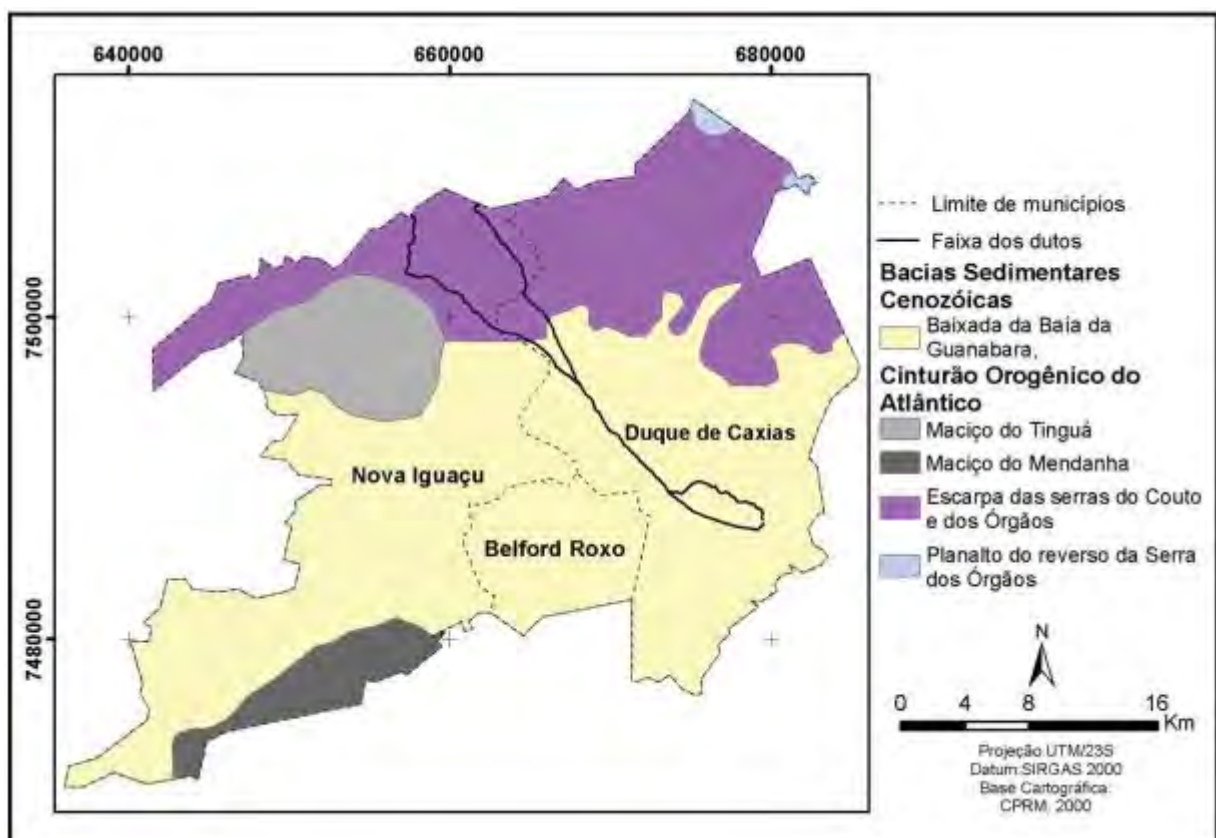


Figura 4 - Unidades geomorfológicas. Fonte: Ferreira (2009)

3.3.1. *Bacias Sedimentares Cenozóicas*

As Bacias Sedimentares Cenozóicas podem ser subdivididas nos domínios morfoestruturais Tabuleiros de Bacias Sedimentares, Planícies Fluvio-Marinhas (Baixadas) e Planícies Costeiras (CPRM, 2000).

Na área de estudo pode-se observar a presença apenas do domínio Planícies Fluvio-Marinhas que apresenta rochas sedimentares armazenadas em decorrência da tectônica extensional gerada no início do Cenozóico. Os sedimentos inconsolidados das baixadas costeiras foram gerados ao longo dos ciclos transgressivos e regressivos da linha de costa durante o Quaternário, que promoveram o afogamento generalizado do relevo junto à atual linha de costa, registrado nas atuais rias, baías e lagunas nas colinas e morros isolados no recôncavo das baixadas (CPRM, 2000).

3.3.2. *Cinturão Orogênico do Atlântico*

O Cinturão Orogênico do Atlântico é uma unidade morfoestrutural importante, pois apresenta feições geotectônicas da fachada atlântica brasileira, estendendo-se de Santa Catarina até o norte da Bahia. É composto por diversas faixas de dobramento, dentre as quais se destaca a Faixa de Dobramentos Ribeira, que abrange todo o estado do Rio de Janeiro. Esse cinturão constitui-se em um conjunto diversificado de rochas graníticas e gnáissicas, submetidas a diversos eventos orogênicos ao longo do Pré-Cambriano (CPRM, 2000).

O Cinturão Orogênico do Atlântico pode ser subdividido nos seguintes domínios morfoesculturais: Maciços Costeiros e Interiores, Maciços Alcalinos Intrusivos, Superfícies Aplainadas nas Baixadas Litorâneas, Escarpas Serranas, Planaltos Residuais, Depressões Interplanálticas, Depressões Interplanálticas com Alinhamentos Serranos (CPRM, 2000). Entretanto, na área de estudo essa unidade apresenta apenas três divisões: Maciços Alcalinos Intrusivos, Escarpas Serranas e Planaltos Residuais.

Os Maciços Alcalinos compreendem um conjunto de maciços montanhosos de rochas alcalinas que intrudiram o embasamento cristalino, geradas pela abertura do oceano Atlântico em um período de atividade vulcânica entre o final do Cretáceo e o início do Terciário, decorrente da abertura do oceano Atlântico (ALMEIDA, 1976). Na área de estudo, esta unidade é representada pelo Maciço do Tinguá e o Maciço do Medanha, caracterizados por blocos montanhosos escarpados, com vertentes íngremes e frequentemente recobertas por colúvios e depósitos de tálus, além de apresentarem altas densidades de drenagem com padrão radial e centrífugo à dentrítico (FERREIRA, 2009).

A Unidade Morfoescultural Escarpas Serranas é caracterizada por um conjunto de escarpas montanhosas festonadas que compreende as serras do Mar e da Mantiqueira. Esta unidade apresenta, muitas vezes, desnivelamentos extremamente elevados e vertentes muito íngremes e rochosas, em geral recobertas por depósitos de tálus e colúvios. Apresenta alta densidade de drenagem e com padrão geralmente dendrítico a paralelo ou retangular (CPRM, 2000).

Na área de estudo a Escarpa das Serras do Couto e dos Órgãos representam essa unidade morfoestrutural, ambas consistem, segundo CPRM (2000), em uma muralha montanhosa, que delimita o recôncavo da bacia da Baía de Guanabara.

A Unidade Morfoescultural Planaltos Residuais está localizada, em geral, no reverso das escarpas serranas. caracteriza-se por terrenos montanhosos e amorreados, com relevo de amplitude elevada. Trata-se de superfícies residuais, soerguidas por tectônica e que resistiram aos processos erosivos e de aplainamento atuantes durante o Cenozóico Superior, por isso são os terrenos mais elevados no estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2000).

Na área de estudo esta unidade é composta pelo Planalto Reverso da Serra dos Órgãos, situado no reverso da Serra do Mar. Os elementos dessa unidade são caracterizados por relevos colinosos de baixa amplitude de relevo, alternados com morros mais elevados, degraus estruturais ou zonas montanhosas que se sobressaem em relação à superfície colinosa regional. As vertentes possuem gradientes suaves a médios, quando nas áreas de relevo acidentado o gradiente é elevado. A densidade de drenagem é alta e o padrão apresenta-se dendrítico a treliça (CPRM, 2000).

3.4. Sistemas de Relevo

É importante destacar os diferentes sistemas de relevo que ocorrem na área de estudo, a fim de caracterizar os diferentes atributos físicos que compõem as áreas adjacentes. Dessa forma, tomou-se como base o estudo feito por CPRM (2000) sobre os sistemas de relevo do estado de Rio de Janeiro.

A Figura 5 ilustra os sistemas de relevo distribuídos em toda a área de estudo, onde se pode observar a presença de cinco sistemas diferentes, sendo eles colinas isoladas, colinas associadas a morrotes e morros baixos, escarpas serranas, planícies aluviais e planície alúvio-colúvio marinhas, que serão caracterizados sucintamente a seguir.

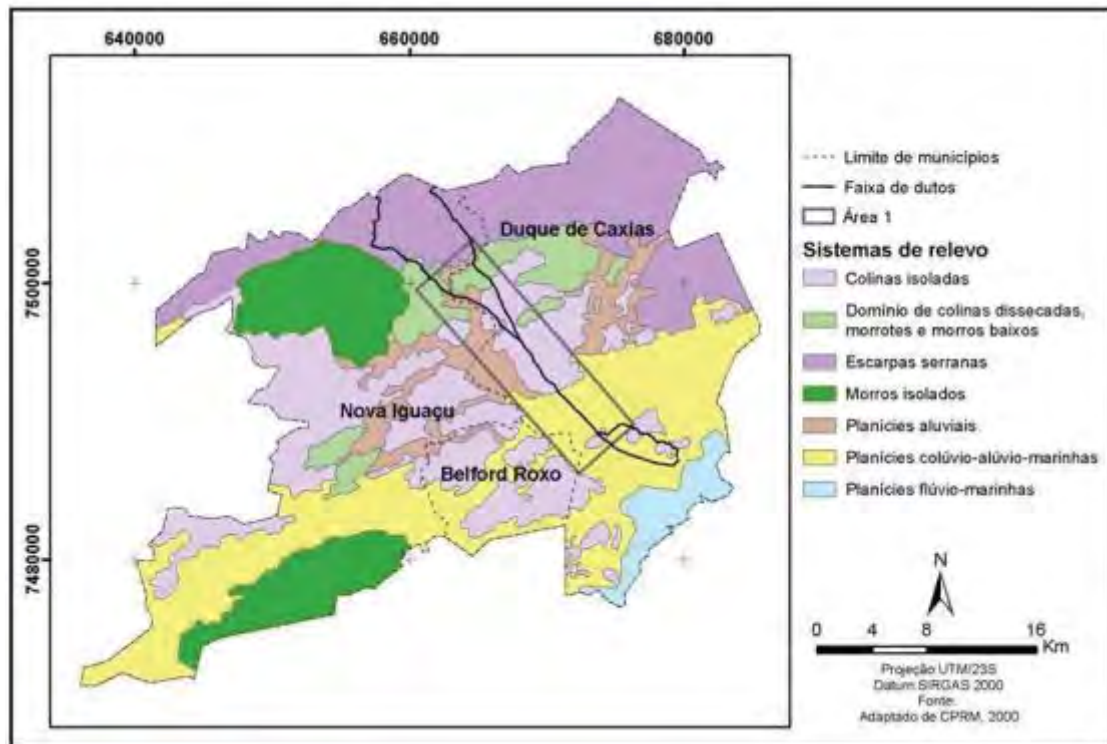


Figura 5 - Sistemas de relevo. Fonte: Ferreira (2009)

3.4.1. Colinas isoladas

As colinas isoladas constituem uma forma de relevo residual, classificada como relevo de degradação entremeados na baixada e caracteriza-se por possuir 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. O padrão de drenagem é dendrítico e a densidade de drenagem é muito baixa. No fundo de vales afogados a drenagem é imperfeita. Há predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 100m e gradientes suaves (CPRM, 2000).

3.4.2. Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos

Esse domínio é classificado como relevo de degradação em planaltos dissecados ou superfícies aplainadas e trata-se de relevo de colinas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados e/ou alongados e de morrotes e morros dissecados, com vertentes retilíneas e côncavas e topos aguçados ou alinhados, com sedimentação de colúvios e alúvios. A densidade de drenagem é de média a alta com padrão de drenagem variável, de dendrítico a treliça ou retangular. Há predomínio de amplitudes topográficas entre 100 e 200m e gradientes suaves a médios (CPRM, 2000).

3.4.3. *Escarpas serranas*

Este sistema de relevo constitui um tipo de relevo montanhoso e extremamente acidentado, classificado por relevos de degradação em áreas montanhosas, cujas vertentes são predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. A densidade de drenagem é muito alta com padrão de drenagem variável, de paralelo a dendrítico, ou treliça a retangular. Há o predomínio de amplitudes topográficas superiores a 500m e gradientes muito elevados, com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha (CPRM, 2000).

3.4.4. *Planícies aluviais*

As planícies aluviais são um tipo de relevo 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 (CPRM, 2000).

3.4.5. *Planícies colúvio-alúvio-marinhas*

As planícies colúvio-alúvio-marinhas são um tipo de relevo de agradação litorânea, constituído por terrenos argilo-arenosos das baixadas. São superfícies sub-horizontais, com 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. Pode-se observar a presença de superfícies de aplainamento e pequenas colinas ajustadas ao nível de base das baixadas (CPRM, 2000).

3.5. **Vegetação**

A área de estudo está situada, de acordo com IBGE (2004), no bioma da Mata Atlântica. A área está inserida no domínio de Floresta Ombrófila Densa, cujos índices pluviométricos são os mais elevados da região litorânea, caracterizado por uma precipitação bem distribuída durante o ano com ausência de um período seco.

Com as informações sobre a vegetação natural juntamente com os dados obtidos através do mapa geoambiental, disponíveis em CPRM (2000), Ferreira (2009) elaborou o mapa de vegetação natural (Figura 6).

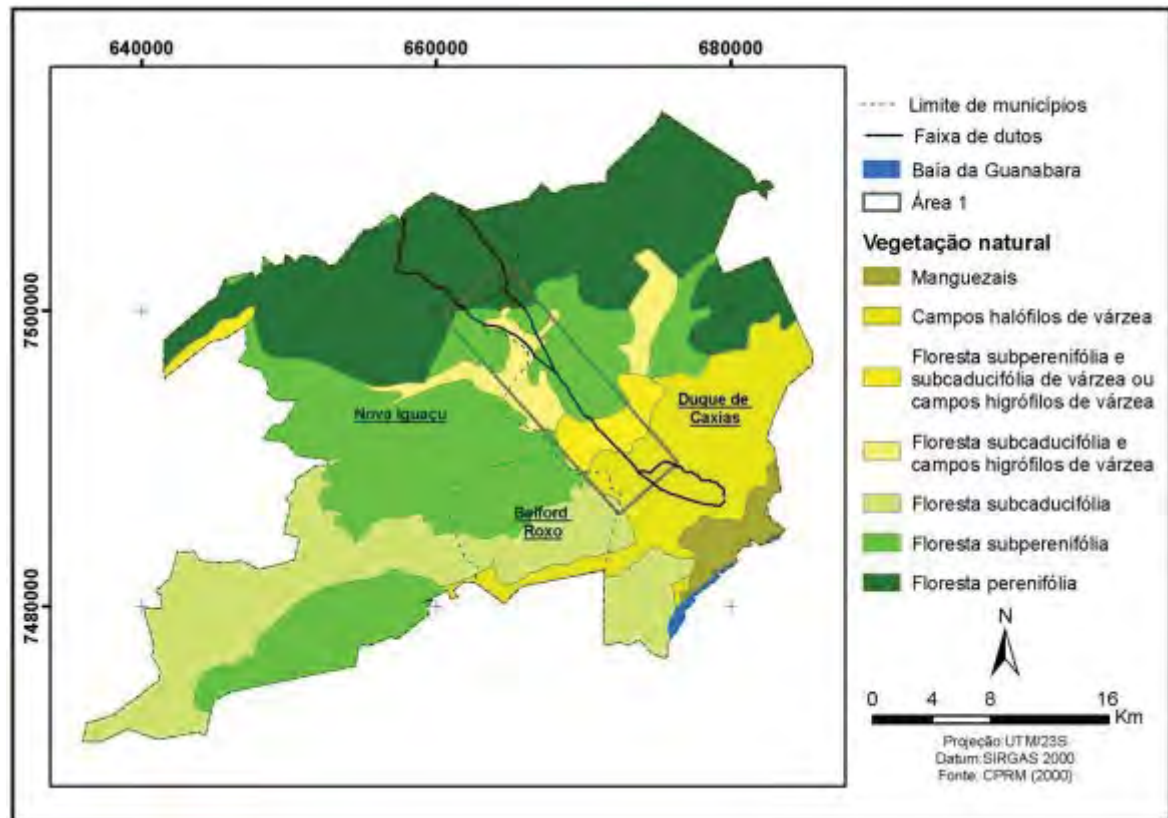


Figura 6 - Mapa de vegetação natural. Fonte: Ferreira (2009)

3.6. Clima

A distribuição espacial das chuvas no estado do Rio de Janeiro é determinada pela orografia e pelo mecanismo dinâmico. O paralelismo das escarpas das serras do Mar e da Mantiqueira opõem-se frontalmente à direção dos ventos das correntes de circulação atmosférica o que influencia as precipitações pluviométricas a serem diretamente proporcionais à altitude. Nenhuma outra serra do território nacional exerce tanta influência no sentido do acréscimo de precipitações quanto elas, que possuem médias pluviométricas entre 2.000 a 4.500 mm correspondentes aos índices pluviométricos mais elevados do estado (GUIDICINI; IWASA, 1976).

Já no Vale do Paraíba, o cenário climático é diferente, a subtração de umidade do ar realizada pelas serras da Mantiqueira e do Mar e a dessecação adiabática tornam essa depressão topográfica bem menos úmida e chuvosa. A pluviometria anual nessa região varia de 750 a 1.000 mm. A Baixada Litorânea é outra área igualmente menos chuvosa, no trecho do Espírito Santo à lagoa de Araruama no estado do Rio de Janeiro pode-se observar os mais baixos índices de precipitação, inferiores a 1.000 mm (CPRM, 2000).

Especificamente na área de estudo, a pluviosidade média anual dos municípios selecionados varia de 1.200 mm a 2.200 mm. O mapa das isoietas das precipitações médias anuais está apresentado na Figura 7, ilustrando a distribuição da chuva ao longo da região de estudo, bem como a altitude do local, a fim de se analisar a influência do mesmo no estabelecimento do clima da região.

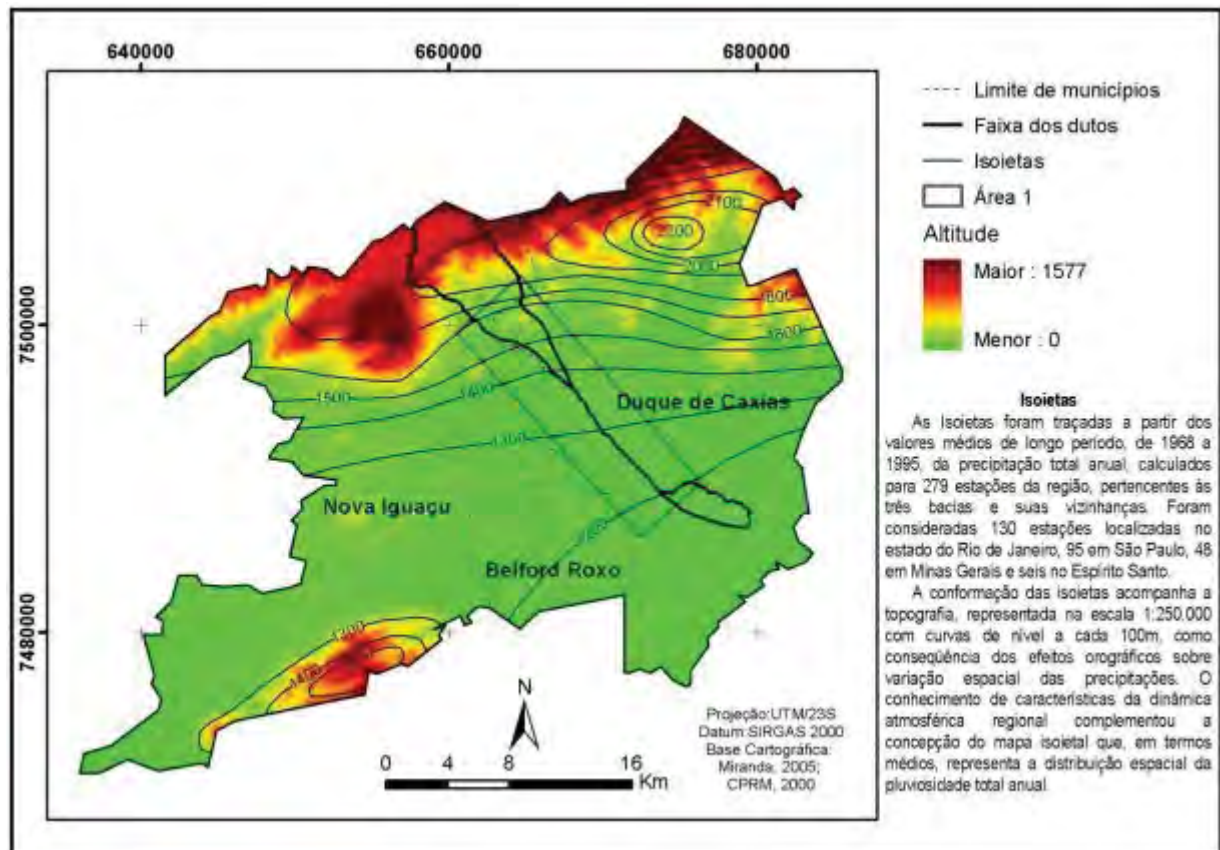


Figura 7 - Mapa Altimétrico e Isoietas. Fonte: Ferreira (2009).

3.7. Pedologia

O conhecimento das classes de solos de uma região é de fundamental importância para o planejamento de diversas atividades, além de subsidiar a seleção de áreas menos susceptíveis a erosão e movimentos de massa. Na área de estudo selecionada pode-se observar a presença de cinco classes pedológicas (Figura 8) que são caracterizadas a seguir.

3.7.1. *Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico*

Os latossolos são solos minerais não hidromórficos que possuem o horizonte B latossólico localizados logo abaixo do horizonte A. Apresentam-se em estágio de intemperização avançado, desse modo, são normalmente muito profundos, de elevada permeabilidade e acentuadamente drenados. Os diversos tipos de latossolo diferenciam-se em função de características como cor e teor de ferro (CPRM, 2000).

Na área de estudo selecionada observa-se a presença de latossolo do tipo vermelho-amarelo que são bastante comuns em todo o estado do Rio de Janeiro mesmo em condições climáticas bem variadas, pode-se encontrar essa classe desde áreas mais secas e quentes do Norte Fluminense às de temperaturas amenas e chuvosas das regiões serranas. 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-amarelo apresentam, as áreas onde se encontram geralmente são utilizadas como pastagem (CPRM, 2000).

3.7.2. *Cambissolo Háptico Distrófico*

Os Cambissolos compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B incipiente, por isso geralmente apresentam suas características bastante influenciadas pelo material de origem. São pouco evoluídos, em geral, 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 (CPRM, 2000).

3.7.3. *Gleissolo Tiomórfico Hístico Sódico*

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 atualmente como pastagens (CPRM, 2000).

3.7.4. Neossolo Flúvico Distrófico

Os Neossolos (ou Solos Aluviais) são pouco evoluídos constituídos por material mineral recentes do Quaternário, ou por material orgânico com menos de 20cm 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 do onde predomina o sistema morfo dinâmico do tipo pedogênese e deposição dominantes e erosão baixa (CPRM, 2000).

3.7.5. Planossolo Hidromórfico

Essa classe compreende solos minerais, geralmente hidromórficos, caracterizados por uma mudança textural abrupta ao longo dos horizontes, de tal forma marcante que, no solo seco, forma-se uma fratura de separação entre o horizonte B textural e o sobrejacente. Ocorrem principalmente em algumas baixadas de relevo aplainado da região litorânea, onde, em certas áreas, podem apresentar caráter solódico. Predominam, entretanto, solos de baixa fertilidade, álicos ou distróficos, com argila de atividade baixa (CPRM, 2000).

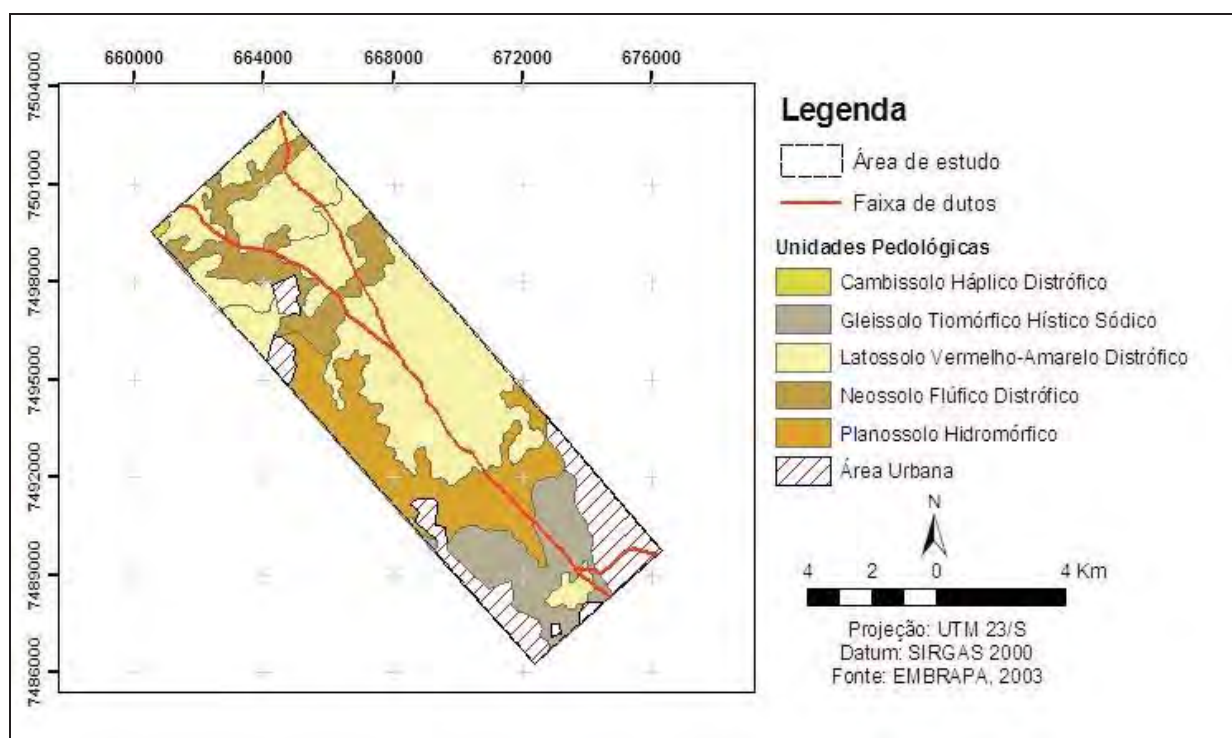


Figura 8 – Mapa pedológico

3.8. Uso e Ocupação

Ferreira (2009) desenvolveu um estudo utilizando técnicas de detecção de mudanças para verificar a evolução do uso e ocupação na área em questão, além de determinar os melhores métodos para tal. Foram utilizadas as informações referentes à vegetação natural, uso e ocupação atual e o mapa geoambiental encontradas em CPRM (2000), Ferreira (2009) elaborou um mapa indicativo do uso e ocupação do solo (Figura 9). É importante salientar que o mapa gerado foi considerado indicativo, pois algumas classes representam mais de um uso, não sendo possível determinar com exatidão qual é o uso exato da área. Pode-se observar que a área urbana ocupa área de planícies fluviais, marinhas e lagunares, seguido pelas áreas de colinas e morros baixos, enquanto que a vegetação natural ocupa regiões das escarpas serranas e de maciços alcalinos (FERREIRA, 2009).

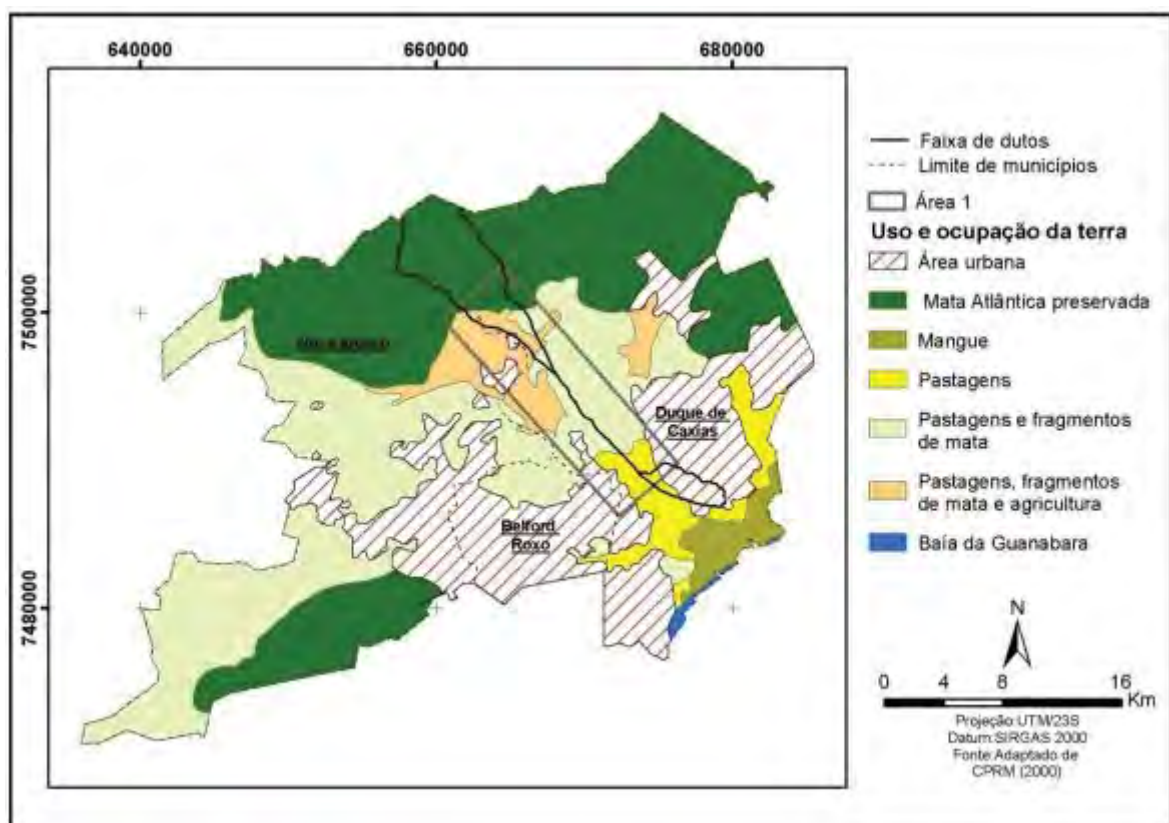


Figura 9 – Mapa indicativo de uso e ocupação. Fonte: Ferreira (2009)

A Tabela 1 demonstra numericamente o resultado do mapa de uso e ocupação da terra para a área total dos municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias e Nova Iguaçu obtido por Ferreira (2009). Relacionando a Tabela 1 com o mapa indicativo de uso e ocupação, pode-se

inferir que a porcentagem referente à classe denominada “vegetação alterada” corresponde às áreas de pastagens, pastagens e fragmentos de mata e pastagens, fragmentos de mata e agricultura. À classe “vegetação densa” pode ser atribuída, principalmente, as áreas de Mata Atlântica preservada. Já as classes denominadas de “urbano denso” e “urbano esparsa” não podem ser diferenciadas no mapa indicativo, sendo atribuída a essas classes a toda a área urbana representada na Figura 9.

Tabela 1 – Área total relativa das classes para os municípios.

Classes	Uso e ocupação (2005)
Água	0,23%
Nuvem	0,06%
Sombra	3,72%
Urbano denso	18,53%
Urbano esparsa	24,66%
Vegetação alterada	27,90%
Vegetação densa	24,90%

Fonte: Adaptado de Ferreira (2009)

4. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Geotecnologias

As geotecnologias constituem uma das principais ferramentas para a gestão de risco, sendo representadas especialmente pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG), pelo Sensoriamento Remoto (imagens de satélite) e o Sistema de Posicionamento Global (GPS). Estas ferramentas possibilitam a coleta, armazenamento e análise de grande quantidade de dados, que seriam praticamente inviáveis de serem tratados utilizando métodos analógicos e/ou tradicionais (MARCELINO, 2008). Em suma, a geotecnologia é o uso de técnicas computacionais para o estudo do espaço geográfico.

Com estas ferramentas produzem-se e manipulam-se informações em pouco tempo e com baixo custo, combinando dados espaciais multi-fontes, a fim de analisar as interações existentes entre as variáveis, elaborar modelos preventivos e dar suporte as tomadas de decisões (BONHAM-CARTER, 1996).

Marcelino (2008) descreve diferentes aplicações das geotecnologias na gestão de riscos:

- **Prevenção:** concentra-se basicamente nas avaliações de risco, utilizando-se de dados geoambientais, que podem ser obtidos com o auxílio das imagens de satélite e GPS, são transformados em planos de informações no SIG, onde podem ser aplicados modelos matemáticos no cruzamento das informações, para obtenção dos planos resultantes, como os mapas de perigo, vulnerabilidade e risco.
- **Preparação:** podem ser utilizadas na definição de rotas de evacuação, identificação de abrigos e centros de operações de emergência, criação e gerenciamento de sistemas de alerta e elaboração de modelos meteorológicos e hidrológicos utilizados na previsão.
- **Ações de resposta:** neste caso, a utilização de um SIG possibilita gerenciar de maneira eficiente e rápida, as situações mais problemáticas, como as ações de combate a sinistros (conter efeitos adversos) e de socorro às populações afetadas (busca e salvamento).
- **Reconstrução:** as geotecnologias também são amplamente usadas na realização do inventário, avaliação dos danos e na identificação de áreas seguras.

Para o monitoramento de riscos ao longo de faixas de dutos, as geotecnologias se mostram como uma ferramenta essencial, uma vez que as grandes extensões dos dutos e a diversidade de áreas que atravessam fazem com que o monitoramento dos potenciais riscos seja complexo e muitas vezes ineficaz, quando realizado somente *in loco*.

No presente trabalho, as geotecnologias utilizadas são representadas pelo Sensoriamento Remoto e pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com o intuito de identificar na área de estudo feições erosivas e de escorregamento, de modo a apontar as áreas, identificar as características dos locais onde tais fenômenos ocorrem com maior frequência e monitorar as alterações ocorridas, no que se refere à ocorrência destes processos.

4.1.1. Sensoriamento Remoto

Segundo Novo (1995), Sensoriamento Remoto constitui a tecnologia que, através de modernos sensores, permite a aquisição de informações sobre objetos sem contato físico com eles. Os sensores são equipamentos capazes de captar a energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo de forma adequada à extração de informações.

O objetivo do Sensoriamento Remoto é estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética (energia) e os componentes do planeta Terra.

Os sensores possuem características básicas relacionadas às suas resoluções temporais, espaciais, espectrais e radiométricas. A resolução temporal se refere ao intervalo de tempo que o sensor demora para obter duas imagens da mesma área da superfície terrestre. A resolução espacial é o tamanho da menor área imageada no terreno. A resolução espectral é a medida da largura das faixas espectrais ou bandas, sendo que quanto mais estreitas, maior a sensibilidade do sensor em distinguir as variações do comportamento espectral. A resolução radiométrica é a capacidade em distinguir variações do nível de energia proveniente do alvo (NOVO, 1995).

As aplicações do Sensoriamento Remoto concentram-se no monitoramento de uso do solo, de processos geomorfológicos, na área da agricultura, no mapeamento geológico e até mesmo na pesquisa mineral. O Sensoriamento Remoto pode ainda ser utilizado para a identificação e caracterização de deslizamentos e feições erosivas, e permite a análise de áreas extensas, com baixa relação custo/benefício, e ainda permite obter séries históricas de imagens da área estudada, obtendo informações à distância (MARCELINO, 2003).

Várias técnicas de processamento e pré-processamento de imagens foram utilizadas neste trabalho, descritas a seguir.

4.1.1.1. Ortorretificação ou registro de imagens

A ortorretificação ou registro de imagens fazem parte da etapa de pré-processamento de imagens. As imagens provenientes de sensores remotos apresentam várias distorções espaciais inerentes aos seguintes fatores: rotação da Terra, curvatura da Terra, movimento do espelho de imageamento, variações de altitude, posição e velocidade da plataforma, distorção de panorama e distorção topográfica (SEABRA et al., 2010).

Para corrigir geometricamente a imagem, deve-se realizar o procedimento chamado de orotrretificação ou registro. “O modelo de correção geométrica ($\mathfrak{I}$) relaciona um *pixel* (l,c) da imagem bruta com um ponto da superfície representativa da Terra $(\phi,\lambda,H)_{\text{mod}}$, ou seja, do elipsóide de revolução (Eq.1). O elipsóide utilizado é derivado de um elipsóide em um determinado *datum* (ex.: SAD-69, WGS-84) acrescido de uma determinada altitude H , que pode ser a altitude média da região representada pela imagem” (COSTA et al., 2007).

$$\mathfrak{I}(l,c) = (\phi,\lambda,H)_{\text{mod}} \quad (\text{Eq. 1})$$

4.1.1.2. Fusão

A fusão pode ser definida genericamente pela aplicação de um conjunto de métodos e ferramentas a uma série de dados de diferentes naturezas a fim de se obter informações de maior qualidade (MANGOLINI, 1994 apud WALD, 1999).

Tendo em vista o fato de que as imagens pancromáticas possuem uma melhor resolução espacial quando comparadas às imagens multiespectrais e que estas últimas possuem melhor resolução espectral, a técnica de fusão é um meio eficiente e econômico para se conseguir imagens com alta resolução espacial, bem como essencial informação espectral (KALPOMA; KUDOH, 2007).

Por possuírem informações detalhadas, segundo Kalpoma e Kudoh (2007), as imagens provenientes do processo de fusão podem ser utilizadas em diversas áreas. Nas geociências, para as técnicas de classificação, detecção de mudanças, atualização de mapas e monitoramento de riscos, na defesa nacional de territórios, para a detecção de alvos e rastreamento, e na medicina para o diagnóstico, modelagem do corpo humano e planejamento de tratamentos.

Dependendo da natureza dos dados originais e dos resultados desejados existem diversos métodos, cada qual com seu algoritmo, que podem ser utilizados para a aplicação da fusão em

imagens. Vale salientar que anteriormente à aplicação dos mesmos é necessário que as imagens multiespectrais sejam registradas e o tamanho do pixel deve ser reamostrado para o da imagem pancromática de alta resolução (SCHOTT, 1997). Serão descritos a seguir os seguintes métodos: IHS, Brovey, Principais componentes (PC) e Gram-Schmidt (GS).

4.1.1.2.1. IHS

O método IHS é baseado na transformação do espaço RGB (*Red* - vermelho, *Green* - verde e *Blue* - azul) no espaço IHS (*Intensity* - intensidade, *Hue* - matiz e *Saturation* - saturação). O IHS é amplamente utilizado por ser considerado eficiente e de fácil implementação, entretanto possui a limitação de processar apenas três bandas por vez e a imagem de saída limita-se a uma resolução radiométrica de 8 bits devido ao sistema de cores RGB (SCHOTT, 1997; PINHO *et. al.* 2005).

A formação de cores no espaço RGB, como pode ser visto na Figura 10, depende da coordenada do ponto, atribuída por cada eixo. O branco, por exemplo, é a atribuição do valor máximo de cada um dos eixos (MATHER, 1987).

O espaço IHS, da Figura 11, representa as cores em intensidade (medida do brilho), matiz (comprimento de onda) e a saturação (pureza da cor), nota-se que o valor da intensidade é dado pelo eixo vertical, a saturação pelo eixo horizontal e a matiz pela posição angular da base do poliedro, representada pelo hexágono. O preto, por exemplo, encontra-se no ápice do poliedro por possuir todos os valores dos eixos nulos (MATHER, 1987).

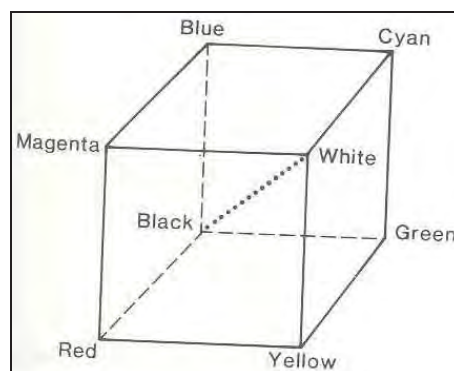


Figura 10 – Cubo de formação de cores no RGB. Fonte: Mather (1987).

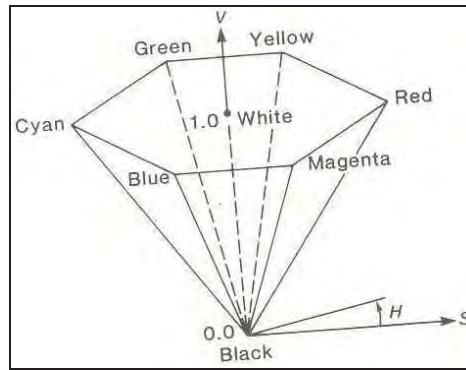


Figura 11 – Poliedro de formação de cores no IHS. Fonte: Mather (1987).

Essa transformação de espaços no âmbito visual/perceptivo possibilita a substituição do valor da intensidade das imagens multiespectrais pelo valor da imagem pancromática. O resultado gerado poderá ser revertido para o espaço RGB e apresentará melhor resolução do que as imagens multiespectrais originais (SCHOTT, 1997).

4.1.1.2.2. Brovey

É um método simples que conserva a contribuição espectral de cada pixel da imagem original, porém substitui o valor do brilho pelo da imagem pancromática. Essa substituição ocorre por meio do algoritmo visualizado na equação 2, a seguir, aplicada pixel a pixel na imagem original (KALPOMA; KUDOH, 2007).

$$CN_I = (((MSI_I + 1,0) * (PAN + 1,0) * 3,0) - 1,0) / (\sum_I MSI_I + 3,0) \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: CN = banda de saída com a cor normalizada;

MSI = banda multiespectral;

PAN = banda pancromática.

Fonte: Vrabel (2000)

O algoritmo da equação 2 separa o espaço espectral das três bandas MS em seus componentes matiz e brilho. Além disso, multiplica cada uma das três bandas MS pela imagem pancromática que possui maior resolução espacial e esses resultados são normalizados por meio da divisão da soma total das três bandas MS. Vale salientar que os valores constantes na equação são inseridos para garantir que não ocorra divisão por zero (HALLADA; COX, 1983 apud VRABEL, 2000).

A transformação Brovey foi desenvolvida para aumentar o contraste visual nos histogramas das imagens de diferentes tipos de resoluções a fim de proporcionar contraste nas sombras, água e áreas de alta reflexão, como áreas urbanas. As limitações encontradas nesse método são iguais às do método IHS, já que o Brovey utiliza o espaço RGB de cores (ERDAS, 1999; PINHO, 2005).

4.1.1.2.3. Principais componentes (PC)

A transformação PC consiste em produzir n novas imagens (PC1, PC2,..., PCn) a partir de n imagens brutas, sendo assim, a PC1 irá apresentar a feição espectral comum a todas as suas anteriores, a segunda imagem irá mostrar a feição mais significativa e assim por diante até a última, em ordem decrescente de quantidade de informações (LUZ et al., 2009).

Segundo Kalpoma e Kudoh (2007), a fusão pelo método PC é similar ao método IHS, pois inicialmente o espaço RGB é convertido à PC1, PC2 e PC3. O PC1, por conter a maior quantidade de informações presentes, bandas será substituída pela PAN. Após isso, o espaço é reconvertido para o RGB.

4.1.1.2.4. Gram-Schmidt (GS)

Segundo Luz et al. (2009) o método GS é baseado em rotações e translações do conjunto original de atributos. Como produto da simulação, tem-se uma banda de alta resolução obtida por bandas de baixa resolução. O GS baseia-se na ortogonalização de vetores espectrais provenientes das imagens e permite a produção de uma imagem a partir de várias bandas utilizadas simultaneamente (LU et al., 2004).

Na fusão, como citado anteriormente, há a simulação de uma banda pancromática a partir das bandas multiespectrais de baixa resolução espacial. Após isso, é aplicada uma transformação GS à banda pancromática simulada e às bandas multiespectrais. A pancromática simulada é então substituída pela banda pancromática de alta resolução e uma transformação inversa é realizada para produzir a imagem de saída (PINHO et. al. 2005).

4.1.1.3. Técnicas de detecção de mudanças

Detecção de mudanças é o processo de identificar diferenças no estado de um objeto ou fenômeno qualquer através da sua observação em diferentes intervalos de tempo (SINGH, 1989). No caso de se analisar algum fenômeno ao longo do tempo, as técnicas de detecção de

mudanças são consideradas ferramentas importantes que oferecem subsídios para analisar dados adquiridos de maneira multitemporal.

De acordo com Lu et al.(2004), os estudos realizados com essas técnicas permeiam diversos temas relacionados ao uso e cobertura do solo, 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 deslizamento.

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.

Lu et al. (2004) agrupam as técnicas de detecção de mudanças de acordo com a semelhança de trabalho dos métodos de processamento, resultando em seis categorias principais: Álgebra, Transformação, Classificação, Modelos avançados, Sistema de informação geográfico (SIG) e Análises visuais.

Vale salientar que nem sempre a escolha da técnica adequada é trivial, além de que podem existir variações nos procedimentos utilizados (LU et al., 2004).

Para a realização da análise temporal foi utilizada a técnica de análise visual. Essa técnica consiste na interpretação visual e na identificação de áreas que sofreram mudanças por meio de padrões de textura, cor, forma e tamanho. A extração das informações é manual e depende principalmente da experiência do interpretador. Entretanto, como desvantagens dessa técnica pode-se citar o alto consumo de tempo e a dificuldade em atualizar os resultados, mesmo assim é utilizada quando os padrões que devem ser analisados não são comumente utilizados por serem muito complexos para implementação computacional. (LU et al, 2004).

4.1.2. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Os SIGs são sistemas capazes de realizar o tratamento computacional de dados geográficos e recuperar informações com base em suas características alfanuméricas e na sua localização espacial. Dessa forma, oferecem ao usuário uma visão única de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, interrelacionadas com base na localização geográfica (CÂMARA, 2005).

Um SIG é capaz de capturar, armazenar, analisar, transformar, integrar e apresentar da melhor forma possível os dados geográficos, sendo uma ferramenta que automatiza tarefas até então realizadas manualmente e facilita a realização de análises complexas, através da integração de dados de diversas fontes. Sua finalidade principal é prover suporte aos processos de decisão (CÂMARA, 2005).

Quando aliado ao uso de produtos de Sensoriamento Remoto, o SIG tem grande contribuição a oferecer no monitoramento das faixas de dutos, auxiliando na identificação de áreas com maior suscetibilidade à ocorrência de eventos naturais e consequente setorização das áreas de risco, além de possibilitar o acompanhamento das mudanças do uso da terra no entorno da faixa (FERREIRA, 2009).

4.2. Erosão

A erosão do solo é um processo dinâmico, difícil de ser controlado e facilmente acelerado e intensificado pelo homem devido aos diferentes usos que faz do meio ambiente. Os processos erosivos atuam na modelagem do relevo através da ação de fatores exógenos (água, ventos, gelo e/ou organismos) que promovem a remoção de partículas ou, até mesmo, de grandes volumes de solo por meio da energia cinética dos agentes erosivos, sendo que na medida em que a energia cinética diminui ocorre a deposição do material removido em outros locais (WEILL; PIRES NETO, 2007).

Quando a erosão é resultado somente da atuação de agentes naturais, sem a intervenção das atividades antrópicas, é chamada de erosão geológica ou natural. Neste caso, é um fenômeno extremamente importante para a formação do relevo na superfície da terra, dos solos aluviais e das rochas sedimentares (WEILL; PIRES NETO, 2007). Os principais fatores naturais relacionados ao fenômeno da erosão são, segundo Santoro (2009), o clima, a cobertura vegetal, o relevo e o tipo de solo.

A precipitação é o fator climático com maior importância, muitos autores consideram que sua influência no processo erosivo está diretamente relacionada com a sua distribuição anual e a sua intensidade. Nas regiões onde as chuvas são abundantes e distribuídas regularmente, observa-se a formação de solos profundos e permeáveis bastante resistentes à erosão. Já nas regiões que apresentam precipitações mal distribuídas ao longo do ano, geralmente, os solos encontram-se desprotegidos devido ao período seco e por isso o processo

erosivo é mais intenso. Outros aspectos que podem ser considerados significativos relacionados com o clima são os ventos e as variações de temperatura (WEILL; PIRES NETO, 2007).

A cobertura vegetal natural possui a função de proteger o solo contra os processos erosivos e está estreitamente relacionada com o clima. Nas áreas de clima quente e precipitações abundantes, a vegetação natural que se desenvolve é mais densa e, dessa forma, protege o solo minimizando os efeitos dos agentes erosivos. Em regiões com elevada deficiência hídrica, a vegetação natural é mais esparsa e de pequeno porte, o que resulta em uma maior área de solo exposto ou pouco protegido e, conseqüentemente, mais vulnerável à erosão.

O relevo desempenha um papel importante na circulação da água pluvial, sendo que a sua participação como agente erosivo está relacionada à amplitude e à inclinação das encostas. Nos relevos mais aplainados há o predomínio de infiltração, enquanto nos terrenos mais inclinados o predomínio é do escoamento superficial das águas. Já a relação dos solos com os processos erosivos está associada com sua maior ou menor resistência à ação das águas e as variáveis que concernem ao solo a sua erodibilidade, são a textura, estrutura, permeabilidade, profundidade e densidade, e as características químicas, biológicas e mineralógicas (SANTORO, 2009).

As interferências humanas nos sistemas naturais acarretam na ativação do processo natural de erosão e acelerada e intensifica este processo, neste caso é chamada de erosão antrópica ou acelerada. Este tipo de erosão ocorre quando a capacidade natural de auto-regulação de um sistema é ultrapassada e indica que o uso e manejo do solo foram mal conduzidos. Dentre as formas de intervenção antrópica que podem acelerar o processo erosivo estão incluídas o desmatamento, a movimentação de solos, a concentração do escoamento superficial das águas, o uso inadequado dos solos agrícolas e urbanos (SANTORO, 2009).

Nas áreas de atividades agropecuárias intensivas, têm sido detectadas muitas alterações dos atributos que causam a degradação do solo, em razão de diversos processos que levam ao esgotamento das características físicas, químicas e biológicas, sendo apontados como responsáveis o revolvimento excessivo do solo, as práticas inadequadas e o superpastejo. Esses processos são responsáveis por diversos fatores que têm contribuído para a diminuição do potencial produtivo do solo, o que tem afetado a sustentabilidade do sistema (AZEVEDO e SVERZUT, 2007).

Pode-se observar pelo mapa indicativo de uso e ocupação apresentado anteriormente na Figura 9, que na área de estudo encontra-se uma grande porcentagem de pastagem. Quando há a formação de pastos com alta densidade de animais, proporcionando o excessivo pisoteio em

determinadas direções, ocorre a formação de trilhas pela passagem dos animais em busca de água (FENDRICH et al., 1997). O conceito de superpastejo significa que existe mais gado do que a capacidade de carga do solo pode agüentar, logo eventualmente o solo será danificado. Os animais podem tornar o solo compacto, pisar e deslocar fragmentos rochosos vertente abaixo, além de consumir ou destruir a vegetação que protege o solo e assim acelerar e intensificar os processos erosivos. A Figura 12 exemplifica uma área onde a pastagem ajudou a desencadear um processo erosivo linear.



Figura 12 – Erosão agravada pelo superpastejo.

Este trabalho tem como foco o monitoramento das erosões hídricas, que envolve o solo deflagrado pela ação de chuvas, compreendendo três etapas: desagregação das partículas, transporte pelo escoamento superficial e deposição do material formando depósitos de assoreamento.

A desagregação (Figura 13) é a primeira fase da erosão hídrica que consiste no embate das gotas de chuva com o solo desprotegido, desagregando as partículas. Geralmente, no início da precipitação a desagregação é mais intensa e tende a diminuir na medida em que se forma uma lamina d'água sobre o solo.

As partículas desprendidas do solo pelo impacto das gotas de chuva são transportadas pelo escoamento superficial até grandes distâncias da sua fonte de origem, além disso, o fluxo superficial também pode produzir erosão, caso sua energia seja suficiente para quebrar os agregados naturais do solo. A ocorrência desse duplo aspecto (desagregação e transporte) da ação do escoamento superficial está condicionada a uma série de fatores relativos às características do escoamento, ao tamanho das partículas do solo, à declividade do terreno, às

condições da cobertura vegetal, entre outros. A última fase do processo erosivo é a deposição ou assentamento, que ocorre quando o agente perde a sua força ou encontra algum obstáculo.

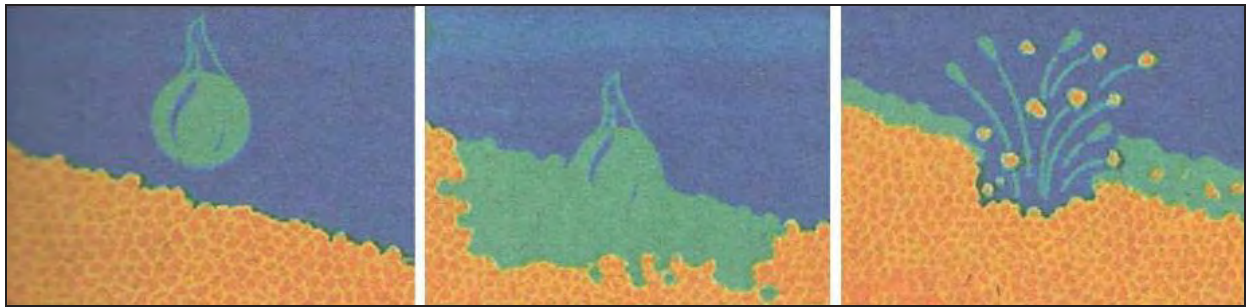


Figura 13 – Desagregação do solo pelo impacto da gota de chuva.

Fonte: Weill; Pires Neto (2007).

A erosão hídrica é classificada em dois tipos: a erosão laminar e a linear. A erosão laminar é causada pelas enxurradas que deslizam como um lençol, desgastando a superfície do solo de forma suave e uniforme, sendo bastante difícil de ser identificada. Existem alguns fatos através dos quais se pode constatar a ocorrência desse tipo de erosão, como por exemplo, o decréscimo de produção das culturas, o aparecimento das raízes ou até mesmo a marca no caule das plantas onde o solo foi arrastado (FENDRICH et al., 1997).

A erosão linear é decorrente da ação do escoamento hídrico superficial concentrado, desenvolvendo-se em três tipos diferentes: sulcos, ravinas e voçorocas. A Tabela 2 apresenta os tipos de erosão hídrica e as suas principais características e a Figura 14 ilustra os tipos de erosão descritos.

Tabela 2 - Tipos de erosão hídrica. Fonte: adaptado de Santoro (2009)

Tipo	Características
Erosão laminar	Acontece quando a água escoar uniformemente pela superfície do terreno, transportando as partículas de solo, sem formar canais definidos.
Erosão linear	É causada pela concentração do escoamento superficial e de fluxos d'água em forma de filetes. Sua evolução dá origem a três tipos de erosão: sulco, ravina e voçoroca.
Sulco	É um tipo de erosão no qual o fluxo d'água ao atingir maior volume transporta maior quantidade de partículas, formando incisões na superfície de até 0,5 m de profundidade e perpendiculares às curvas de nível.
Ravinas	São as formas erosivas lineares cuja profundidade é maior do que 0,5 m, neste caso as águas do escoamento superficial escavam o solo até seus horizontes inferiores.
Voçorocas	É a forma mais complexa de erosão linear, neste caso ocorre o aprofundamento até atingir o nível do lençol freático que aflora no fundo do canal. Há então a ação combinada das águas do escoamento superficial e subterrâneo, o que condiciona a evolução da erosão tanto lateral quanto longitudinalmente.

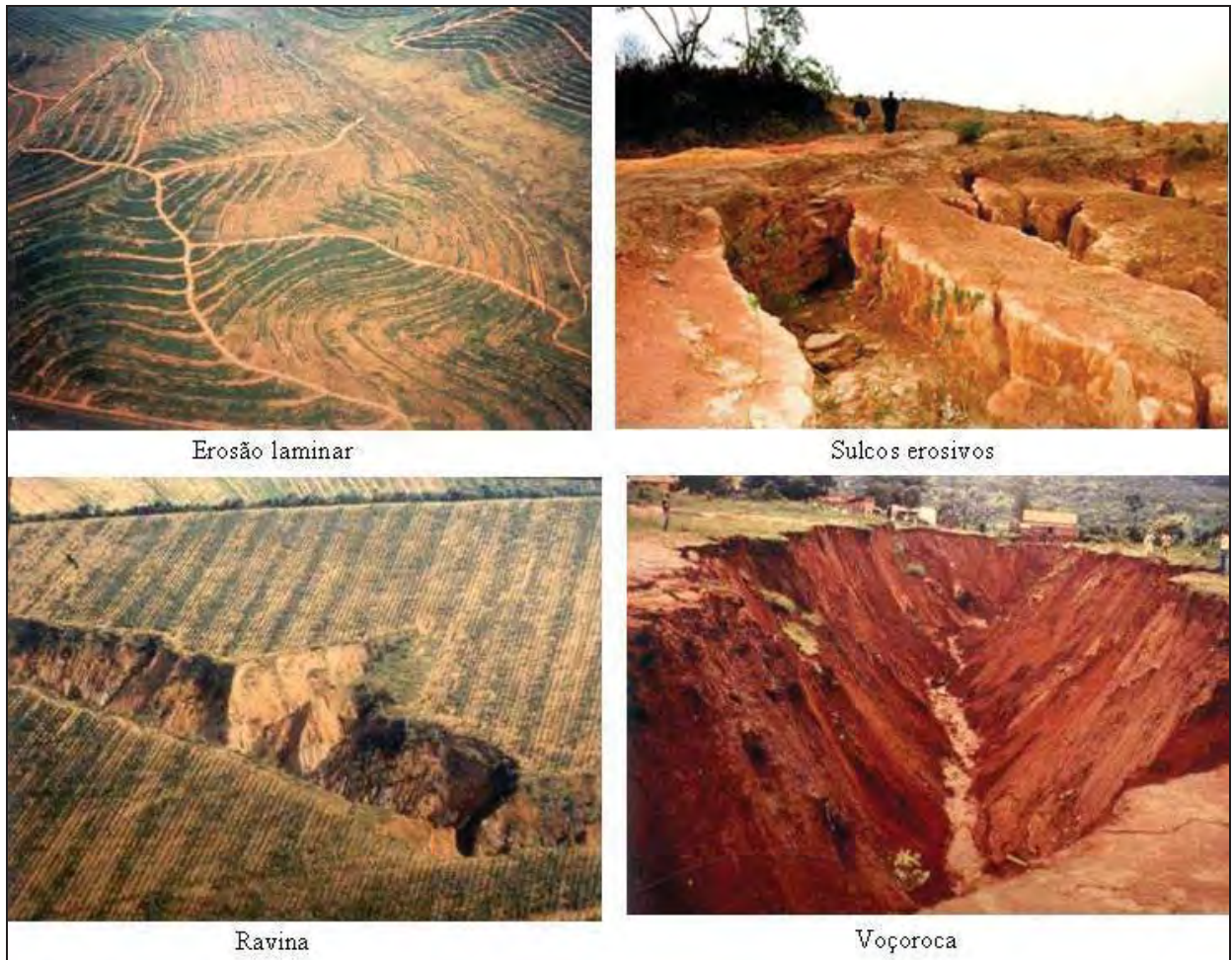


Figura 14 – Exemplos dos tipos de erosão hídrica. Fonte: Adaptado de Proin/Capes; Unesp/IGCE (1999)

4.3. Movimentos de massa

Os movimentos gravitacionais de massa são processos, em parte, responsáveis pela evolução das formas de relevo, causam grandes danos socioeconômicos quando em desequilíbrio e ocorrem e são estudados em todo o mundo. (GUIDICINI; NIEBLE, 1984). Os escorregamentos, sobretudo os translacionais, representam os principais processos desse quadro evolutivo, ocorrendo naturalmente nas médias e altas encostas de serras, mesmo em vertentes totalmente isentas de qualquer ação antrópica (WOLLE, 1985).

Segundo Lopes (2006), os condicionantes naturais do meio físico como o geológico, geomorfológico e os climáticos, aliados ao crescimento desordenado das cidades e à degradação ambiental, principalmente em áreas com grande variação de amplitude topográfica, tem levado a uma maior ocorrência de movimentos de massa nas encostas dos morros. Sendo assim, as

interferências antrópicas no meio físico, sem critério e estudos prévios, aceleram e intensificam os movimentos gravitacionais, causando inúmeros prejuízos econômicos, sociais e ambientais.

Augusto Filho (1992) agrupa os movimentos de massa em quatro tipos principais: rastejos, quedas, corridas e escorregamentos. O rastejo é o movimento lento e gradual da massa de solo de um talude, caracterizando uma deformação plástica, sem geometria e superfície de ruptura definidas. Ocorrem geralmente em horizontes superficiais de solo e de transição solo/rocha, como também em rochas alteradas e fraturadas.

As quedas estão associadas a movimentos de materiais rochosos, sendo que os principais tipos são: as quedas de blocos (matacões) e deslocamentos de lascas e blocos de rocha. Já as corridas constituem a movimentação de grandes volumes de solo e de rocha, com amplo raio de alcance e elevado poder de destruição (VEDOVELLO; MACEDO, 2007).

Os escorregamentos são os tipos de movimentação de massa de solo que mais ocorrem na área de estudo, são caracterizados por movimentos de velocidade média a rápida (ocorrem em frações de segundos a minutos), atingindo solos e/ou rochas, afeta parcialmente o manto de alteração de uma encosta, possui limites (superfície de ruptura) bem definidos tanto em profundidade como lateralmente.

As classificações mais comuns para escorregamentos são baseadas na forma do plano de ruptura e no tipo de material em movimento. A classificação baseada na forma contempla a geometria que pode ser circular (ou rotacional), planar (ou translacional) ou em cunha (Figura 15). Quanto ao material envolvido pode ser solo, solo e rocha, somente rocha ou ainda depósitos de lixos (FERNANDES; AMARAL, 2003), que podem ter ou não estruturas ou planos de fraqueza, que favorecem as rupturas.

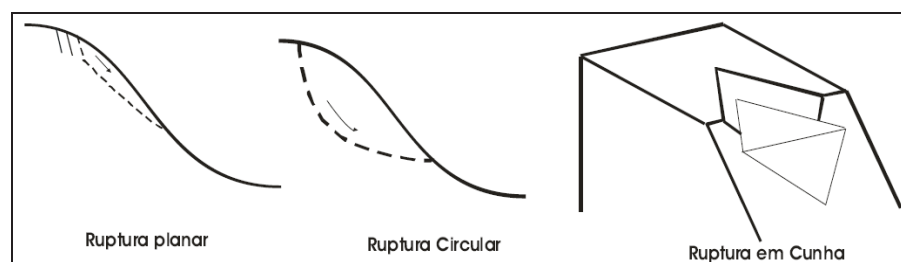


Figura 15 – Esquema das principais rupturas em escorregamentos. Fonte: Modificado de IPT (1991).

O escorregamento do tipo planar ocorre em solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza. Em maciços rochosos o movimento é condicionado por estruturas geológicas

planares, tais como: xistosidade, fraturamento e foliação. Estes escorregamentos são comuns nas encostas serranas brasileiras com ruptura podendo ocorrer no contato com a rocha subjacente.

Os escorregamentos de ruptura circular apresentam uma superfície de deslizamento encurvada, correspondendo a um movimento rotacional, segundo um eixo. Ocorre geralmente em aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas. A ocorrência de movimentos de massa circulares torna-se mais evidente nas áreas de climas tropicais e subtropicais com altas taxas de precipitação e temperaturas, onde o regolito ou manto de intemperismo é mais espesso, devido a uma pedogênese mais intensa e acelerada, podendo resultar em camadas de centenas de metros de espessura (PORTO, 1996).

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. São comuns em taludes de corte ou encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento natural ou antrópico.

MATERIAIS E MÉTODOS

4.2. Materiais

Os materiais utilizados para compor o banco de dados em ambiente SIG estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Materiais utilizados.

Tipo	Descrição	Detalhes	Fonte
Imagem de satélite	Satélite: Ikonos; Data: Fevereiro/2002.	Coordenadas UTM do retângulo envolvente (Fuso 23S): X1: 662532; X2: 675004; Y1: 7503243; Y2: 7486251. Resolução: 4 m MS e 1m PAN.	Space Imaging
Imagem de satélite	Satélite: GeoEye; Data: Novembro/2009.	Coordenadas UTM do retângulo envolvente (Fuso 23S): X1: 660145; X2: 676196; Y1: 7486421; Y2: 7503412. Resolução: 0,5 m MS e 0,5 m PAN (Fusão).	GeoEye (Base para o registro)
Imagem de satélite	Satélite: GeoEye; Data: Fevereiro/2010.	Coordenadas UTM do retângulo envolvente (Fuso 23S): X1: 659987; X2: 676238; Y1: 7486490; Y2: 7503709. Resolução: 0,5 m MS e 0,5 m PAN (Fusão).	GeoEye
Carta topográfica	Folha: Vila Militar; Código: SF-23-Z-B-IV-3 Data: 1966	Formato: Digital/Raster; Escala: 1:50.000.	Diretoria de Serviço Geográfico - DSG.
Mapa	Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro. Data: 2000.	Formato: Digital/Raster; Escala: 1:400.000.	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (2000).
Mapa	Unidade do Relevo do Estado do Rio de Janeiro. Data: 2000.	Formato: Digital/Raster; Escala: 1:400.000.	CPRM (2000).
Mapa	Sistemas de Relevo do Estado do Rio de Janeiro. Data: 2000.	Formato: Digital/Raster; Escala: 1:250.000.	CPRM (2000).
Mapa	Mapa de reconhecimento de baixa intensidade de solos do estado do Rio de Janeiro Data: 2003	Formato: Digital/Vetor Escala: 1:250.000	Embrapa Solos (2003)
Carta	Geológica do Brasil ao milionésimo; Folha: SF.23; Data: 2004.	Formato: Digital/Vetor; Escala: 1:1.000.000.	CPRM (2000).
Mapa	Traçado Faixa de Dutos (Rio – Belo Horizonte).	Formato: Digital/Vetor; Escala: 1:30.000.	Petrobrás Transporte S.A.
Mapa	Área dos municípios.	Formato: Digital/Vetor; Escala: 1:500.000.	IBGE.

Para o processamento, correção e análise dos dados utilizou-se o software ArcGis 9.3 (ESRI, 2009) e o software ENVI 4.7 (ITT, 2008).

4.3. Métodos e etapas do trabalho

Visando detectar as mudanças ao longo do tempo na área de estudo selecionada, foi escolhida a técnica de análise visual para identificação e quantificação das feições erosivas e de escorregamentos. As etapas de trabalho são exemplificadas através do fluxograma da Figura 16.

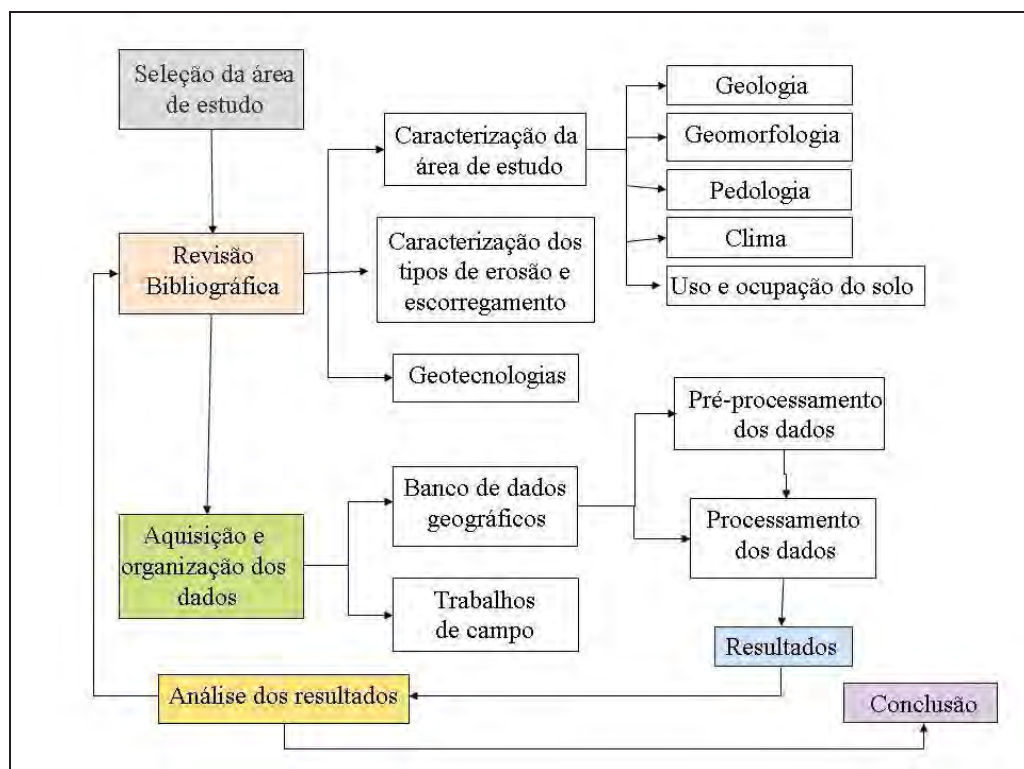


Figura 16 – Fluxograma das etapas de trabalho.

4.3.1. Aquisição e organização dos dados

O presente estudo 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 pela Petrobras. Sendo assim, a área de estudo selecionada e a aquisição do material necessário para a realização deste trabalho permearam os objetivos e o orçamento do citado projeto.

Todos os dados referentes à área de estudo foram organizados em um banco de dados geográficos para que as informações ficassem agrupadas de tal maneira que facilitasse seu acesso e possibilitasse o estabelecimento das análises.

4.3.2. Pré-processamento dos dados

Nesta etapa foi realizada a digitalização da carta topográfica Vila Militar, descrita no quadro 3, para que as informações de pontos cotados, curvas de nível e drenagem fossem armazenadas em formato vetorial e posteriormente utilizadas em outras fases do trabalho.

Na etapa de pré-processamento dos dados foi realizada a correção geométrica, também chamada de ortorretificação e/ou registro de imagens, verificou-se a necessidade de fazer a correção atmosférica e, além disso, foi realizado o mosaico das duas partes que compõem a área de estudo de modo que se tornassem apenas uma. Antes de iniciar o processamento das imagens, foi ainda realizado testes das técnicas de fusão disponíveis, de modo que se determinasse a melhor delas para a realização do presente trabalho.

4.3.2.1. Ortorretificação e/ou registro de imagens

A ortorretificação das imagens foi realizada no software Envi. Para que tal procedimento tivesse um bom resultado foi necessário que a aquisição de pontos de controle para o registro atenda duas importantes recomendações: os pontos escolhidos devem estar ao nível do solo, pois isso diminui as distorções inerentes ao ângulo de aquisição da imagem, além disso, os pontos precisam estar homogeneamente distribuídos por toda a imagem.

Para a ortorretificação de uma imagem é indispensável que se tenha uma base georreferenciada, corrigida geometricamente e que permita uma identificação clara dos pontos de controle escolhidos tanto na base quanto na imagem a ser ortorretificada. Além disso, é necessário o Modelo Digital de Elevação (MDE) para que se obtenha a informação de altitude dos pontos de controle escolhidos. O MDE da área de estudo foi gerado com a interpolação dos dados vetorizados da carta topográfica (curvas de nível, pontos cotados e drenagem) através da ferramenta TIN implementada no software ArcGis 9.3.

4.3.2.2. Correção atmosférica

De acordo com Jensen (1996), a correção atmosférica pode ser desprezada em estudos relacionados ao uso e ocupação do solo, já que os alvos como solo, vegetação, água e

fenômenos urbanos são definidos e apresentam diferenças mensuráveis em relação aos fenômenos atmosféricos.

Como o alvo do presente trabalho é a identificação de feições de erosão e escorregamento não foi necessária a realização de correção atmosférica nas imagens.

4.3.2.3. *Fusão*

A fusão de imagens é um meio eficiente de se obter uma imagem com alta resolução espacial, bem como com essencial informação espectral. Esta ferramenta reúne, em um único produto, a melhor resolução espacial inerente à banda pancromática com a melhor resolução espectral das bandas multiespectrais.

Para a realização deste trabalho foram testadas quatro técnicas de fusão cujos algoritmos podem ser implementados no software Envi, sendo eles o IHS, o Brovey, Principais Componentes e o Gram-Schmidt, já descritos anteriormente. Vale salientar que anteriormente à aplicação dos mesmos torna-se necessário a realização do registro de imagens entre as bandas multiespectrais e a pancromática para que o tamanho do pixel seja reamostrado para o da imagem pancromática de alta resolução espacial (SCHOTT, 1997).

Os testes foram aplicados para a imagem do satélite IKONOS, cujas bandas vieram separadas. A imagem do satélite GeoEye já foi adquirida fusionada e, portanto, foi dispensada dessa etapa.

A avaliação dos testes foi baseada em termos qualitativos, para aferir qual seria o mais eficiente na identificação do alvo desejado, levando em consideração a melhoria da resolução espacial e a correspondência entre as cores da imagem original e da fusionada. É importante ressaltar que as técnicas de fusão devem ser empregadas utilizando todos os recursos disponíveis (tanto do método em si quanto do software) para a obtenção do melhor resultado possível.

4.3.3. *Processamento dos dados*

O processamento dos dados consistiu na aplicação de técnicas de detecção de mudanças, sendo que para este trabalho foi escolhida a técnica de análise visual, que consiste na interpretação visual e identificação de feições erosivas e de escorregamento, por meio de padrões de textura, cor, tamanho e forma. A extração das informações é manual, realizada diretamente sobre as imagens digitais das duas datas consideradas e depende principalmente da experiência do fotointérprete.

Neste trabalho, a interpretação visual das cicatrizes no terreno foi baseada nos seguintes critérios:

- Forma;
- Tamanho;
- Ausência de vegetação marcada por solo exposto;
- Orientação e direção na encosta.

O critério de orientação e direção da feição na encosta é fundamental para a diferenciação entre as erosões lineares e aquelas causadas pelo pisoteio do gado, pois a primeira está orientada no sentido de caimento da vertente, enquanto a segunda acompanha a curva de nível.

Para obter sucesso no processo de detecção de mudanças é recomendada a aplicação das etapas descritas por Jensen (1996):

1) Alvo de estudo:

- 1a) Definição da área de estudo;
- 1b) Especificação da frequência da ocorrência do fenômeno;
- 1c) Identificação das classes de uso e cobertura do solo.

2) Desempenho da detecção de mudanças:

- 2a) Considerações em relação ao sistema sensor: resolução temporal, espacial, espectral e radiométrica;
- 2b) Considerações em relação ao meio ambiente: atmosfera, hidrosfera, litosfera e organismos.

3) Processamento de imagens:

- 3a) Obtenção de dados: levantamentos em campo; Sensoriamento Remoto;
- 3b) Pré-processamento de dados;
- 3c) Seleção de algoritmo/técnica de detecção de mudanças apropriada;
- 3d) Aplicação de classificação de imagens, se necessário;
- 3e) Avaliação do desempenho da técnica de detecção de mudanças.

4) Garantia de qualidade e controle do programa:

- 4a) Avaliação da precisão estatística.

5) Distribuição dos resultados:

- 5a) Produtos digitais;
- 5b) Produtos analógicos.

4.3.4. Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo foram realizados no período de 29 de agosto de 2010 a 1 de setembro de 2010, para a checagem das áreas delimitadas nas imagens. E dessa forma, verificar se os polígonos extraídos correspondiam efetivamente a feições erosivas e de escorregamento. O campo foi realizado com a utilização de veículos terrestres complementados por voo de helicóptero.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Resultados

6.1.1. Pré-processamento dos dados

Nessa etapa foram realizadas as atividades iniciais de processamento das imagens das duas cenas escolhidas, explicitadas na Tabela 4, a seguir:

Tabela 4 – Dados nominais dos sensores ópticos.

Imagem	Data	Satélite	Sensores ópticos	Bandas	Resolução espectral (μm)	Resolução espacial (m)	Tamanho das cenas (km)
01	Fev. 2002	Ikonos	MS	1	0,44 - 0,51	4	11,3
				2	0,50 - 0,59		
				3	0,63 - 0,69		
				4	0,75 - 0,85		
			Pan	Pan	0,52 - 0,92	1	
02	Fev. 2010	GeoEye	MS	1	0,45 - 0,51	1,65	15,2
				2	0,51 - 0,58		
				3	0,65 - 0,69		
				4	0,78 - 0,92		
			Pan	Pan	0,45 - 0,80	0,41	

Fonte: GEOEYE, 2010.

A ortorretificação da imagem empregada como base para o registro de todas as outras imagens utilizadas no projeto, foi realizada por outro integrante da equipe. A imagem escolhida como base para o registro das demais é uma GeoEye de novembro de 2009 ortorretificada com pontos de controle obtidos através de cartas topográficas, pois não se dispunham de dados no terreno obtidos por GPS ou ortoimagem. Para obter as informações de altitude, foi elaborado um modelo digital de elevação a partir de cartas topográficas 1:10.000, com equidistância de 5m.

Foram coletados 18 pontos de controle, com um erro médio de 4,5m, considerado não adequado para a escala 1:10.000 cujo erro cartográfico admitido dever ser menor ou igual a 2m. Entretanto, pode-se justificar o erro obtido pela acurácia da aquisição dos pontos sobre a carta e a imagem, sendo incompatível com a precisão cartográfica.

De posse da imagem GeoEye ortorretificada, cada integrante da equipe utilizou-a como base para registrar as demais imagens, desse modo, o registro da cena 01 foi feito por outro integrante da equipe.

O pré-processamento da imagem 02 iniciou-se com a realização de seu registro por meio do software Envi 4.7. Para atender às recomendações de uma boa ortorretificação, foram escolhidos preferencialmente como pontos de controle as bordas de piscinas, que são alvos que estão no nível do solo, encontram-se bem distribuídas pela imagem e são facilmente identificados na cena base e na imagem a ser registrada. Além disso, por se tratar de uma imagem de alta resolução os pontos de controle foram coletados a nível de pixel e somaram, para as duas partes da cena, um total de 52 pontos, sendo que o erro médio obtido foi de 2,85m para a primeira parte da cena e de 1,98m para a segunda parte.

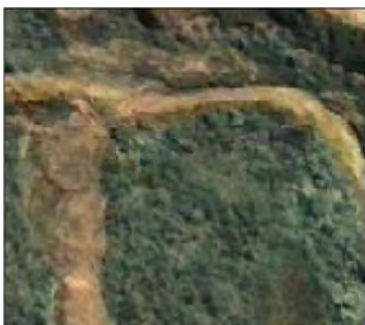
Apesar da primeira parte da imagem apresentar um erro cartográfico incompatível com o aceitável, o mosaico das duas partes, feito no software ArcGis 9.3, apresentou uma boa correspondência com a imagem base, não sendo necessário o ajuste fino.

Após a ortorretificação e a realização do mosaico entre as cenas, foram feitos os testes de fusão para a imagem do satélite Ikonos com o intuito de melhorar a resolução espacial da imagem e facilitar a identificação das feições. Para a realização dos testes foi escolhida apenas uma parte da imagem para que o processamento fosse mais rápido, desse modo foi selecionada uma área que apresenta certa heterogeneidade, onde podem ser observados diversos tipos de feições tais como erosão, solo exposto, área urbana, vegetação densa e vegetação esparsa.

As técnicas de fusão foram processadas de modo que se empregassem todos os recursos disponíveis no software Envi e também do método em si. Nos métodos IHS e *Bovey* só foi possível trabalhar com três bandas, dessa forma, optou-se por utilizar as bandas correspondentes ao espectro visível (bandas 1, 2 e 3) para realizar a fusão com a pancromática, resultando em imagens sintéticas cuja resolução radiométrica não é superior a 8 bits.

No caso das técnicas Principais Componentes e *Gram-Schmidt*, não existe limitação do número de bandas a ser utilizada no processamento, sendo assim, foram empregadas as quatro bandas multiespectrais para realizar a fusão. Na aplicação do método GS, o Envi 4.7 oferece o recurso de desempenhar o processamento a partir de modelos prévios do sensor (no caso, Ikonos), refinando ainda mais o resultado final. A Tabela 5 apresenta os resultados dos testes realizados.

Tabela 5 – Comparação entre os métodos de fusão IHS, Brovey, PC e GS.

MÉTODO	IKONOS	DETALHE
Multiespectral colorida, sem fusão		
IHS		
Brovey		
Principais Componentes (PC)		
Gram – Schmidt (GS)		

A partir da avaliação visual dos resultados é possível afirmar, no que se refere à melhoria da resolução espacial, que todos os produtos foram satisfatórios. Sendo assim, a escolha do melhor método foi baseada na correspondência entre as cores da imagem original e as fusionadas. Além disso, pode-se observar na Tabela 6 os valores médios de correlação entre as imagens originais e os produtos da fusão, pelos quais pode-se aplicar uma análise quantitativa no que diz respeito à resolução espectral das imagens fusionadas .

Tabela 6 - Valores de médios da correlação entre as imagens original e fusionada.

MÉTODO	CORRELAÇÃO MÉDIA
IHS	0,577
Brovey	0,511
Principais Componentes	0,519
Gram-Schmidt	0,612

Fonte: Riedel et.al (2010)

Através da análise visual, apesar de todos os métodos serem satisfatórios, o método GS mostrou melhor qualidade na visualização do alvo desejado, pois, aliado ao processo de contraste, a imagem mostrou uma melhor definição das bordas por apresentar uma visualização mais clara. Os valores de correlação não apresentam uma variação estatística significativa dos valores espectrais, entretanto o método GS apresentou o maior valor de correlação (0,612), e por isso optou-se pela utilização deste método para a realização da fusão em toda a imagem.

6.1.2. *Processamento dos dados*

Nessa etapa, realizou-se a identificação e digitalização das feições erosivas e de escorregamento encontradas a fim de observar as modificações existentes na área de estudo, os possíveis riscos que podem conferir ao duto e relacionar a ocorrência dessas feições com a litologia e pedologia da área. Para isso, as feições foram separadas em quatro classes diferentes, sendo definidas três classes referentes às feições erosivas e uma classe de escorregamento encontradas na área de estudo.

No que diz respeito aos tipos de erosão, foram identificadas na análise visual apenas erosões do tipo linear. Entretanto, é muito claro na imagem, que muitas dessas feições erosivas são causadas e/ou agravadas por práticas de remoção de solo e de superpastejo.

Dessa forma, a classe “erosão linear” foi atribuída às feições que se encontram em áreas onde a intervenção antrópica não é o fator mais determinante no desenvolvimento da erosão, mas sim as características físicas inerentes ao terreno aliadas à concentração do escoamento hídrico superficial. A classe “superpastejo” foi atribuída às feições erosivas lineares decorrentes da prática de superpastejo, que degrada o solo, tornando-o mais frágil pelo pisoteio e formação de trilhas onde a água da chuva passa a escoar preferencialmente. Já a classe denominada “remoção de solo” foi atribuída às feições erosivas que se desenvolveram por conta da remoção da cobertura vegetal e de material pedológico de forma irregular e sem critérios, pois tal prática sem a devida recuperação, deixa o solo mais vulnerável ao impacto das gotas de chuva.

No que diz respeito às ocorrências de escorregamento, na área observou-se apenas escorregamentos do tipo translacional, e a eles foi atribuída a classe denominada “escorregamento”.

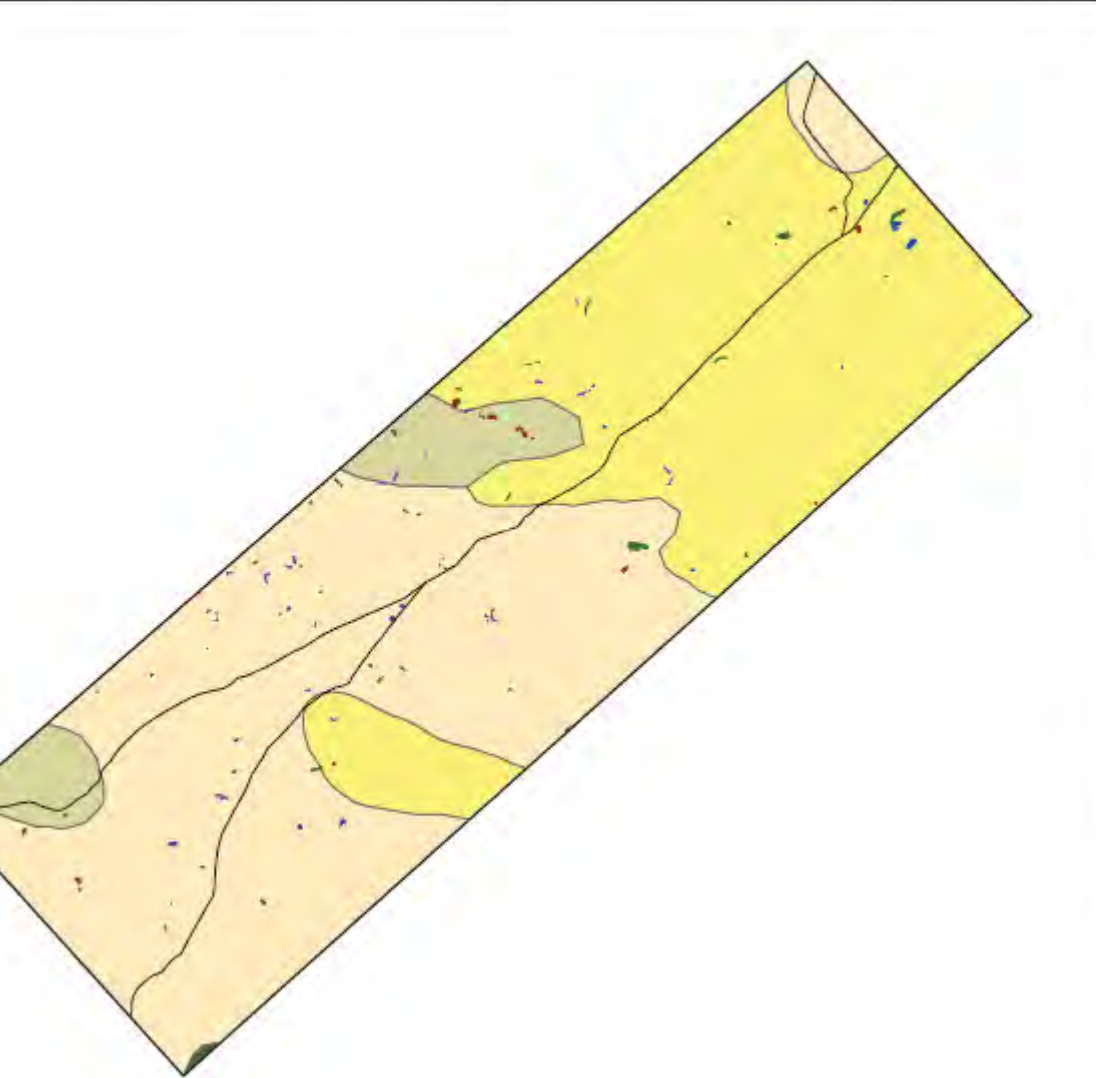
A Tabela 7 apresenta um exemplo de cada classe e a respectiva feição observada nas imagens. O método de análise visual utilizado para identificar essas feições requereu tempo e bastante acurácia na delimitação das erosões e escorregamentos, pois a área de estudo selecionada é extensa e a interpretação das imagens é complexa, uma vez que algumas feições erosivas podem ser confundidas com solo exposto, com remoção de material que ainda não evoluiu para sulcos erosivos e ainda com os canais de drenagem presentes na área.

Esta etapa do trabalho foi realizada no ArcGis 9.3, onde para cada imagem foram criadas dois planos de informação vetorial, um para as erosões e o outro para os escorregamentos, sendo que na Tabela de atributos foi criado o campo “classe”, afim de diferenciar as feições de acordo com a classificação pré-definida.

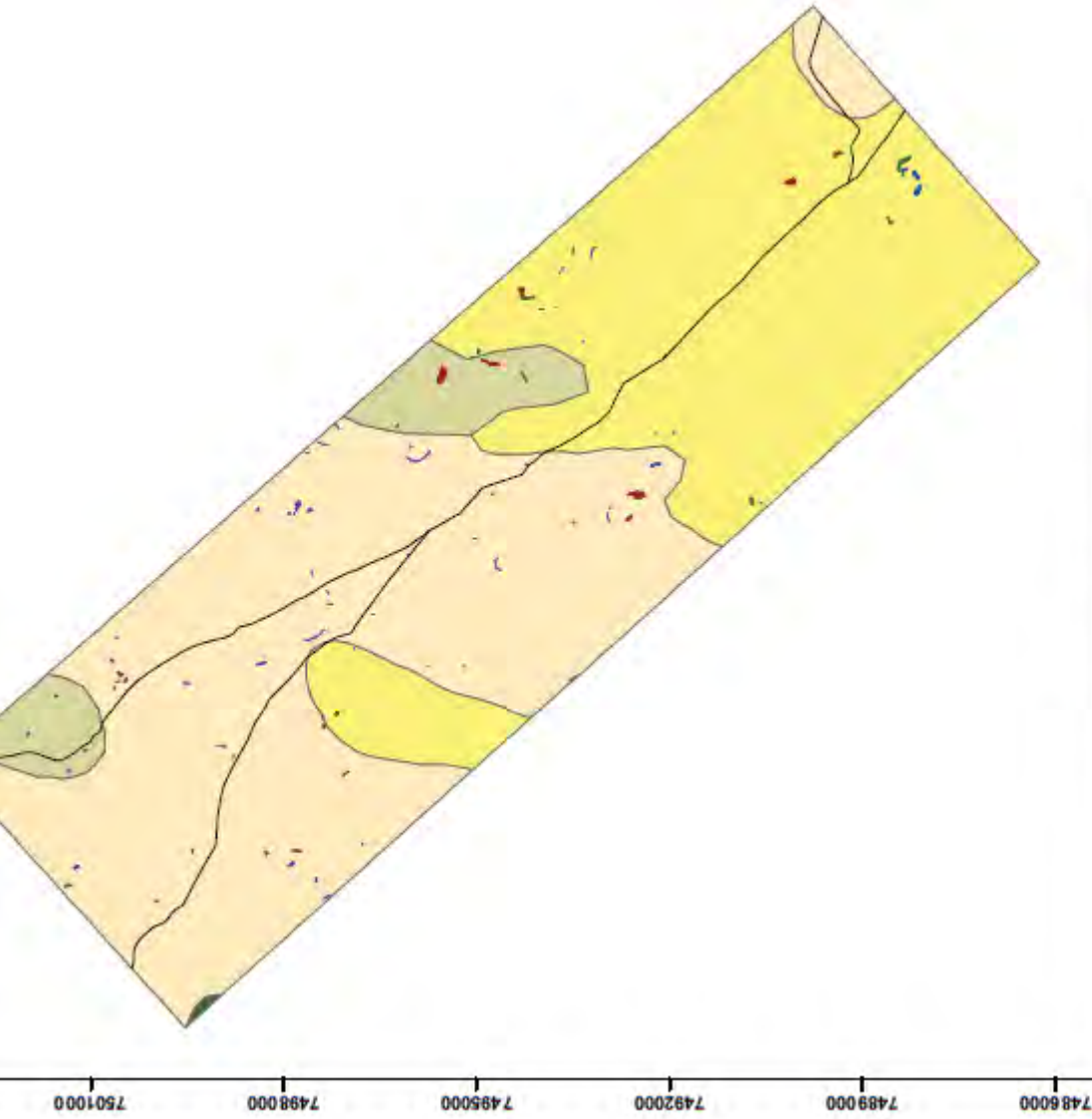
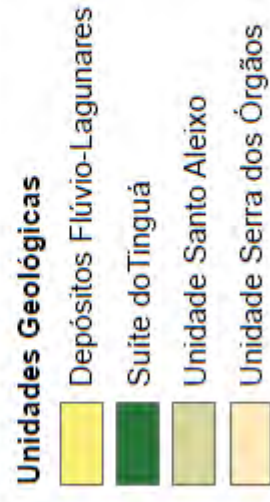
A Figura 17 apresenta a distribuição das erosões e dos escorregamentos pela área de estudo no ano de 2002 (a) e de 2010 (b), tendo como base o mapa das unidades geológicas da região. Já a Figura 18 apresenta as mesmas feições sobre o mapa pedológico, de modo que possibilite a relação da ocorrência do fenômeno com as características da área.

Tabela 7 - Descrição das classes e amostra da respectiva feição na imagem GeoEye

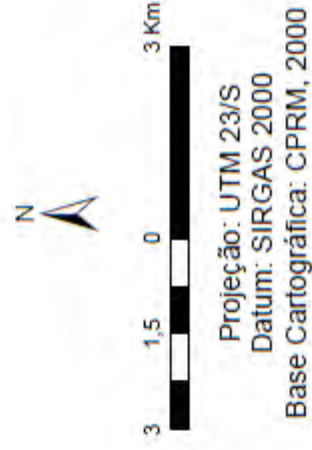
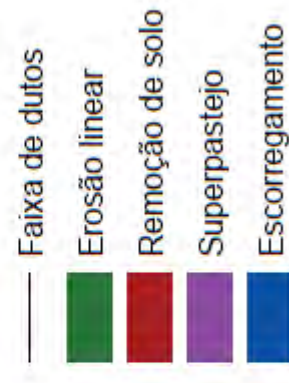
CLASSE	IMAGEM GEOEYE	CLASSE	IMAGEM GEOEYE
1) Erosão Linear: caracterizada por ser perpendicular às curvas de nível, perfazendo o mesmo caminho que o escoamento superficial.		3) Remoção de Solo: ocorre geralmente nas colinas e morros, onde o solo é removido, e a ação da água da chuva forma sulcos que acompanham a inclinação do talude.	
2) Superpastejo: típica de áreas de pastagens degradadas acompanha a trilha feita pelo gado, geralmente no mesmo sentido das curvas de nível.		4) Escorregamento: ocorre principalmente nas escarpas serranas e locais onde a declividade é acentuada.	



a) Feições identificadas no ano de 2002



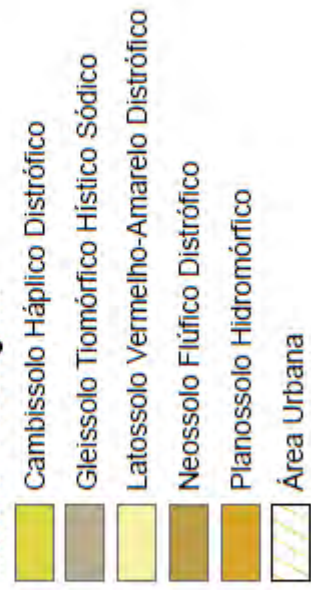
b) Feições identificadas no ano de 2010



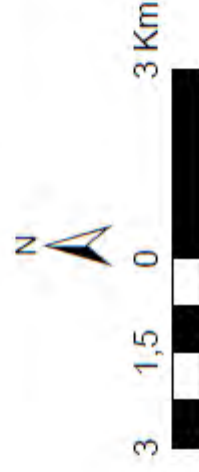


a) Feições identificadas no ano de 2002

Unidades Pedológicas



b) Feições identificadas no ano de 2010



Projeção: UTM 23/S
Datum: SIRGAS 2000
Fonte: EMBRAPA, 2003

6.2. Discussão

6.2.1. Análise quantitativa

A análise quantitativa do crescimento das feições pode ser vista na Tabela 8. Por meio dela, pode-se notar que houve crescimento do número total de feições de 2002 para 2010, sendo identificadas sete feições a mais no ano de 2010, entretanto é importante observar que a área correspondente às feições diminuiu em todas as classes, exceto no caso da remoção de solo. Em termos de quantidade de feições houve aumento no período observado, mas em termos de tamanho (área) o que ocorreu foi um decréscimo de 21,7%.

As Figuras 19 e 20 mostram os gráficos dos dados obtidos para o número de feições identificadas e para a área dos polígonos delimitados.

Tabela 8 – Quantificação das feições

Classe	Número de feições		Área (m ²)	
	2002	2010	2002	2010
Erosão linear	40	16	60.216,786	26.677,470
Superpastejo	35	46	17.985,362	14.183,804
Remoção de Solo	14	21	37.257,959	70.995,479
Escorregamento	20	33	68.592,519	32.118,061
Total	109	116	184.052,626	143.974,814

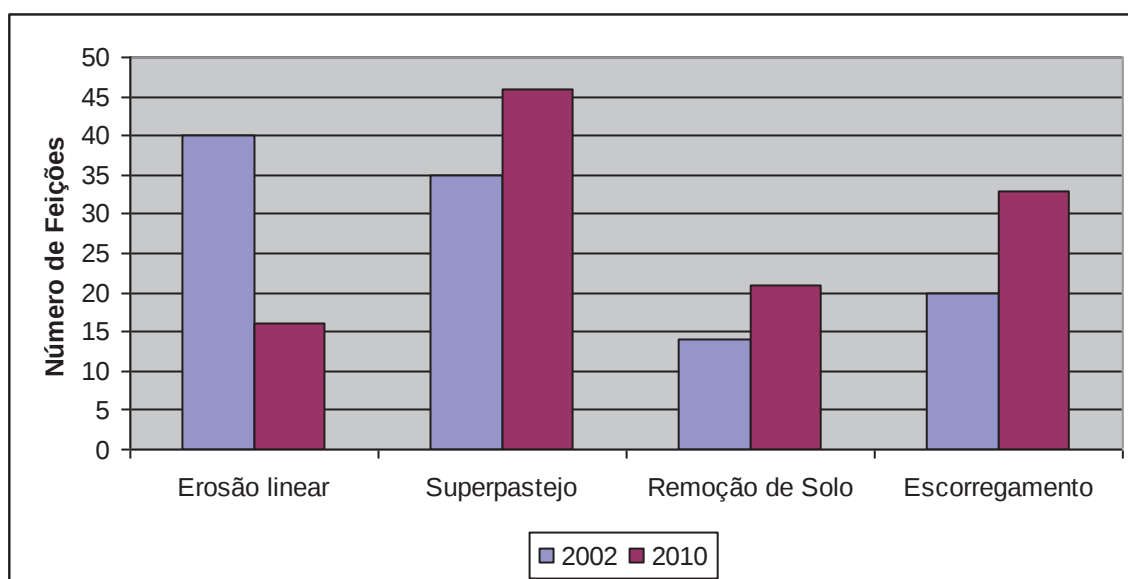


Figura 19 – Gráfico do número de feições identificadas nas imagens de 2002 e de 2010.

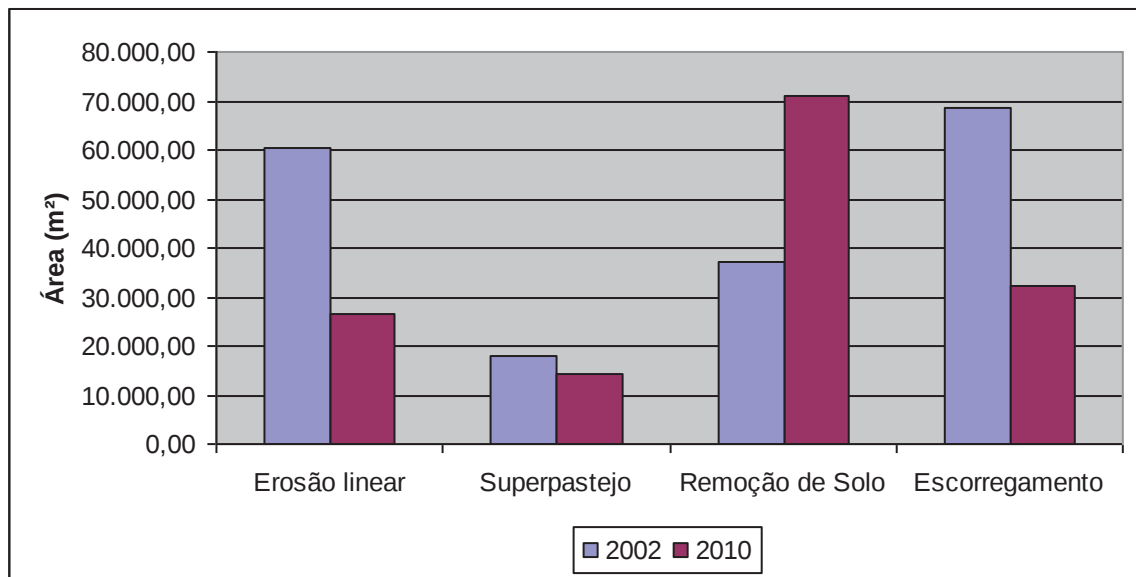


Figura 20 – Área, em m², dos polígonos correspondentes a cada feição.

Houve um decréscimo tanto no número quanto em área de erosão linear. Em um primeiro momento pode-se atribuir tal fato a uma possível recuperação das áreas erodidas. Entretanto, quando se analisa os demais dados juntamente com as imagens interpretadas, nota-se que em algumas áreas classificadas como erosão linear em 2002, tornaram-se áreas de pastagem e/ou remoção em 2010, sendo, então, reclassificadas nos casos em que houve o agravamento da erosão.

Na imagem de 2010 foram identificadas 11 feições erosivas causadas por superpastejo a mais que a imagem de 2002, contudo em termos de área houve um pequeno decréscimo. Esta diferença pode ser atribuída à dificuldade de se delimitar este tipo de erosão, pois geralmente são feições alongadas e finas vistas da imagem de satélite.

No que diz respeito às erosões em áreas de remoção de solo, observou-se um aumento tanto na quantidade de feições quanto na área degradada. No ano de 2010, foram identificadas sete feições a mais do que no ano de 2002, sendo que a área quase dobrou no mesmo período.

Observa-se que no ano de 2010 houve um maior número de escorregamentos translacionais, entretanto a área de solo exposto pelas feições diminuiu. O aumento da quantidade de escorregamentos pode ser atribuído às fortes chuvas que ocorreram nos meses de Dezembro de 2009 e Janeiro de 2010.

6.2.2. Ocorrência das feições e as características do meio físico

No que tange as características litológicas da área de estudo, observa-se pela Figura 17 que os fenômenos estudados são mais frequentes na Unidade Serra dos Órgãos, sendo que não há o predomínio de uma única classe em nenhuma das unidades geológicas presentes na região.

Quando se observa a Figura 18, nota-se que as feições concentram-se na unidade pedológica Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico caracterizada por um solo bastante intemperizado e profundo, por isso mais susceptível aos fenômenos erosivos.

6.2.3. Análise da proximidade com o duto

As erosões e escorregamentos podem oferecer grandes riscos à integridade do duto. Pode-se notar na Figura 17 que no ano de 2002 existem mais feições próximas ao duto do que em 2010. A Figura 21 abaixo corresponde a duas cenas da imagem GeoEye de fevereiro de 2010 que mostram uma erosão linear bem próxima à faixa do duto e um escorregamento que chegou a atingir o duto Orbel.

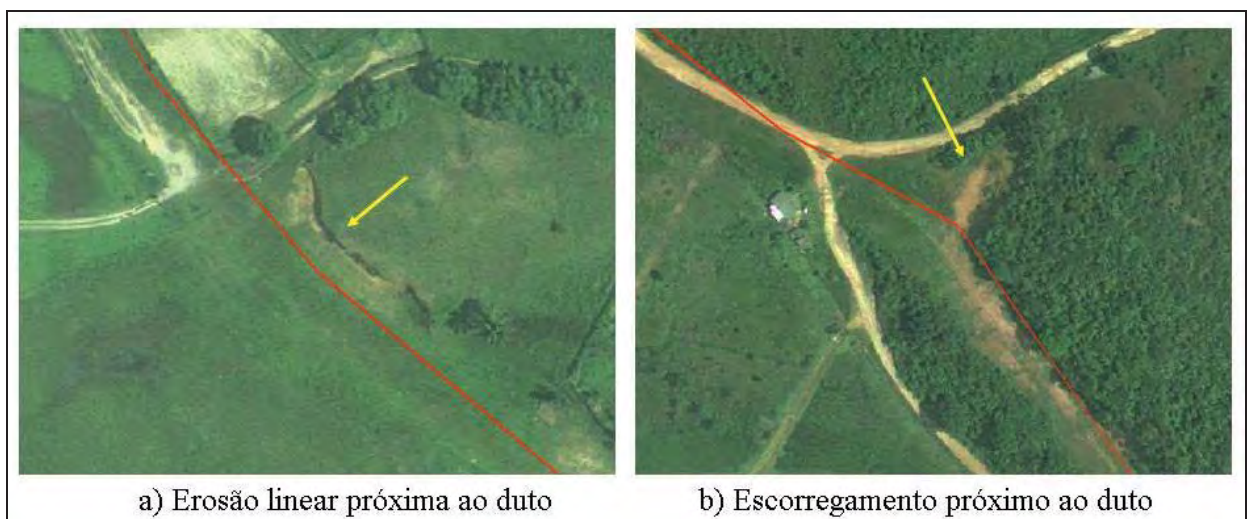


Figura 21 – Feições próximas ao duto

6.2.3. Visita de campo

Na última etapa do trabalho, foi realizada uma visita à área de estudo com o intuito de verificar os pontos de maior dúvida. A Figura 22 apresenta quatro fotos tiradas em campo das

diferentes feições analisadas neste estudo.



Figura 22 – Checagem em campo

A foto 20a apresenta uma erosão linear observada em uma colina, cuja vegetação foi removida deixando o solo exposto e mais suscetível aos agentes erosivos. Já a foto 20b exemplifica uma feição de escorregamento que não havia sido identificada na imagem de satélite, pois a vegetação em volta e o ângulo de visada do satélite impossibilitaram a sua identificação. A foto 20c apresenta um talude onde houve intensa remoção de solo, podendo-se verificar a formação de alguns sulcos ao longo do corte feito. Por fim, na foto 20d observa-se uma área de pastagem bastante degradada pelo pisoteio do gado e pela falta de manejo adequado da área, onde ocorre a formação de trilhas que, conseqüentemente, podem evoluir para erosões bastante graves.

7. CONCLUSÕES

A análise temporal dos fenômenos erosivos e escorregamentos foi empregada no monitoramento das mudanças ocorridas na área de estudo no período de oito anos (2002 a 2010). A partir desta análise verificou-se o aumento do número total de feições identificadas nas imagens de satélite, entretanto a área afetada diminuiu no período estudado.

No que diz respeito às feições erosivas, as classes “superpastejo” e “remoção de solo” foram as que apresentaram o maior número de feições. Estas classes estão diretamente relacionadas com o uso e ocupação do solo, indicando que a maior parte das erosões é causada pelas atividades antrópicas desenvolvidas na área de estudo sem um manejo adequado, tanto das pastagens, quanto das áreas onde há a remoção do solo.

O aumento do número de ocorrências de escorregamentos pode ser atribuído às fortes chuvas que ocorreram nos meses de Dezembro de 2009 e Janeiro de 2010.

Quando as feições identificadas são relacionadas às características geológicas e pedológicas da área de estudo, verifica-se que as mesmas são mais freqüentes na unidade geológica da Serra dos Órgãos e na unidade pedológica Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Por isso é importante observar os trechos da faixa Rio de Janeiro-Belo Horizonte que passam por essas unidades, intensificando o monitoramento e aplicando medidas de prevenção, principalmente no que diz respeito à utilização dessas áreas para pastagem e remoção de solo, uma vez que tais práticas intensificam a fragilidade natural do terreno.

A detecção de mudanças através do método da análise visual foi bastante satisfatória para a realização deste trabalho, apesar de ser um método que leva mais tempo e depende diretamente do fotointérprete. Os métodos computacionais que realizam a classificação automática disponíveis atualmente confundiriam alvos como solo exposto e estradas de terra com feições erosivas ou escorregamento. Pois tais métodos levam em consideração apenas as informações espectrais presentes no pixel da amostra coletada e, no caso da análise envolvida nesse trabalho, é imprescindível considerar o contexto da região no entorno da feição identificada para que a classificação seja correta.

Por fim, vale salientar a importância da checagem em campo para a verificação dos pontos obtidos através da análise visual. Desse modo, podem-se averiguar aqueles que geraram dúvida durante a interpretação visual e confirmar a ocorrência das feições identificadas.

8. RECOMENDAÇÕES

Como recomendação para futuros trabalhos sugere-se que a análise temporal seja feita, de preferência, entre imagens que possuam a mesma resolução espacial para facilitar a interpretação e a comparação dos resultados. Além disso, pode-se ainda propor métodos para a recuperação dessas áreas degradadas e planos de gestão e manejo para as áreas que possuem as mesmas características das que se verificam a ocorrência das feições, de modo a evitar a ocorrência nessas áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BONHAM-CARTER, G.F. **Geographic Information Systems for geoscientists: Modelling with GIS**. Ottawa: Pergamon, 1994. 398p.

COSTA, E.R.; SILVA, M.A.O.; NEVES, P.E.; SILVA, A.J.M. Ortorectificação: um passo a mais no processamento de imagens CBERS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, n.13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007.p.827-833. Disponível em: <<http://martes.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.16/doc/827-833.pdf>>. Acesso em: 10 ago.2010.

CPRM. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo, folha SF.23 Rio de Janeiro**. Brasília: Companhia de Recursos Minerais – CPR, 2004. 1 carta geológica. Escala: 1:1.000.000.

CPRM. **Projeto Rio de Janeiro**. Relatórios Técnicos. Brasília, CPRM - Serviço Geológico do Brasil Departamento de Recursos Minerais – DRM – RJ, 2000.

DNPM. Departamento nacional de produção mineral. **Sigmine**. Disponível em: <<http://sigmine.dnpm.gov.br>>. Acesso em: 04 mar.2010.

ESRI – ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE. **ARC/VIEW v.9.3.1** Redlands, 2009. Programa de computador. 1 DVD-ROM.

ERDAS. **ERDAS Field Guide™**: fifth edition, revised and expanded. ERDAS Inc. Georgia: 1999.

FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 4.ed., Cap. 3, p. 123-194, 2003.

FERREIRA, M.V. **Análise das pressões do uso e ocupação da terra sobre o trecho da faixa de dutos Rio – Belo Horizonte**. 2009.18 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

FIESP. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Impactos sociais e econômicos da regulamentação CONAMA sobre intervenção em APP sobre o setor de agregados e**

argilas. São Paulo: RELTEC/MULTIGEO. 2006. Disponível em:
<www.fiesp.com.br/download/mineracao.pdf>. Acesso em: 18 ago.2010.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

GEOEYE. **Imagery sources.** Disponível em:
<<http://www.geoeye.com/CorpSite/products/imagery-sources/Default.aspx>>. Acesso em: 28 jun.2010.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação.** 2.ed. São Paulo. Edgard Blücher; Ed. da Universidade de São Paulo, 1984. 194p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha municipal digital**, Escala 1:500.000. IBGE, 2007. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#TOPO>. Acesso em: 04 mar.2010.

ITT – Visual information solution. **Envi 4.7.** Boulder, USA. 2008.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective.** 2^a ed. Nova Jersey: Prentice Hall, 1996. 318 p.

KALPOMA, K.A.; KUDOH, J. Image Fusion Processing for IKONOS 1-m Color Imagery. **IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing**, Michigan, v.45, n.10, p.3075-3086, 2007.

LOPES, E. S. S. **Modelagem Espacial Dinâmica Aplicada ao Estudo de Movimentos e Massa em uma Região da Serra do Mar Paulista, na Escala 1:10.000.** 2006. 276f. (Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro

LU, D. S; MAUSEL, P.; BRONDÍZIO, E.; MORAN, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 25, n. 12, p. 2365-2401, 2004.

LUZ, J.; ROSOT, M. A. D.; ROSOT, N. C. OLIVEIRA, Y. M. M.; GARRASTAZÚ, M. C. Técnicas de fusão aplicadas a imagens do satélite ALOS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 6959-6965.

MARCELINO, E.V. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG**. 2003. 177p.

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. Santa Maria: CRS/INPE, 2008.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: An introduction**. Chichester: John Wiley & Sons, 1987, 292 p.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 3^a Ed. Viçosa: Ed.UFV, 2005. 320 p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 3^a ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2008.363 p.

PINHO, C. M. D. de; RENNÓ, C. D.; KUX, H. J. H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, n.12, 2005, Goiânia.

Anais ... Goiânia: INPE, 2005. p. 4225-4232. Disponível em:

<http://www.dsr.inpe.br/geu/Congressos_Simposios%20Nacionais/Carolina_XII%20SBSR_Fusao.pdf> . Acesso em: 04 jun. 2010.

PORTO, C. G. **Intemperismo em Regiões Tropicais**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. Cap. 3, p.123-194

SANTORO, J. **Erosão Continental**. In TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do (orgs.) Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196p.

PROIN/CAPES; UNESP/IGCE. **Material Didático: arquivos de transparências** (CD). Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada, 1999.

RIEDEL, P.S.; MARQUES, M.L.; GOMES, A.R.; FERREIRA, M.V.; DELANEZE, M.E.; PISANI,R.J.; ROSSI, E.; COSTA, N.R.; POLIZEL,S.P.;**Relatório parcial 2: 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**. Rio Claro: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – Júlio de Mesquita Filho, 2010. 132 p.

SANTORO, J. **Erosão Continental**. In TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (org.). Desastres Naturais: Conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196p.

SCHOTT, J.R. **Remote sensing**: the image chain approach. Nova Iorque: Oxford University Press. 1997, 394 p.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.M.; TAIOLI, F.; **Decifrando a Terra**. 2^a Ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. 623 p.

TERZIAN, R. L. **Conceitos e metodologias de gestão de projeto e sua aplicação ao caso da integridade da malha dutoviária**. 2005. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0311068_05_cap_05.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2010.

TRANSPETRO. **Relatório Ambiental do Duto Orbel I**. Rio de Janeiro: Terra Byte, 2006.

VRABEL, J. Multispectral imagery advanced band sharpening study. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Michigan, v.66, n.1, p.73-79, 2000.

WALD, L. Some terms of reference in data fusion. **IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing**, Michigan, v.37, n. 3, p.1190-1193, 1999.

WEILL, M. de A.; PIRES NETO, A. G. **Erosão e Assoreamento**. In SANTOS, R. F. dos (org.). Vulnerabilidade Ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: MMA, 2007. 192p.