UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA EDUCAÇÃO - FAED
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM PLANEJAMENTO TERRITORIAL E DESENVOLVIMENTO SOCIOAMBIENTAL -MPPT

SINARA FERNANDES PARREIRA

UTILIZAÇÃO DAS IMAGENS IKONOS PARA A DERIVAÇÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS COMO APOIO À GESTÃO DE RISCO A MOVIMENTO DE MASSA

FLORIANÓPOLIS
2011

SINARA FERNANDES PARREIRA

UTILIZAÇÃO DAS IMAGENS IKONOS PARA A DERIVAÇÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS COMO APOIO À GESTÃO DE RISCO A MOVIMENTO DE MASSA

Dissertação de mestrado apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental, como requisito para obtenção do título de mestre, sob orientação da Professora Doutora Mariane Alves Dal Santo.

FLORIANÓPOLIS

2011

Ficha elaborada pela Biblioteca Central da UDESC

P258u Parreira, Sinara Fernandes
Utilização das imagens ikonos para a derivação de produtos cartográficos como apoio à gestão de risco a movimento de massa / Sinara Fernandes Parreira, 2011.
127 p. : il. ; 30 cm

Bibliografia: p. 113-120
Orientadora: Dra. Mariane Alves Dal Santo
Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Humanas e da Educação, Mestrado Profissional em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental, Florianópolis, 2011.

1. Cartografia. I. Santo, Mariane Alves Dal. II. Universidade do Estado de Santa Catarina. Mestrado Profissional em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental. – III Título.

CDD: 526.09

Dedico esse trabalho a Deus, ao meu noivo Rafael, aos meus pais (Sinésio e Mara) e as minhas irmãs (Marine, Silmara e Marília) pelo apoio incondicional nas várias etapas da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Nesse pequeno espaço da dissertação gostaria de expressar a minha eterna gratidão a todas as pessoas que de uma forma ou de outra apoiaram esse trabalho.

Neste contexto, gostaria de agradecer a participação de todas as pessoas que foram importantes para a concretização desta pesquisa, que deram fé à ideia para que esta obra se concretizasse.

Agradeço aos amigos que adquiri no desenrolar deste trabalho e à família do meu noivo, que me apoiou durante todo curso, aos professores do MPPT e aos colegas da turma de 2009, que sugeriram ideias e sempre acreditaram no meu potencial. Em especial gostaria de citar algumas pessoas e instituições que contribuíram diretamente para realização desse trabalho.

- Agradeço a minha orientadora Professora Mariane Alves Dal Santo, pela paciência e disposição em sempre me orientar. E principalmente pela amizade que se firmou entre nós.

- Ao professor Francisco Henrique de Oliveira por sua dedicação ao Geolab e por sempre cobrar o melhor de cada bolsista do laboratório.

- Às Professoras Maria Paula Casagrande Marimon e Edna Lindaura Luiz ,que me auxiliaram em todos os momentos em que as precisei recorrer para entender um pouco mais de geologia, geomorfologia e as dinâmicas dos deslizamentos.

- Aos técnicos da Visão Geo Guilherme Wosny e Antônio Carlos Barbosa, que prestaram suporte técnico a respeito da imagem e da restituição da mesma.

- À professora Neusa e ao Paco da UERJ por contribuírem com os seus conhecimentos nas saídas de campo.

- Ao Rafael da empresa Santiago & Cintra por dar todo apoio técnico nas várias vezes que precisei ligar para resolver problemas técnicos com relação ao software ERDAS.

- Ao Flávio Boscatto, pois sua ajuda foi fundamental para o sucesso da pesquisa. Muito obrigada por todo apoio na etapa de preparação do campo e principalmente na análise estatística dos produtos gerados.

- Agradeço ao Pedro Henrique Machado Porath e ao Thales Vargas Furtados, bolsistas de graduação desse projeto de pesquisa. A vocês o meu muito obrigada por estarem sempre dispostos a me ajudar em todas as etapas do trabalho, principalmente na coleta e processamento dos pontos.

- Ao Bruno Bortoli, por sempre me ajudar todas as vezes que a placa de vídeo 3D Vision NVIDIA parou de funcionar.

- Ao Diogo Graf, Secretário de Administração da prefeitura de Luis Alves, que sempre nos recebeu todas as vezes que foi necessário, conversando e nos inteirando sobre os danos sofridos por Luis Alves com os desastres ocorridos em novembro de 2008, e também por fornecer materiais como fotos e relatórios sobre o ocorrido.

- Agradeço ao meu companheiro Rafael Eduardo Schneider Ristow por participar diretamente dessa dissertação, ajudando na correção ortográfica e na formatação. Essa ajuda foi essencial, pois a reta final do trabalho é uma das fases mais estressantes.

- À Heloísa Lalane e a Marina Cromberg, grandes amigas que eu conquistei durante o curso.

- Agradeço também a todos os amigos do Geolab pelo ótimo ambiente de trabalho durante esses 2 anos e 3 meses.

- À UDESC, por fornecer ensino gratuito e de qualidade.

- E por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer à instituição FAPESC, que fomentou toda a pesquisa, financiando a bolsa de mestrado, a compra da imagem e da licença do software e as saídas de campo. Sem esse recurso essa pesquisa não seria possível, então sou profundamente grata a essa fundação que acredita que a pesquisa é o caminho para o planejamento e minimização dos impactos causados pelos desastres naturais.

"Um mapa não é apenas uma obra de arte, é um instrumento de descoberta e de comunicação a serviço de um saber ou de uma ação"

Fernand Joly

RESUMO

Muitas cidades e comunidades rurais estão assentadas em sítios naturais sujeitos a fenômenos da dinâmica natural que representam risco para a população, como: inundações, deslizamentos, ventos fortes, terremotos, entre outros. A deflagração desses fenômenos perigosos com alta magnitude e/ou frequência pode provocar desde acidentes até catástrofes com muitas perdas e danos, inclusive com perdas de vidas humanas. O desenvolvimento de muitas regiões e países pode ser prejudicado pela ocorrência dessas catástrofes, pois recursos econômicos são perdidos no momento da ocorrência do evento e também gastos na reconstrução, o que leva a um círculo vicioso, uma vez que o recurso econômico é gasto em emergências e reconstrução e não em prevenção. A melhor forma de minimizar os impactos causados pelos desastres naturais é criar métodos de prevenção. Nesse sentido, essa pesquisa divulga a cartografia como instrumento fundamental para o planejamento, gestão e monitoramento das áreas consideradas de risco. Para estudo de caso foi escolhida a sub-bacia do Ribeirão Sorocaba localizada no município de Luís Alves, em Santa Catarina, região esta que foi muito afetada pelas chuvas de novembro de 2008. A metodologia da pesquisa se resume na extração automática do Modelo Digital de Elevação (MDE) por meio do par estereoscópico da imagem IKONOS e dos seus arquivos de Metadados. Com o MDE foi possível ortorretificar a imagem e avaliar a qualidade cartográfica dos dois produtos gerados segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). A avaliação mostrou que o objetivo de alcançar uma escala melhor que 1:50.000 foi alcançado. Os produtos podem chegar a escala de 1:10.000 na planimetria e 1:25.000 na altimetria, ambos na classe A do PEC.

Palavras Chave: Risco, Par estereoscópico, Modelo digital de Elevação, Padrão de Exatidão Cartográfica, Ortorretificação

ABSTRACT

Many cities and rural communities are settled in areas with natural dynamics that represent danger to people, such as floods, landslides, high winds, earthquakes, among others. These dangerous phenomena with high magnitude and / or frequency can lead to accidents and even disasters with many losses and damages, including loss of life. The development of many regions and countries could be affected by the occurrence of such disasters, as economic resources are lost when the event occurs, and also spent on reconstruction, which leads to a vicious circle, since the economic resource is spent on emergencies and reconstruction and not on prevention. The best way to minimize the negative impacts of natural disasters is to create methods of prevention. Mapping is an essential tool for planning, management and monitoring areas considered at risk. For case study, it was chosen the sub-basin of the river Ribeirão Sorocaba located in Luis Alves, Santa Catarina, a region that was highly affected by the rains in November 2008. The methodological approach of the research was to automatically extract the Digital Elevation Model (DEM) through IKONOS stereo pair image ans its metadata files. With DEM it was possible to orthorectify the image and evaluate the cartographic quality of both generated products accordingly to the Cartographic Exactness Standard (PEC, in Portuguese). Evaluation showed that the objective of obtaining a scale better than 1:50.000 was achieved. The products can obtain the scale of 1:10.000 in planimetry and 1:25.000 in altimetry, both in class A of PEC.

Keywords: Risk, Stereoscopic Par, Digital elevation model, Digital photogrammetry, Orthorectification

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relação da amplitude com o comprimento de onda.....31
Figura 2: Representação do espectro eletromagnético 32
Figura 3: Partes componentes de um sistema sensor 33
Figura 4: Classificação dos Sistemas Sensores.....33
Figura 5: Funcionamento do sensor passivo e um sensor ativo.....34
Figura 6: Curvas espectrais da vegetação, do solo e da água em função do comprimento de onda da radiação refletida.....35
Figura 7: Esquema representando o IFOV.....36
Figura 8: Método de extração das imagens estéreo.....42
Figura 9: Geração de Rational Polynomial Coefficients (RPC).....43
Figura 10: Método de obtenção das estereoimagens.....44
Figura 11: Óculos para visão estéreo em anáglifo.....48
Figura 12: Ilustração do método de visualização estéreo por meio dos óculos obturadores sincronizados.....49
Figura 13: Esquema do processo de ortorretificação.....50
Figura 14: Tipos de curvatura da vertente e sua intensidade de infiltração e escoamento superficial.....52
Figura 15: Forma geométrica das vertentes.....53
Figura 16: Representação das sub-bacias hidrográficas do Município de Luís Alves 61
Figura 17: Mapa de localização da imagem IKONOS no município de Luís Alves, SC 62
Figura 18: Representação das Unidades Geológicas do Município de Luís Alves. . .67
Figura 19: Erosão na margem do Rio Luis Alves.....71
Figura 20: Erosão das margens do rio Luís Alves pelo fluxo torrencial ocorrido em novembro de 2008.....71
Figura 21: Ponte sobre o Rio Luís Alves destruída pelo fluxo torrencial.....72
Figura 22: Rodovia SC – 413 atingida por uma ruptura causada por instabilidade da encosta.....72
Figura 23: Casa danificada por causa de deslizamento das margens do rio.....73
Figura 24: Deslizamento de Encosta.....73
Figura 25: Deslizamento e assoreamento da estrada.....73
Figura 26: Deslizamento na encosta atingindo a residência do Sr. Antônio Pires.….73

Figura 27: Engenho Destruído por deposição de material deslizado da encosta.....74
Figura 28: Arrozal destruído por assoreamento.....74
Figura 29: Galpão destruído por deslizamento 74
Figura 30: Mapa de localização da Imagem IKONOS.....76
Figura 31 : Fluxograma das etapas da pesquisa.....77
Figura 32: Escolha do modelo matemático a ser utilizado.....79
Figura 33: Dados do Racional Polinomial Coefficient (RPC).....81
Figura 34: Inclusão do arquivo RPC no bloco do LPS.....82
Figura 35: Base montada no Hotel Colinas em Luís Alves, SC.....83
Figura 36: Mapa de distância dos pontos GCP's em relação a base.....84
Figura 37: Folha de descrição para ponto coletado em campo.....85
Figura 38: Janela do LPS no momento de adição dos GCPs.....87
Figura 39: Janela do refinamento por função racional.....88
Figura 40: Resultado do RMSE dos GCPs.....89
Figura 41: Janela representando o momento de extração do MDE.....89
Figura 42: Propriedades do MDE.....90
Figura 43: Distribuição da cobertura e número de passagens da SRTM.....91
Figura 44: Ilustração do SRTM da bacia do Rio Itajaí - Açu.....92
Figura 45: MDE – SRTM da área coberta pela imagem IKONOS.....92
Figura 46: Ilustração do MDE e curvas de nível geradas.....93
Figura 47: Mapa com a identificação dos pontos que foram coletados no 2°levantamento de campo.....95
Figura 48: Gráfico de demonstração da dispersão dos valores de H.....101
Figura 49: Processo de união de bandas.....105
Figura 50: Imagem colorida e ortorretificada.....106
Figura 51: Vetorização das cicatrizes de deslizamentos.....107
Figura 52: Ilustração da tela do ArcGis no momento de geração do mapa de declividade.....108
Figura 53: Ilustração do terreno em 3D.....109
Figura 54: Ilustração das cicatrizes na sub-bacia do Ribeirão Sorocaba.....109
Figura 55: Ilustração do cruzamento da declividade com as cicatrizes.....110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Coordenadas dos pontos do 1º campo.....87
Tabela 2: Coordenadas dos pontos do 2° campo.....99
Tabela 3: Tabela com os parâmetros do PEC.....100
Tabela 4: Coordenadas E e N e Cálculos da média e do Desvio-Padrão.....102
Tabela 5: Coordenadas H e Cálculos da média e do Desvio-Padrão.....103
Tabela 6: Escalas com suas respectivas equidistâncias das curvas de nível, valores do PEC E EP - ALTIMETRIA.....103
Tabela 7: Resultado do cálculo do Qui-quadrado.....106

LISTA DE SIGLAS

ATE - Automatic Terrain Extraction

EP – Erro Padrão

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural

FAPESC – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina

GCP - Ground Control Points

Geolab – Laboratório de Geoprocessamento e Cartografia

GNSS – Global Navigation Satellite Systems

GPS – Global Position System

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFOV - Instantaneous Field of View

IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológicas

LGO - Leica Geo Office Combined

LPS - Leica Photogrammetry Suite

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDT – Modelo Digital de Terreno

MNT – Modelo Numérico de Terreno

MPPT – Mestrado Profissional em Planejamento Territorial

NASA - National Aeronautics and Space Administration

PDI – Processamento Digital de Imagens

PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica

RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS

REM - Radiação Eletromagnética

RFM - Rational Function Model

RGB – Red Green Blue

RMSE - Erro Médio Quadrático

RPC - Rational Polynomial Coefficients

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

TIN – Triangulated Irregular Network

UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina

UERJ – Universidade Estadual do Rio de Janeiro

UFPR – Universidade Federal do Paraná

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UNDRO - Agência de Coordenação das Nações Unidas para o Socorro em Desastres

UTM – Universal Transverse Mercator

WGS – World Geodetic System

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fatores de suscetibilidade a escorregamentos.....23
Quadro 2: Fatores de vulnerabilidade a escorregamento.....23
Quadro 3 – Informações técnicas do satélite IKONOS II.....39
Quadro 4: Especificações dos produtos IKONOS.....43
Quadro 5: Características das imagens IKONOS utilizadas.....78

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....19

2 JUSTIFICATIVA.....24

3 OBJETIVO.....25

3.1 OBJETIVO GERAL.....25

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....25

4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....26

5 SENSORIAMENTO REMOTO.....27

5.1 UM BREVE HISTÓRICO SOBRE O SURGIMENTO DO SENSORIAMENTO REMOTO.....27

5.2 MÉTODO DE FUNCIONAMENTO DOS SENSORES.....29

5.3 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS ALVOS.....34

5.4 RESOLUÇÕES DE UM SISTEMA SENSOR.....34

5.5 IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO.....36

5.5.1 LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite).....36
5.5.2 SPOT (Système pour l' Observation de la Terre).....37
5.5.3 QuickBird.....37
5.5.4 CBERS (China – Brazil Earth Resources Satellite).....38
5.5.5 IKONOS.....39

6 FOTOGRAMETRIA DIGITAL.....45

6.1 ESTEREOSCOPIA.....46

6.2 AEROTRIANGULAÇÃO.....48

6.3 RESTITUIÇÃO.....48

6.4 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE).....49

6.5 ORTORRETIFICAÇÃO.....49

7 MOVIMENTOS DE MASSAS.....51

7.1 TIPOS DE MOVIMENTO DE MASSA.....52

7.1.1 Rastejo (Creep).....53
7.1.2 Escorregamentos ou deslizamentos (Landslides).....53
7.2 FORMA DO PLANO DE RUPTURA 54

7.2.1 Escorregamentos Rotacionais.....54
7.2.2 Escorregamentos Translacionais.....54
7.2.3 Quedas (Falls).....55
7.2.4 Corridas de massa (Flows).....55
7.3 CONDICIONANTES E CAUSAS DOS MOVIMENTOS DE MASSA.....56

7.4 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO.....57

8 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....60

8.1 ASPECTOS FÍSICOS.....62

8.1.1 Características Climáticas.....62
8.1.2 Hidrografia.....62
8.1.3 Geologia.....64
8.1.4 Geomorfologia.....66
8.1.5 Solos.....67
8.1.6 Vegetação.....67

8.2 REGISTROS DE DESASTRES AMBIENTAIS NO MUNICÍPIO DE LUIS ALVES.....68

9 METODOLOGIA.....74

9.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....74

9.2 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....75

9.2.1 Aquisição da Imagem IKONOS.....77
9.2.2 Processamento dos dados no Software ERDAS/ LPS.....77
9.2.3 Levantamento dos GCPs – Pontos de controle de campo.....81
9.2.4 Triangulação.....86
9.2.5 Extração do Modelo Digital de Elevação (MDE).....88
9.2.6 Aplicação do SRTM.....89
9.2.7 Ortorretificação da Imagem.....92

9.3 AVALIAÇÃO DA PRECISÃO E ACURÁCIA DA IMAGEM ORTORRETIFICADA 93

9.3.1 Levantamento de campo para coleta de pontos para avaliação da imagem ortorretificada.....93
9.3.2 Aplicação da Análise Estatística.....95
9.3.3 Teste de Precisão.....100
9.3.4 Teste de tendência.....102

9.4 GERAÇÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS.....103

9.4.1 União das bandas (composição colorida da imagem).....103
9.4.2 Vetorização das ocorrências de deslizamentos.....105

9.5 RESTITUIÇÃO DA IMAGEM.....106

9.6 MAPA DE DECLIVIDADES (APÊNDICE B).....106

9.7 MAPA HIPSOMÉTRICO (APÊNDICE C).....107

9.8 VISUALIZAÇÃO DO MDE EM 3D.....107

10 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS.....110

10.1 QUANTO AO TEMA PROPOSTO.....110

10.2 QUANTO A METODOLOGIA DE GERAÇÃO DO MDE E DA IMAGEM ORTORRETIFICADA.....110

10.3 QUANTO A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE CARTOGRÁFICA DO MDE E DA IMAGEM ORTORRETIFICADA.....111
10.4 QUANTO A GERAÇÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS.....112

11 REFERÊNCIAS.....113

APÊNDICE A – MAPA DE OCORRÊNCIA DOS DESLIZAMENTOS.....121

APÊNDICE B – MAPA DE DECLIVIDADE.....122

APÊNDICE C – MAPA HIPSOMÉTRICO.....123

ANEXO A – TABELA QUI-QUADRADO.....124

ANEXO B – TABELA T STUDENT.....126

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o número de registros de desastres naturais em várias partes do mundo vem aumentando consideravelmente. Dentre os principais fatores que contribuem para desencadear estes desastres, destacam-se nas áreas urbanas a impermeabilização do solo, o adensamento das construções em áreas de alto declive e planícies de inundação e a má destinação do lixo. Enquanto que nas áreas rurais, os fatores contribuintes para causa do evento são: a compactação dos solos, o assoreamento dos rios, os desmatamentos, as queimadas, o mau uso da aptidão agrícola do solo e também, como na área urbana, a construção de residências em áreas consideradas de risco. Estes desastres que tanto influenciam as atividades humanas vêm historicamente se intensificando devido a falta de planejamento e de gestão das áreas consideradas vulneráveis a risco de desastres naturais.

O registro com maior frequência de fenômenos perigosos reafirma a necessidade de criar meios de prevenir e minimizar os impactos advindos dos chamados desastres naturais. Desta forma, torna-se necessário desenvolver e aperfeiçoar modelos de prevenção e monitoramento desses desastres. Para isso, a UNDRO (Agência de Coordenação das Nações Unidas para o Socorro em Desastres) estabeleceu um modelo de programa para mitigação de desastres. As ações de prevenção e preparação desse programa são feitas na seguinte sequência: 1) identificação dos riscos, 2) análise do risco, 3) definição das medidas de prevenção, 4) planejamento para situações de emergência, 4) divulgação das informações públicas, treinamento da defesa civil e da população atingida. Nesse sentido é que ferramentas do geoprocessamento, como fotografias aéreas, imagens de satélite, dado de GPS e softwares de SIG e PDI, têm se configurado fundamentais para o cumprimento dessas ações propostas pela UNDRO. Este trabalho destaca o uso das imagens orbitais, pois elas apresentam de maneira rápida informações objetivas, confiáveis e atuais das áreas atingidas. Antes de adentrar ao assunto principal da pesquisa é importante conceituar alguns termos muito utilizados quando se trata de desastres naturais.

Evento, acidente, desastre, perigo, suscetibilidade, vulnerabilidade, risco e o popular *hazard* são termos muito utilizados, mas ainda com conceitos discutidos por

pesquisadores do tema. Nogueira (2002), ao comentar sobre essa discussão, afirma que a divergência na construção de um campo conceitual é essencial para a configuração de um campo multidisciplinar do conhecimento técnico-científico. Embora reconhecendo a importância da revisão conceitual, procurou-se neste trabalho não se estender nesse item, priorizando a explanação dos conceitos adotados para o desenvolvimento desta pesquisa. Assim sendo, optou-se pela definição dos termos utilizados pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT) e pela defesa civil nacional.

O Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT) entende a palavra **evento** como um fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada. A expressão **perigo** tem o mesmo significado da palavra estrangeira ***hazard***, que representa a condição ou fenômeno com potencial para causar uma consequência desagradável (BRASIL, 2007). Já **vulnerabilidade** significa o grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno perigoso. Saito (2004) complementa que vulnerabilidade é um fator de risco interno, que matematicamente está expresso como a concretização de que o sujeito ou sistema exposto seja afetado pelo fenômeno que caracteriza a ameaça. E **suscetibilidade** indica a potencialidade de ocorrência de eventos perigosos, expressando-se por meio de classes de probabilidade de ocorrência (BRASIL, 2007). O conceito de suscetibilidade a escorregamento é entendido como uma característica do meio, que representa o nível de fragilidade do ambiente em relação aos escorregamentos e quedas de blocos (SAITO, 2004). Os quadros 1 e 2 demonstram os fatores suscetíveis e vulneráveis a escorregamento.

Fatores de suscetibilidade	Geológicos	Litologia, textura, pré Adensamento
	Morfológicos	Altura, forma, extensão, declividade e sinuosidade da encosta
	Climáticos	Chuva concentrada, umidade, temperatura
	Hidrológicos	Densidade da rede de drenagem, concentração das linhas d'água e altura do nível freático
	Antrópicos	Densidade populacional, frequência de cortes e aterros, taxa de solo exposto, foco de lançamento de águas servidas, número de fossas nas encostas, focos de lançamento de lixo

Fonte: Saito (2004)

Quadro 1: Fatores de suscetibilidade a escorregamentos

Fatores de vulnerabilidade	Densidade Populacional
	Equipamentos públicos
	Redes de infraestrutura existentes (Ex: viária, água, esgoto, luz, telefone, gás)
	Tipologia das edificações

Fonte: Saito (2004)

Quadro 2: Fatores de vulnerabilidade a escorregamento

A palavra **risco**, tão usada quando se trata de desastres naturais, pode ser entendia como a possibilidade de ocorrência de um fenômeno perigoso com elevada magnitude de danos e consequências sociais e econômicas. O risco é sempre proporcional à vulnerabilidade, ou seja, quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco.

Segundo Castro (1998) apud Kobiyama (2006), desastre é definido como resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais. Os desastres são normalmente súbitos e inesperados, de uma gravidade e magnitude capaz de produzir danos e prejuízos diversos, resultando em mortos e feridos.

A origem dos desastres pode ser classificada em três tipos: os naturais, que são aqueles provocados por fenômenos naturais extremos, que independem da ação humana; os humanos, que são aqueles causados pela ação ou omissão humana, como os acidentes de trânsito e a contaminação de rios por produtos

químicos; e os desastres mistos são os associados às ações ou omissões humanas, que contribuem para intensificar, complicar ou agravar os desastres naturais.

É muito difícil ocorrer um desastre puramente natural, como definido por Castro (1998). Quase todos os desastres recebem de alguma maneira, uma influência antrópica. Assim, se olharmos por este prisma, a maioria dos desastres são mistos. Entretanto, no presente trabalho foi adotado o termo desastre natural para os eventos perigosos que possuem como gênese os fenômenos naturais extremos agravados ou não pelas atividades humanas.

Os desastres de origem natural podem estar relacionados com a dinâmica interna ou externa da Terra, ou seja, eventos ou fenômenos internos causados pela movimentação das placas tectônicas, que têm reflexo na superfície do planeta (terremotos, maremotos, tsunamis e atividade vulcânica); ou de origem externa gerada pela dinâmica atmosférica (tempestades, tornados, secas, inundações ressacas, vendavais, etc).

Cruz (1998) afirma que mudanças climáticas influenciam o movimento, em altitude e latitude, dos cinturões de vegetação; mudanças na intensidade e frequência das tempestades tropicais; transformações no escoamento superficial e condições de umidade do solo; degelo de áreas geladas e na elevação do nível do mar associada a inundações e erosões. Ainda Cruz (1998), também chama a atenção para as grandes incertezas que existem a respeito dessas mudanças e para a necessidade de melhores esclarecimentos sobre os mecanismos de resposta das formas de relevo. O aumento de ocorrência dos desastres naturais nas últimas décadas tem provocado as iniciativas científicas a procurar as prováveis causas e as possíveis estratégias mitigadoras para esta problemática. O Sistema de Informação Geográfica (SIG) insere-se como mecanismo de auxílio no desenvolvimento dessas pesquisas científicas.

Os SIG's constituem uma ferramenta útil na geração e armazenamento de dados distribuídos espacialmente, como precipitação, erosão e escoamento superficial. As técnicas de extração de informações numa base de dados armazenada num SIG podem ser subdivididas em técnicas de manipulação e de análise de dados. As funções de manipulação de dados referem-se às técnicas que envolvem o manuseio de objetos para um propósito particular e as funções de

análise dados referem-se às técnicas que envolvem os princípios gerais de sobreposição e cruzamento de dados. (ROSA e BRITO, 1996).

Sendo assim, um dos exemplos de aplicação do SIG é a geração de cartas de risco e mapas de suscetibilidade. Os dados das características físicas da área como tipo de solo, cobertura vegetal e declividade são armazenadas no SIG como planos de informação, e os dados de precipitação, escoamento e infiltração são as entradas do modelo para calcular os riscos de erosão e deslizamento de material. As informações de saída do modelo são então utilizadas para avaliar as situações das áreas consideradas de risco, permitindo assim a tomada de medidas preventivas quando for necessário (ROSA e BRITO, 1996).

A área escolhida para estudo foi a sub-bacia do Ribeirão Sorocaba localizada no município de Luís Alves, Santa Catarina. O motivo da escolha de uma bacia hidrográfica como delimitação da área de estudo se deve à importância de entender todo o processo do ciclo hidrológico e a relação direta que esse ciclo tem com os eventos naturais considerados de risco.

2 JUSTIFICATIVA

A escolha em trabalhar com imagens de satélite se deve ao interesse de querer entender e difundir o uso desse produto tecnológico que tem evoluído e alcançado grandes avanços ao longo do tempo. A grande vantagem das imagens de satélite sobre a fotografia aérea, além do menor custo, é o seu caráter multi-temporal, pois a dinâmica natural dos cenários suscetíveis a risco estão em constante movimento, logo torna-se indispensável o monitoramento regular dessas áreas. Outro fator que incentiva a pesquisa são os avanços do geoprocessamento. Atualmente, a ortorretificação de imagens digitais surge como uma forte tendência, principalmente no caso de imagens orbitais, tendo como principais vantagens a facilidade operacional, a popularização dos softwares de Processamento Digital de Imagens (PDI) e o menor tempo na execução dos projetos de mapeamento.

Vale ressaltar que o planejamento territorial vem se ajustando às modernas tecnologias, utilizando o avanço da informática para viabilizar interfaces como sensoriamento remoto, a cartografia digital e SIG (GUERRA E CUNHA, 1995).

3 OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal foi analisar a potencialidade estereoscópica do par de imagens IKONOS e por meio destas extrair o Modelo Digital de Elevação (MDE) e gerar uma imagem ortorretificada com uma escala melhor que 1:50.000 para aplicação no planejamento de áreas consideradas de risco.

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Os objetivos específicos dessa pesquisa são:

- ✔ Extração automática do MDE com par de imagens IKONOS a partir do método de coeficiente dos polinômios racionais (RPC);
- ✔ Restituição da imagem por meio da fotogrametria digital utilizando as ferramentas do LPS e Stereo Analyst disponíveis no software Erdas;
- ✔ Avaliação do MDE gerado segundo exigências do PEC;
- ✔ Avaliação da imagem ortorretificada também segundo exigências do PEC;
- ✔ Elaboração dos mapas de declividade e hipsométrico;
- ✔ Vetorização das ocorrências de deslizamentos de novembro de 2008 e a classificação das mesmas sobre a imagem ortorretificada;

4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A concepção geral deste trabalho é apresentada em 8 capítulos, nos quais foram abordados temas importantes ao desenvolvimento da pesquisa.

Primeiro apresenta-se a introdução, a justificativa e seus objetivos.

No primeiro capítulo faz-se a revisão bibliográfica que dará suporte ao leitor sobre os termos específicos/ científicos e uma noção geral do tema sensoriamento remoto. Assim abordam-se os temas que versam a temática, como tipos de sensores, comportamento espectral dos alvos e resoluções do sistema sensor.

O segundo capítulo trata de uma fundamentação teórica sobre o tema fotogrametria digital.

No terceiro capítulo foi descrito os termos e conceitos a respeito do tema deslizamento.

No quarto capítulo descreve-se e caracteriza-se a área de estudo envolvendo suas particularidades e razões para sua escolha.

Os materiais e métodos são abordados no quinto capítulo no qual se descreve passo a passo a metodologia aplicada para o desenvolvimento da pesquisa assim como todos os equipamentos e softwares envolvidos.

No sexto capítulo avalia-se a precisão e acurácia do Modelo Digital de Elevação (MDE) e da imagem ortorretificada e apresentam-se os resultados obtidos através do experimento.

O sétimo capítulo descreve a geração dos produtos cartográficos.

E por fim no oitavo capítulo, foi feita as considerações sobre todo trabalho.

5 SENSORIAMENTO REMOTO

5.1 UM BREVE HISTÓRICO SOBRE O SURGIMENTO DO SENSORIAMENTO REMOTO

O início do desenvolvimento da técnica de sensoriamento remoto se deu durante a Primeira Guerra Mundial, quando militares começaram a usar o avião para tirar fotografias da superfície terrestre. Pode-se dizer que nesse tempo surgiram as primeiras fotografias aéreas históricas. O intuito em tirar essas fotografias era conhecer melhor os aspectos geográficos do território inimigo. Por isso, entre a primeira e a segunda guerra mundial, as técnicas de fotografia aérea foram praticamente aplicadas para levantamento de recursos naturais, tais como formações geológicas, florestas e solos. O crescente uso de fotografias aéreas incentivou o aprimoramento das técnicas de sensoriamento remoto. Segundo Liu (2006), foi durante a segunda guerra mundial que as técnicas de fotografia aérea do infravermelho termal e radar de micro-onda ativa foram desenvolvidas, mas somente após o fim da guerra foi possível utilizar um sensor radiométrico capaz de detectar os sinais de radiação eletromagnética e computadores com capacidade de gravar e armazenar os dados adquiridos.

Ainda de acordo com Liu (2006), o desenvolvimento da técnica de sensoriamento remoto foi marcado por dois períodos. O primeiro caracterizou-se pelos avanços das técnicas de fotografias aéreas durante as duas guerras mundiais, como citado anteriormente, e o segundo momento foi durante a Guerra Fria, quando os russos lançaram o primeiro satélite em 4 de outubro de 1957.

A corrida espacial disputada entre a Rússia e os Estados Unidos foi determinante para o avanço do sensoriamento remoto, pois os programas espaciais dessa época contribuíram para a obtenção das primeiras imagens coloridas de várias partes do mundo tomadas direto da órbita. Essas imagens demonstraram o valor da imagem orbital para os estudos dos recursos naturais. Muitos viram esta área da tecnologia como uma ferramenta para aumentar o conhecimento sobre a Terra e, possivelmente, para solucionar muitos dos problemas enfrentados pelo

homem. Esta área da tecnologia passou então a ser conhecida como Sensoriamento Remoto (LINZT e SIMONETT, 1976).

Segundo Sausen (2008), o termo sensoriamento remoto começou a ser usado por um grupo de pesquisadores do Grupo de Geografia da Divisão de Pesquisas Navais dos Estados Unidos. A palavra sensoriamento refere-se à obtenção de dados, e o termo remoto se refere aos dados captados remotamente, à distância, sem que haja contato físico entre o sistema sensor e o objeto ou área sensoriada.

Moreira (2001) define sensoriamento remoto como um conjunto de atividades utilizadas para obter informações a respeito dos recursos naturais do planeta Terra por meio da utilização de dispositivos sensores colocados em aviões, satélites ou até mesmo na superfície terrestre.

Florenzano (2002) complementa que o sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície.

A NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), criada nos Estados Unidos no dia 1 de outubro de 1958, fez com que as tecnologias aeroespaciais e de satélites evoluíssem ainda mais. A primeira fotografia obtida via satélite deu-se pelo Explorer 6 da NASA, em 7 de agosto de 1959, mas os sensores de radiômetros falharam ao registrar os valores digitais. O primeiro sucesso no registro de dados meteorológicos foi com o lançamento do Explorer 7, no dia 13 de outubro de 1959, que produziu pela primeira vez mapas globais da radiação solar refletida e da radiação de infravermelho emitida (LIU,2006).

A primeira imagem que mostrou o globo terrestre e os sistemas de circulação atmosférica foi produzida pelo satélite TIROS 1. Em 1960, foram obtidas desse satélite as primeiras fotografias orbitais espaciais. Desde então, dez satélites da série TIROS foram lançados até 1965. O TIROS 9, lançado no dia 22 de janeiro de 1965, introduziu uma nova configuração chamada “carrinho de roda” (*Cartwheel*). O “carrinho de roda” permitiu a inclinação do eixo do satélite perpendicular ao plano orbital, e as máquinas dos sensores foram reorientadas para serem do lado de fora do satélite, possibilitando que os sensores apontassem para o globo terrestre toda

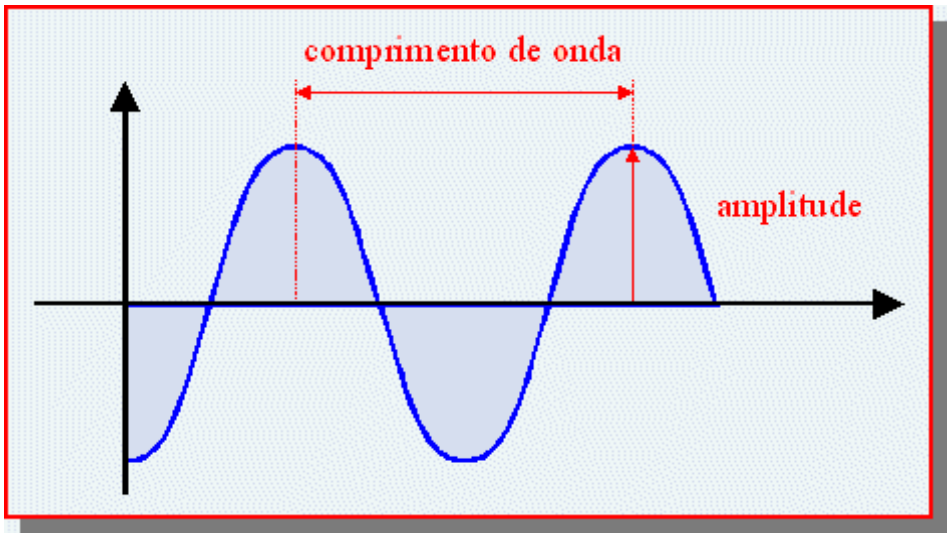
hora. Graças ao avanço da tecnologia, foi possível obter imagens mosaicadas do globo inteiro (LIU, 2006).

5.2 MÉTODO DE FUNCIONAMENTO DOS SENSORES

De acordo com Sausen (2008), a radiação eletromagnética (REM) é definida com sendo a forma de energia que se move no formato de ondas ou partículas eletromagnéticas a velocidade da luz (300.000 km/s) e que não necessita de um meio físico para se propagar. A radiação eletromagnética é a principal fonte de energia utilizada pela maioria dos sistemas sensores.

Para Moreira (2001), as ondas são perturbações periódicas ou oscilações de partículas do espaço, por meio das quais muitas formas de energia se propagam. Uma onda é caracterizada pela sua frequência, amplitude e comprimento. A radiação eletromagnética emitida, ao incidir sobre a superfície de outra matéria, pode ser refletida, absorvida ou transmitida. Quando absorvida, a energia é geralmente reemitida em outro comprimento de onda e traz informações sobre a temperatura do alvo sensoriado.

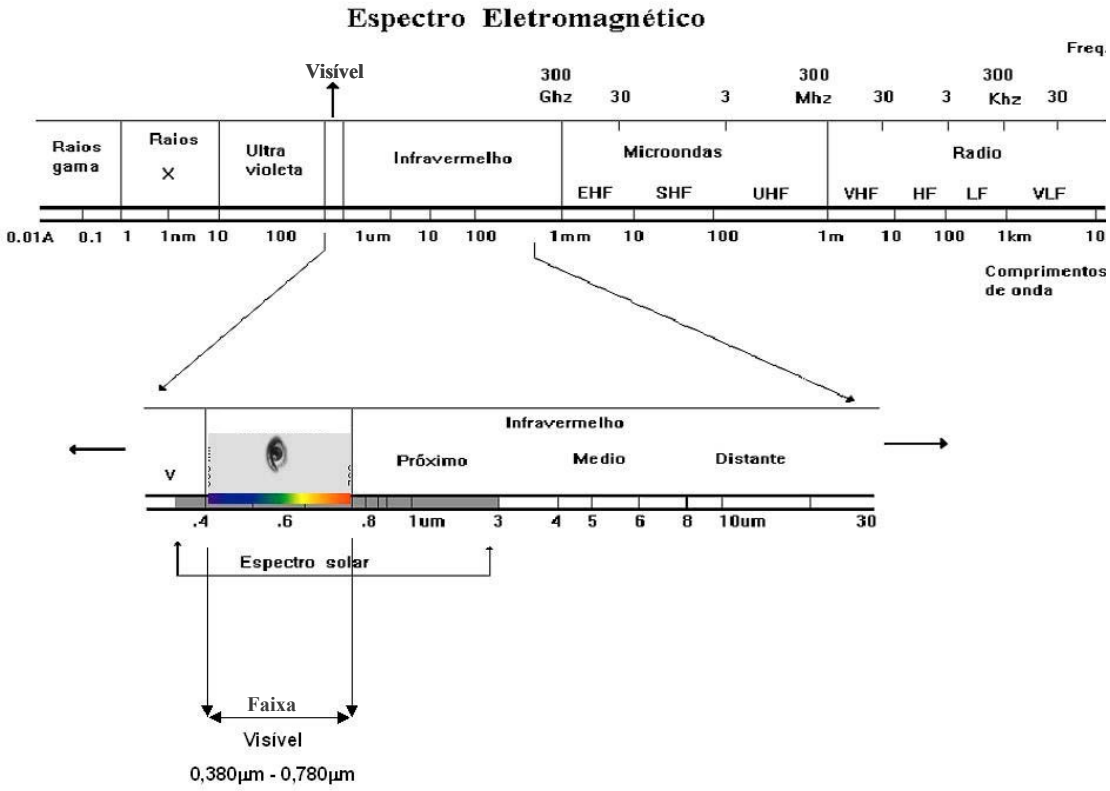
Segundo Quartaroli e Batistella (2005), frequência é o número de ondas que passa por um ponto do espaço num determinado tempo. Já o comprimento de onda se refere à distância entre uma crista de onda e a crista subsequente, e a amplitude é a altura da onda no eixo Y, conforme é mostrado na Figura 1. Vale ressaltar que o comprimento de onda e a frequência são inversamente proporcionais.



Fonte: Sausen (2008)

Figura 1: Relação da amplitude com o comprimento de onda..

São vários os tipos de radiações eletromagnéticas que variam apenas de acordo com a frequência e o comprimento da onda, sendo elas: radiação gama, raio X, ultravioleta, radiação visível, infravermelho, ondas de rádio, de televisão e as micro-ondas A Figura 2 ilustra os diferentes comprimentos de ondas do espectro eletromagnético.



Fonte: Adaptado de Quartaroli & Batistella,(2005)

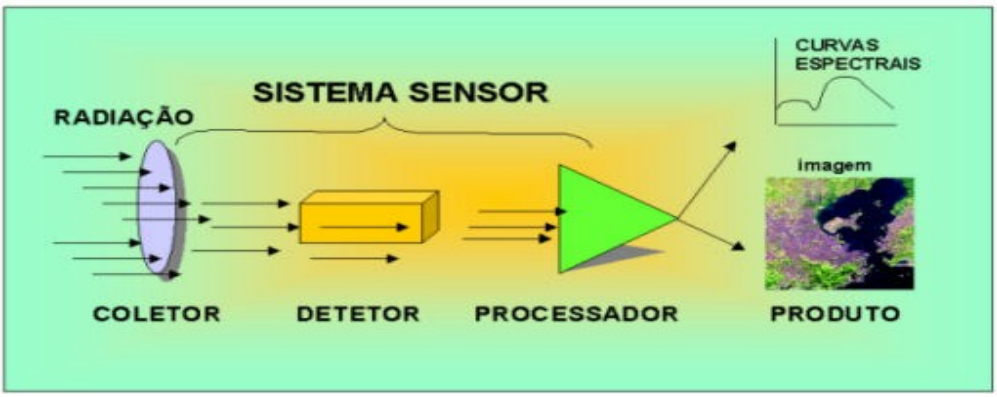
Figura 2: Representação do espectro eletromagnético

O olho humano é sensível apenas a uma pequena porção do espectro eletromagnético, denominada de região visível, a qual se estende de 0,38 µm (violeta) até 0,78 µm (vermelha). É nessa região que o olho humano consegue enxergar a energia eletromagnética, ou seja, a luz. Esta, por sua vez, pode ser dividida em faixas que representam as cores azul, verde e vermelho (MOREIRA, 2001).

Os sensores remotos utilizados para os estudos de recursos naturais, meio ambiente, prevenção e mitigação de desastres naturais são os que operam nas faixas do visível, nas diversas subfaixas do infravermelho próximo, médio e distante ou termal e nas micro-ondas

É importante explicar que o sistema sensor é basicamente constituído por um coletor, podendo ser um conjunto de lente, espelho ou antena, e um sistema de registro (detetor), que pode ser um filme ou um processador (MOREIRA, 2001). O

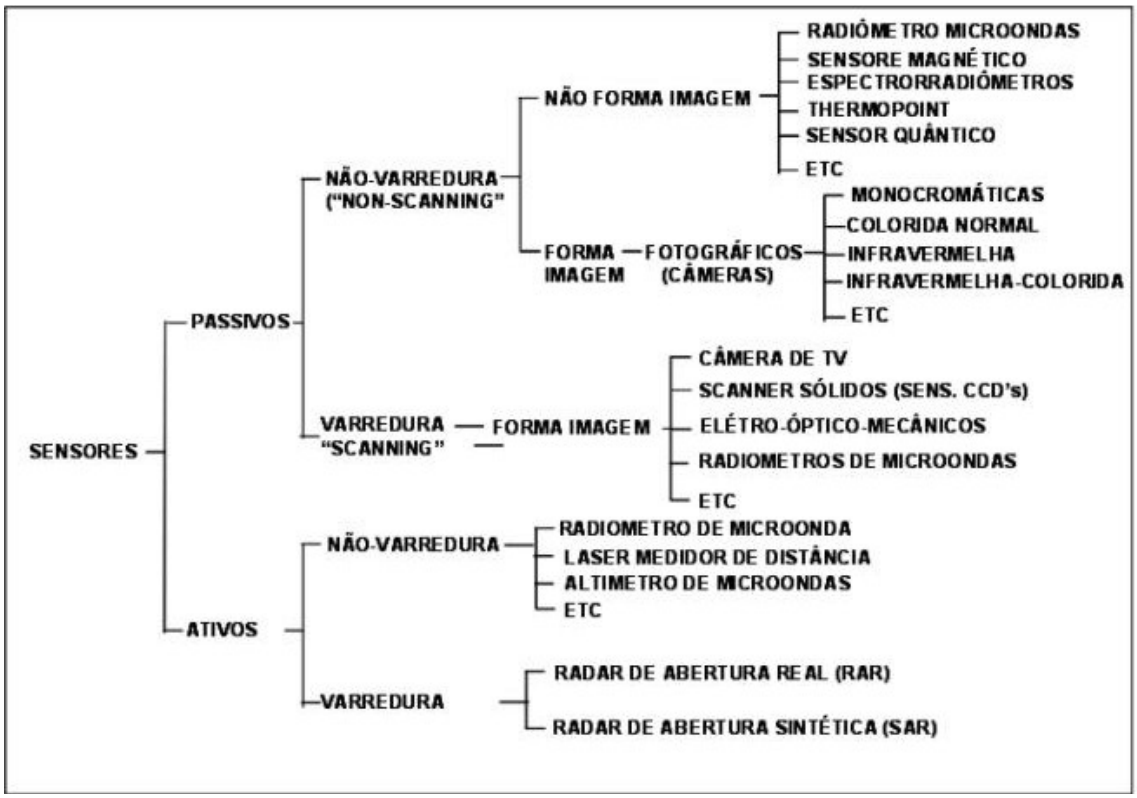
coletor capta a radiação que é posteriormente retida pelo detetor e processada gerando a imagem como ilustra a Figura 3.



Fonte: Moreira (2001)

Figura 3: Partes componentes de um sistema sensor .

Ainda de acordo com Moreira (2001), os sensores podem ser classificados quanto: à fonte de radiação, ao princípio de funcionamento e ao tipo de produto gerado. A Figura 4 esquematiza de maneira sucinta como os sensores podem ser classificados.

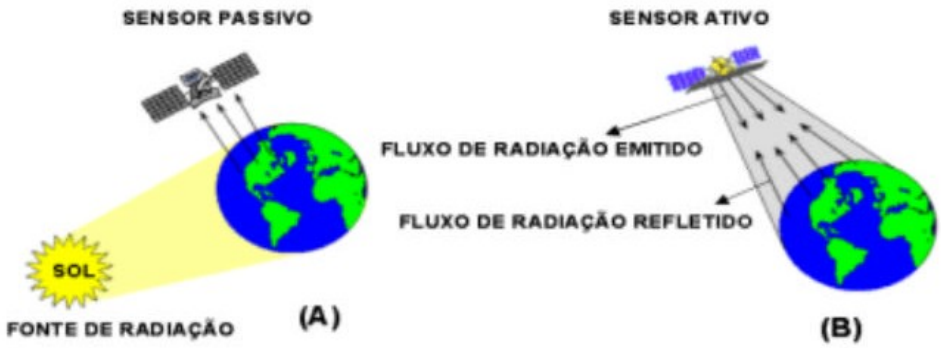


Fonte: Moreira (2001)

Figura 4: Classificação dos Sistemas Sensores

Segundo Sausen (2008), a principal fonte natural de radiação eletromagnética utilizada no sensoriamento remoto é o sol. Os sensores passivos utilizam essa radiação incidente do sol para captar informações da superfície terrestre e refletir para o sensor a bordo de um satélite. Estas informações são posteriormente retransmitidas para a Terra, na forma de sinais eletrônicos captados por antenas parabólicas programadas para rastrear este tipo de satélite. A maioria dos sensores imageadores a bordo de satélites são sensores passivos.

Os sensores denominados ativos não dependem de uma fonte externa para irradiar o alvo. Neste caso, o sensor emite um fluxo de radiação em determinada faixa espectral que interage com os alvos na superfície da Terra e a parte que é refletida é captada pelo sensor. Exemplo de sensores ativos são os radares, o laser e radiômetros de micro-ondas (MOREIRA, 2010). A Figura 5 ilustra a forma como os dois tipos de sensores se comportam.



Fonte:Moreira (2001)

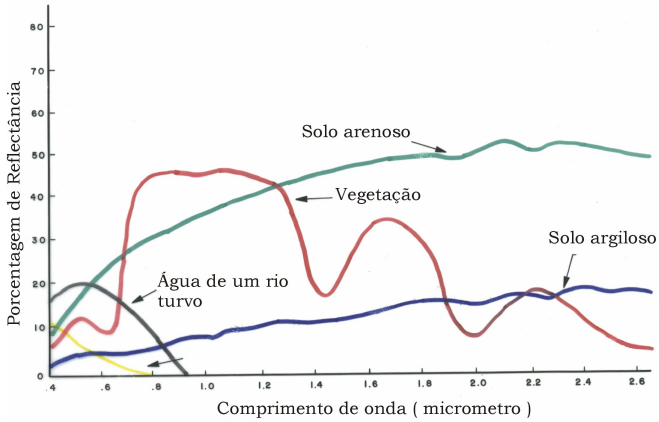
Figura 5: Funcionamento do sensor passivo (A) e um sensor ativo (B).

Alguns exemplos de satélites com sensores passivos são o LANDSAT, SPOT, CBERS, EROS, CARTOSAT e IKONOS. A maior desvantagem dos sensores passivos são as suas dificuldades em operar com grande cobertura de nuvens, uma vez que as nuvens encobrem os alvos na superfície da Terra. A presença de nuvens impede que a radiação eletromagnética proveniente do sol chegue até a superfície da Terra, fazendo com que o sensor registre apenas a energia que foi refletida pela própria nuvem e não a energia proveniente dos alvos na superfície. Já os sensores ativos, do tipo radar, que são encontrados a bordo dos satélites de série ERS,

RADARSAT e ENVISAT, por operarem na região das micro-ondas, captam imagens tanto de dia quanto a noite e também operam em condições meteorológicas adversas (MOREIRA, 2001).

5.3 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS ALVOS

Segundo Sausen (2008), alvo é todo objeto sobre a superfície da Terra que pode ser identificado por um sensor remoto. Os alvos podem ser naturais, como vegetação, água e solo, ou não naturais, como edificações, asfalto e áreas agrícolas. Espera-se que cada objeto tem um comportamento espectral distinto, o qual é determinado quando sua energia refletida é medida ao longo do espectro eletromagnético. A variação de energia refletida é representada por curvas espectrais que mostram o comportamento espectral de cada objeto. O gráfico da Figura 6 apresenta as curvas de alguns alvos mais comuns.



Fonte: Sausen (2008)

Figura 6: Curvas espectrais da vegetação, do solo e da água em função do comprimento de onda da radiação refletida.

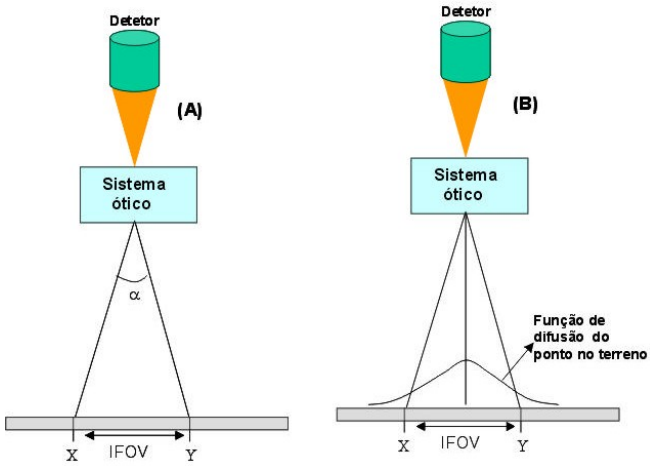
5.4 RESOLUÇÕES DE UM SISTEMA SENSOR

Para Quartaroli e Batistella (2005), resolução é a habilidade que um sensor possui de distinguir entre respostas que são semelhantes espectralmente ou próximas espacialmente. As resoluções de uma imagem obtida por sensor podem ser classificadas em espacial, espectral, radiométrica e temporal.

A resolução espacial de um sistema de imageamento não é um conceito fácil de definir. Townshend (1980) usa alguns critérios baseados nas propriedades geométricas do sistema de imageamento para definir a resolução espacial. Ele

entende que resolução espacial são as habilidades de distinguir os alvos entre si, de medir a periodicidade de alvos repetitivos e de medir as propriedades espectrais de pequenos alvos. A resolução espacial refere-se ao campo de visada instantânea (IFOV, do inglês, *Instantaneous Field of View*).

O IFOV corresponde a área sobre o terreno que é vista pelo sistema sensor a uma dada altitude num dado instante de tempo. O IFOV pode ser medido de duas maneiras: em relação ao ângulo de incidência (ilustração A) ou em relação a uma distância no terreno (X,Y) (ilustração B), conforme é mostrado na Figura 7 (MATHER, 1987).



Fonte: Moreira (2001)

Figura 7: Esquema representando o IFOV.

Já a resolução espectral refere-se à melhor ou a pior caracterização dos alvos em função da largura da banda espectral em que o sensor opera. O sistema sensor pode possuir detetores operando em mais de uma faixa espectral, do espectro eletromagnético. Quando isso acontece, o sistema é dito como multiespectral, pois registra a radiação eletromagnética proveniente dos alvos em várias faixas espectrais. Vale ressaltar que quanto mais fina for a largura de faixa que opera um determinado sensor e também quanto maior o número de bandas, melhor é sua resolução espectral (MOREIRA, 2001).

A resolução radiométrica é definida pelo número de níveis de cinzas, usados para expressar as variações na intensidade da energia coletada pelo sensor. Quanto maior o número de níveis maior a resolução. O número de níveis de cinzas de uma imagem é comumente expresso em função do número de dígitos binários (bits)

necessários para armazenar em forma digital o valor do nível máximo. O valor em bits é sempre uma potência do número 2. Desse modo, uma imagem com resolução radiométrica de 8 bits possui 2^8 = 256 níveis de cinza (QUARTAROLI & BATISTELLA, 2005).

E por fim, a resolução temporal se refere à frequência de cobertura de um sensor, ou seja, a periodicidade com que este sensor adquire imagens de uma mesma porção da superfície da Terra. A resolução temporal possibilita o uso de dados temporais para estudos dos recursos naturais e meio ambiente, pois os dados são coletados em datas diferentes, o que permite o monitoramento de fenômenos dinâmicos, tais como, inundações, desmatamento, crescimento urbano, monitoramento de secas, deslizamentos. Quanto maior for a área registrada pelo satélite menor será o tempo de revisita do mesmo (SAUSEN, 2008).

De acordo com Florenzano (2002), quanto maior for a altitude do sensor, maior será a distância em relação à superfície da Terra e maior será a dimensão da área observada. Quanto maior a área observada maior é a resolução temporal. Por outro lado, quanto menor a distância do sensor ao objeto, maior é a resolução espacial e a escala e, consequentemente, maior é o nível de informação que pode ser obtido da interpretação das imagens.

5.5 IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO

As imagens orbitais de alta resolução vêm sendo muito utilizadas para vários fins que exige o monitoramento da superfície terrestre. São vários os tipos de satélite que geram imagens com alta resolução. Cabe ressaltar nesse trabalho alguns dos mais populares como o *LANDSAT, SPOT, QUICKBIRD, CBERS* e o *IKONOS* que foi o utilizado na pesquisa.

5.5.1 LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*)

O primeiro satélite da série LANDSAT começou a operar em 1972 e a última atualização ocorreu em 1999, com o lançamento do LANDSAT-7. Os sensores que podem ser encontrados a bordo do satélite são MSS, TM e ETM+ a resolução

espacial varia de 120 a 15 metros, a resolução temporal de 16 a 18 dias e a faixa imageada e de 185 km (BATISTELLA e QUARTAROLI, 2005).

5.5.2 SPOT (*Système pour l' Observation de la Terre*)

A série SPOT (*Satellite pour l' Observation de la Terre*), foi iniciada com o satélite franco europeu SPOT 1, em 1986 sob a responsabilidade do *Centre National d'Etudes Spatiales – CNES* da França. Atualmente a plataforma do SPOT está em órbita com três satélites (2, 4 e 5) o que possibilita acesso a qualquer ponto da Terra em menos de 24 horas e atuando em conjunto revisitas em intervalos de 3 a 5 dias (BATISTELLA e QUARTAROLI, 2005).

Os satélites da família SPOT operam com sensores ópticos, em bandas do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio. Com o lançamento do SPOT 5, ocorrido em maio de 2002, a missão inaugurou a possibilidade de aquisição de imagens orbitais tridimensionais graças a sua capacidade de visada lateral de até 27° (estereoscopia cilíndrica) e também conseguiu melhorar a resolução espacial do canal pancromático para 5 metros (BATISTELLA e QUARTAROLI, 2005).

5.5.3 QuickBird

O *QuickBird* foi projetado e construído por meio da cooperação entre as empresas norte-americanas *Digital Globe, Ball Aerospace Technologies, Kodak* e *Fokker Space*. O primeiro lançamento em novembro de 2000 fracassou, na segunda tentativa em outubro de 2001 ele foi lançado em órbita com sucesso. O mesmo trata-se de um satélite de alta precisão que oferece imagens comerciais de alta resolução espacial da Terra (PETRIE, 2002).

O satélite *Quickbird* disponibiliza imagens com 0,61 m de resolução espacial no modo Pancromático (PAN), 2,4 m no modo Multiespectral (MS) e uma imagem denominada *Pan-sharpened*, que possui 0,70 m de resolução espacial, em composição colorida ou falsa cor As imagens PAN e MS são adquiridas com 11 bits, podendo também ser fornecidas em 8 ou 16 bits. Juntamente com as imagens são disponibilizados os arquivos contendo os dados de suporte à imagem, os quais possuem as informações necessárias para a correção geométrica e os coeficientes

racionais polinomiais (RPC), calculados a partir de informações da câmera do sensor e da órbita do satélite (SILVA, 2007).

O *QuickBird II* possui sensores do tipo CCD (*Charge Coupled Device*), que por realizarem varredura eletrônica em fileira linear (*pushbroom linear array*), são flexíveis para visadas *off-nadir* até 30° ao longo do terreno imageado. A visada *off-nadir* permite a cobertura mais frequente do terreno e a aquisição de pares estereoscópicos (PETRIE, 2002).

5.5.4 CBERS (*China – Brazil Earth Resources Satellite*)

O programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite* ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) já colocou em órbita dois satélites de observação: o CBERS-1 e o CBERS-2, lançados na China. Os satélites foram equipados com sensores de diferentes resoluções espaciais que podem cobrir o planeta em menos de 5 dias e ao mesmo tempo produzir informações mais detalhadas em uma visada mais estreita. O CBERS carrega câmeras para observação óptica e um sistema de coleta de dados ambientais. É um sistema único, pois mantém em órbita instrumentos sensores que combinam características especialmente adequadas às diversas escalas temporais e espaciais, necessárias ao monitoramento e à preservação do ecossistema. O sistema de coleta de dados é destinado à retransmissão, em tempo real, de dados ambientais coletados em Terra e transmitidos ao satélite por meio de pequenas estações autônomas. Os dados provenientes das diversas estações, localizados em vários pontos do Planeta, são dirigidos ao mesmo tempo às centrais de processamento e usuários finais, por meio de transmissões em frequências diferentes (BATISTELLA e QUARTAROLI, 2005).

Em 14 de outubro de 1999, ocorreu o lançamento do primeiro Satélite CBERS, utilizando-se o foguete Longa Marcha 4B, a partir da Base de Lançamento de Taiyuan. O segundo satélite foi lançado em 21 de outubro de 2003. Os dois satélites já pararam de operar, mas equipes técnicas de ambos os países concluíram estudos de viabilidade para a continuação da série (BATISTELLA e QUARTAROLI, 2005).

5.5.5 IKONOS

As imagens utilizadas nessa pesquisa foram as obtidas pelo sensor do satélite IKONOS. O primeiro satélite da série IKONOS foi lançado em abril de 1999 pela empresa americana *Space Imaging*, mas o mesmo não obteve sucesso, pois foi perdido no lançamento. Cinco meses depois, o IKONOS II foi projetado para entrar em órbita. A partir de 2000, o satélite tornou-se o primeiro de observação da Terra a fornecer imagens de alta resolução. O satélite IKONOS II opera com sensores no visível e infravermelho próximo, obtendo imagens com resoluções de 1 metro, pancromática, e de 4 metros para multiespectral.[1] Sua resolução radiométrica é de 11 bits (2048 níveis de cinza), aumentando o poder de contraste e de discriminação dos alvos. Outras imagens de satélites, como SPOT, CBERS, IRS, ou LANDSAT, têm resolução radiométrica de 8 bits (1 byte) ou 256 níveis de cinza, e, portanto, o nível de detalhamento radiométrico é menor que as imagens geradas pelo IKONOS (CERQUEIRA, 2003).

A imagem IKONOS permite a fusão de uma imagem pancromática de 82 centímetros de resolução com outra multiespectral de 4 metros, gerando assim outra imagem com resolução de 1 metro colorida, a cor contribui para uma melhor distinção dos alvos.

Segundo Cerqueira (2003), o IKONOS segue uma órbita de aproximação polar, repetitiva, circular e síncrono-solar, isso garante uma cobertura completa da Terra. O sensor pode se inclinar para adquirir imagens em até 700 km para cada lado de sua órbita (para frente e para trás e para os dois lados, com ângulo de incidência máxima 26º fora do Ponto Nadir), permitindo a revisita, com diferentes ângulos e resoluções, de quase qualquer ponto da Terra com uma média de 1 dia e meio para resoluções de 2 m. Uma média de revisita a cada 3 dias para resoluções de dados de 1 m, cobrindo uma distância de até 300 km para cada lado da órbita (ângulo de +/- 10º).

O satélite, atualmente, está sendo usado para a segurança nacional, mapeamento militar, transporte aéreo e marítimo e por governos regionais e locais, além de estar disponível para vendas comerciais.[2] O satélite possui uma particularidade especial: disponibiliza pares de cenas IKONOS para a visualização

[1] http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/ikonos.htm. Acesso em 11/05/2010

estereoscópica. Esse método permite visualizar as imagens em três dimensões, facilitando assim a interpretação e extração de feições naturais e geográficas como estradas, edificações e altimetria. Essa ferramenta trouxe grandes contribuições para os campos da cartografia, planejamento urbano e ambiental, telecomunicações, entre outros. As principais características técnicas do satélite IKONOS II e de seus produtos estão resumidos no Quadro 3:

Altitude	681 km
Inclinação	98,1º
Velocidade	7km / s
Sentido da Órbita	Descendente
Duração da Órbita	98 minutos
Tipo de Órbita	Sol-síncrona
Instrumentos Sensores	Pancromática e Multiespectral
Resolução Espacial	Pancromática: 1m / Multiespectral: 4m
Bandas espectrais	Pan 0.45 - 0.90 µ Azul 0.45 - 0.52 µ Verde 0.51 - 0.60 µ Vermelho 0.63 - 0.70 µ Infra vermelho próximo 0.76 - 0.85 µ
Resolução Espacial	Nadir: 0,82 metros – pancromática 3,2 metros – multiespectral 26º *off* nadir: 1,0 metro – pancromática 4,0 metros –multiespectral
Cobertura	11,3 quilômetros no nadir 13,8 metros – 26º *off* nadir
Tempo de cruzamento pelo Equador	Normalmente 10:30 a.m, tempo solar
Imageamento	13km na vertical (cenas de 13km x 13km)
Capacidade de Aquisição de imagens	Faixas de 11km x 100km até 11km x 1000km Mosaicos de até 12.000km2 20.000km² de área imageada numa passagem
Frequência de Revisita	1,5 a 3 dias

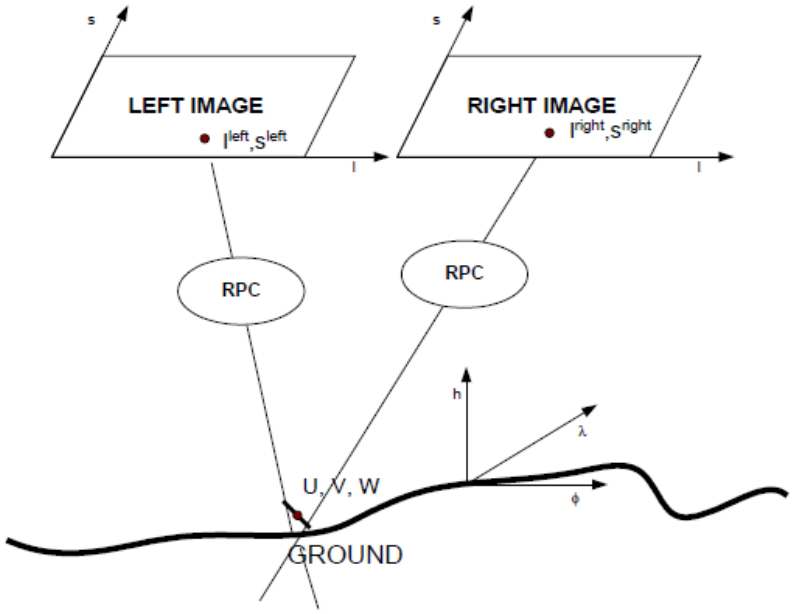
Fonte: Adaptada de Pedro (2005)

Quadro 3: Informações técnicas do satélite IKONOS II

Segundo Pedro (2005), a tomada de pares estereoscópicos se dá nas posições 26º para frente (*forward*), para o nadir, e 26º pós-nadir *(Backward).* Com isso, têm-se imagens convergentes e consequentemente pares estereoscópicos

[2] http://www.geoeye.com/CorpSite/products/imagery-sources/Default.aspx#ikonos. Acesso em 12/05/2010

com ângulo de convergência de 26º e 52º. O intervalo de coleta entre as tomadas é mínimo, e isso contribui para que as condições atmosféricas das áreas imageadas sejam muito próximas, assegurando uma alta qualidade na coleção de imagens. De acordo com Grodecki (2001), o par de imagens pode ser usado diretamente para extração de características estéreo sem qualquer ajustamento suplementar e reamostragem. A relação objeto-imagem para cada imagem estéreo é expressa pelo coeficiente de polinômio racional de cada imagem, como mostra a Figura 8:



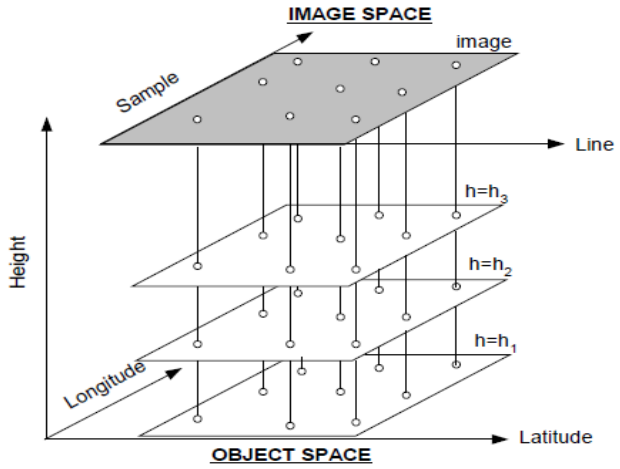
Fonte: Grodecki (2001)

Figura 8: Método de extração das imagens estéreo.

O arquivo RPC *(Rational Polynomial Coefficients)* geralmente acompanha a imagem IKONOS e tem como função fornecer informações que determinam a orientação interior e exterior do sensor, além de trazer as coordenadas geográficas associadas com as coordenadas da imagem. Os parâmetros de orientação exterior são o ângulo [*roll* (t), *pitch* (t) and *yaw* (t)] e posição da perspectiva central [PC(t)], e os de orientação interior são a lente focal, o principal ponto de localização, o coeficiente de distorção da lente e outros parâmetros relacionados aos aspectos físico do sensor (GRODECKI, 2001).

A orientação interior reconstrói a posição dos feixes perspectivos em relação à câmera no momento da tomada da imagem. Para materializar este efeito, são calculados os parâmetros que relacionam o sistema de coordenadas da imagem

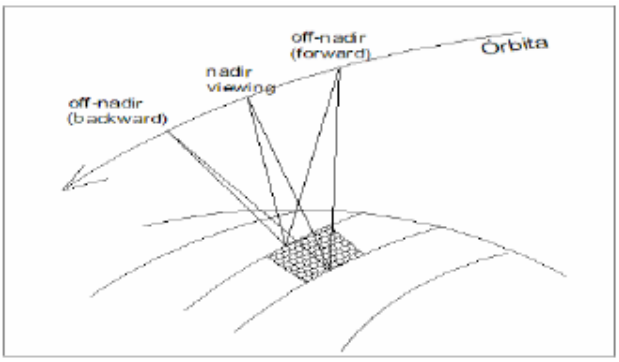
digital (pixels) com os do sistema sensor, dado pelos parâmetros do certificado de calibração do próprio sensor. Resumidamente, pode-se afirmar que a imagem digital, que estava não-referenciada, é atrelada à posição que exercia dentro da câmara quando foi obtida. Já orientação exterior irá relacionar o sistema sensor (reconstruído na orientação interior) com o terreno imageado naquele instante. A Figura 9 exemplifica como RPC é representado na imagem, cada pixel tem a informação de x (latitude), y (longitude) e z (altura):



Fonte: Grodecki (2001)

Figura 9: Geração de *Rational Polynomial Coefficients* (RPC)

Um par estereoscópico IKONOS consiste em duas cenas adquiridas para uma mesma localização geográfica da Terra, obtidas em duas perspectivas distintas durante uma mesma passagem do satélite. O imageamento se faz ao longo de uma mesma órbita, ou seja, dentro de uma mesma faixa imageada, com alguns instantes de intervalo, para que a radiometria seja consistente entre as duas tomadas, facilitando assim o processamento e a interpretação das imagens. Uma das duas imagens é adquirida com uma visada próxima da vertical entre 90 e 72 graus (nadir) e outra é tomada na posição 26º para frente do nadir (forward) ou no 26º pós-nadir *(Backward)* como mostra Figura 10.



Fonte: Dias (2010)

Figura 10: Método de obtenção das estereoimagens.

O par estereoscópico IKONOS com informações do RPC permite que softwares comerciais de processamento de imagens disponíveis no mercado criem Modelos Digitais de Elevação e ortorretifiquem uma das imagens do par estereoscópico. Vale ressaltar que durante o período da pesquisa não foi encontrado nenhum software livre que execute esse mesmo processo. Os softwares que foram homologados pela *Space Imaging*[3] e suportam o formato das imagens com estereoscopia são:

- ✔ LH Socet Set
- ✔ Erdas Stereo Analyst e LPS
- ✔ PCI OrthoEngine
- ✔ Z/I Image Station e SSK

Segundo Okida (2003), a imagem IKONOS ortorretificada é uma excelente opção para se trabalhar em extensas áreas e com grande detalhe (monitoramento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa, de cavas de minerações, para mapeamento urbano básico e cadastral, etc.), pois seu custo é inferior ao fotografias aéreas. No caso de fotografias aéreas, seria necessária uma grande quantidade de fotos para recobrir a mesma área de uma imagem IKONOS, além dos custos com o aerolevantamento, logística, etc...

[3] www.spaceimaging.com.br. Acesso em 03/10/2010

Passos et al (2001) comenta que a imagem IKONOS pode ser utilizada para gerar cartas numa escala de até 1: 5.000 na classe C do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica). O sensor IKONOS pode gerar 5 tipos de produtos com características específicas e finalidades distintas. O Quadro 4 apresenta as especificações de cada produto.

Tipo	Precisão Planimétrica			Ortorretificado	Ângulo de elevação	Disponibilidade de Mosaico	Aplicações
	CE90	RMSE	Escala				
GEO	15 m	8 m	-	Não	>60°	não	Interpretação visual e detecção de mudanças.
GEO professional	10 m	5 m	1:12.000	sim	>66°	sim	Mapeamento regional de grandes áreas, aplicações SIG, cartografia básica e uso do solo.
PRECISION 1	4 m	2 m	1:5.000	sim	>72°	sim	Alta precisão posicional para aplicações no âmbito urbano.
GEO STEREO	15 m	22 m	1:20.000	não	>60°	não	Criação de MDE
PRECISION 2	4 m	6 m	1:5.000	não	>60°	não	Criação de MDE

Fonte: Adaptado de www.spaceimaging.com.br

Quadro 4: Especificações dos produtos IKONOS.

De acordo com Melo (2002), CE 90 é a exatidão posicional circular com um nível de certeza de 90%, assim, por exemplo, a imagem Geo Stereo possui uma exatidão de 15 m CE90, isso significa 90% de chance de um ponto dentro da imagem estar posicionado a um raio horizontal de até 15 metros da sua posição original na Terra.

6 FOTOGRAMETRIA DIGITAL

A palavra Fotogrametria deriva de três palavras de origem grega: photon (luz), graphos (escrita) e metron (medições). Brito e Coelho Filho (2002) define fotogrametria como a ciência, a técnica e a arte de se extrair informações confiáveis, como a forma, as dimensões e a posição de objetos através de imagens adquiridas por sensores fotográficos. A fotogrametria foi inventada em 1851 por Laussedat, e tem evoluído muito ao longo dos anos. Com essa evolução, a fotogrametria passou pela fase analógica, analítica e agora chegou a fase digital.

A fotogrametria digital pode ser considerada uma tecnologia de informação usada para gerar informações geométricas, radiométricas e de semântica sobre objetos no universo 3D (tridimensional) obtidas por meio de imagens em 2D (planas). Nas últimas décadas verificou-se que a fotogrametria teve um expressivo crescimento, seja como arte, seja como ciência, e se consolidou como instrumento fundamental para a edição de bases cartográficas (HEIPKE, 1995).

As imagens para fotogrametria podem ser adquiridas diretamente no formato digital ou ainda em formato analógico, sendo, nesta última hipótese, transformadas para meio digital em aparelhos digitalizadores matriciais, ou *scanners*. Há, basicamente, duas estruturas de dados de imagem digital: a vetorial e a *raster*. A imagem vetorial é caracterizada pela delimitação de objetos representados por pontos, linhas e polígonos. Já a imagem *raster* é uma matriz composta por células quadradas, os *pixels* (*Picture x Elements*). Dentro de cada *pixel*, há somente um nível de cinza ou coloração sólida, definida por um número digital (ZANARDI, 2006).

A fotogrametria pode ser dividida em duas grandes áreas: a fotogrametria interpretativa e a métrica.

A fotogrametria interpretativa objetiva o reconhecimento e identificação de objetos e o julgamento do seu significado a partir de uma análise sistemática e cuidadosa de fotografias ou imagens de satélite. Segundo Temba (2000) a interpretação de imagens é o ato de examinar, com o propósito de identificar, os objetos e determinar sua significância. Muitas das vezes a interpretação vai além da simples identificação dos objetos. Ela possibilita a análise e entendimento da interação entre os diferentes objetos existentes na imagem. A fotogrametria

interpretativa tem como método a fotointerpretação. As técnicas da fotointerpretação podem variar das simples às mais complexas, tais como:

- ✔ Foto leitura
- ✔ Foto análise
- ✔ Foto dedução

A fotogrametria métrica consiste na tomada de medidas das imagens e de outras fontes de informação para determinar, de um modo geral, o posicionamento dos pontos. Com a utilização de técnicas e processos da fotogrametria, é possível determinar, distâncias, ângulos, áreas e elevações e posteriormente confeccionar, mosaicos, modelos digitais de elevação, ortofotos, cartas planimétricas e altimétricas (ZANARDI, 2006).

6.1 ESTEREOSCOPIA

De acordo com Siscoutto (2004), a estereoscopia está relacionada à capacidade de enxergar em três dimensões, isto é, de perceber a profundidade. O princípio de funcionamento da maioria dos dispositivos estereoscópicos é o oferecimento de imagens distintas aos olhos esquerdo e direito do observador, proporcionando sensação de profundidade, tal qual quando se observa um objeto real. A base para a percepção estereoscópica é a disparidade binocular do sistema visual humano, que gera duas imagens ligeiramente diferentes quando uma cena é projetada nas retinas dos olhos. As duas perspectivas diferentes das imagens são fundidas no córtex visual do cérebro de forma a compor uma simples visão estereoscópica (tridimensional). Sensores fotográficos podem simular a distância interocular dos olhos humanos e produzir por meio de um par de imagens a mesma sensação de profundidade.

Esse trabalho destaca dois métodos de obter a estereoscopia: o anáglifo e os óculos obturadores sincronizados

Anáglifo é o nome dado às figuras planas cujo relevo se obtém por cores complementares, normalmente vermelho e verde ou vermelho e azul. Nesse caso,

cada um dos olhos utilizará um filtro diferente, feito de papel celofane, para visualizar as imagens do par estereoscópico. O filtro vermelho refletirá a cor vermelha, deixando atingir o olho apenas as partes do anáglifo que estejam na cor vermelha, e o olho que estiver com o filtro verde/azul receberá a parte em verde/azul da imagem. A Figura 11 apresenta os modelos de óculos para visualização estereoscópica de anáglifos.

Fonte: Siscoutto (2004)

Figura 11: Óculos para visão estéreo em anáglifo.

Já na técnica dos óculos obturadores sincronizados, o observador, ao visualizar a tela do computador ou televisor, utiliza óculos, cujas lentes são feitas de cristal líquido. As lentes podem ficar instantaneamente transparentes ou escuras de acordo com um controle eletrônico. Esse controle é sincronizado com sinal emitido pelo vídeo, de forma a deixar escura a lente da esquerda e transparente a da direita quando estiver sendo exibido na tela, a imagem referente ao olho direito e vice-versa. O sinal de vídeo apresenta as imagens esquerda e direita em sincronismo. Como as taxas de atualização das imagens no vídeo são muito rápidas (60 Hz para cada olho), o resultado é que cada olho enxerga uma imagem diferente, resultando no efeito estereoscópico (SANTOS, 2000). A Figura 12 apresenta exemplos de óculos obturadores.

Figura 12: Ilustração do método de visualização estéreo por meio dos óculos obturadores sincronizados 08/04/2011

6.2 AEROTRIANGULAÇÃO

De acordo com Zanardi (2006), aerotriangulação é uma técnica segura de calcular as coordenadas espaciais dos pontos medidos fotogrametricamente. O seu principal objetivo é fornecer coordenadas precisas para os pontos necessários à orientação absoluta dos modelos fotogramétricos. A aerotriangulação visa estabelecer controle horizontal e vertical por meio das relações geométricas entre as imagens adjacentes. Pontos com coordenadas geográficas conhecidas são usados para obtenção do controle e ajustamento da imagem.

6.3 RESTITUIÇÃO

A restituição é a transformação e a transferência dos elementos contidos nas fotografias aéreas ou nas imagens de satélite para um mapa ou uma carta. A restituição reconstitui as condições geométricas do instante em que ocorreu o registro da imagem, formando-se, assim, um modelo tridimensional do terreno, nivelado e com representação da escala através do modelo estereoscópico.

Dependendo da escala empregada, os elementos da imagem podem ser omitidos ou representados de diversas formas (MAGALHÃES, 1998).

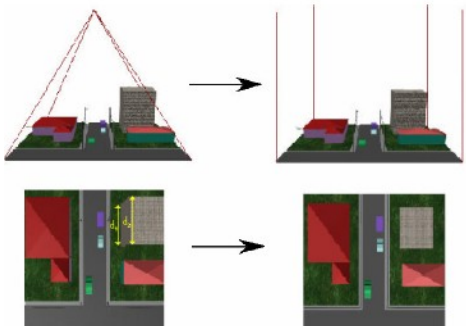
6.4 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)

Os termos Modelo Digital de Elevação (MDE) e Modelo Digital de Terreno (MDT) muitas das vezes são considerados equivalentes nas várias bibliografias sobre o tema. Segundo Vieira apud Li (2009) o termo MDT pode ser utilizado num sentido mais amplo do que o MDE incorporando outros atributos específicos do terreno, tais como: rios, estradas, temperaturas, precipitação etc... Enquanto o MDE considera somente a elevação do terreno. Nesse trabalho optou-se em utilizar o termo MDE, pois o modelo gerado apresenta apenas os valores referente a altitude.

6.5 ORTORRETIFICAÇÃO

Para Okida (2003), a ortorretificação é baseada em uma fundamentação matemática e geométrica, que reflete a geometria da superfície terrestre captada pelo sensor. Essa fundamentação leva em consideração as distorções que ocorrem na formação da imagem, isto é, distorções relativas a plataforma, ao sensor, à Terra e à projeção cartográfica.

Assim, o processo de ortorretificação de imagens é responsável por transformar imagens com perspectiva cônica em imagens com perspectiva ortogonal. É por meio desse processo que se eliminam a distorção radial e os desvios relativos ao relevo da região imageada, como mostra a Figura 13:



Fonte: Brito (2002).

Figura 13: Esquema do processo de ortorretificação.

Uma imagem não ortorretificada não pode ser tomada como fonte de informação métrica segura, uma vez que a mesma possui erros devido à rotação do sensor e deslocamentos devido ao relevo, inerentes à perspectiva cônica. Já a imagem em projeção ortogonal pode ser tomada como um documento cartográfico (BRITO, 2002).

O método matemático mais empregado na ortorretificação de imagens é a retificação diferencial. Seu objetivo é gerar uma nova imagem digital em perspectiva ortogonal, por meio da reconstrução dos feixes. Essa “nova imagem” é feita a partir das coordenadas tridimensionais de cada pixel. Por intermédio dos parâmetros da orientação exterior e os de orientação interior, chega-se ao pixel correspondente, e, consequentemente, ao seu nível de cinza, que é reamostrado na imagem ortorretificada (ZANARDI, 2006).

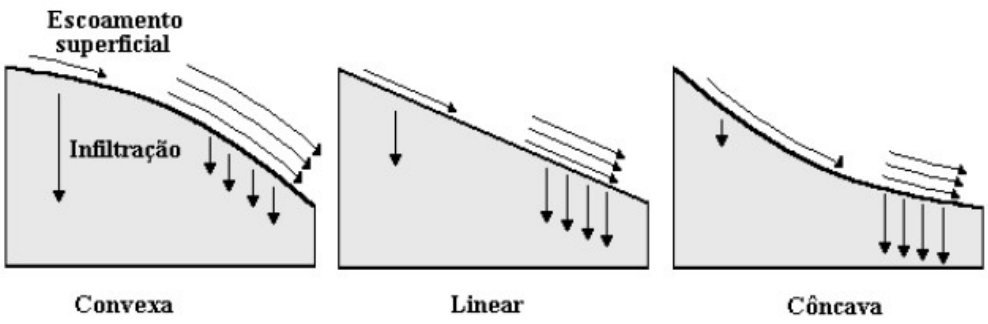
7 MOVIMENTOS DE MASSAS

As diversas formas de relevo influenciam no tipo de solo que será formado. O relevo também é fator determinante na relação das taxas de infiltração e de escoamento superficial das águas pluviais. Aspectos geométricos do relevo, como declividade, comprimento de rampa, formas de vertentes, entres outros, são elementos que estão estreitamente relacionados aos movimentos de massa.

Vertente, em seu sentido amplo, significa superfície inclinada. Em uma definição mais restrita, é definida em geomorfologia como uma forma tridimensional que foi modelada pelos processos de denudação, atuantes no presente ou no passado, e que representa a conexão dinâmica entre o interflúvio e o vale (NEGREIROS, 2003).

Procura-se, assim, utilizando o conceito de "vertente" em geomorfologia, demonstrar as relações processuais evidenciadas, dando ênfase à dinâmica externa, valorizando as derivações antropogênicas (CASSETI, 1991).

Para determinação da forma das vertentes utilizam-se alguns parâmetros morfométricos para sua análise. Entre estes índices, podem-se destacar os índices de concavidade e convexidade. A forma da vertente é classificada em linear, convexa ou côncava, como mostra a Figura 14.

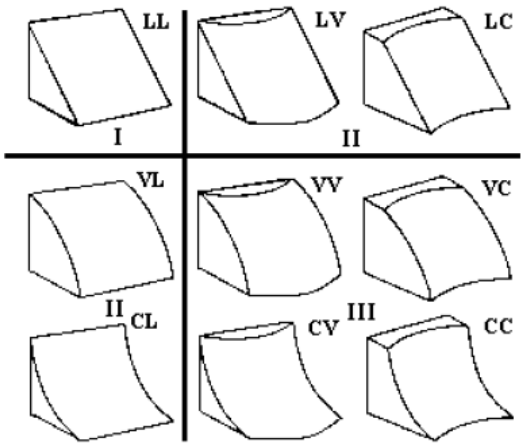


Fonte: Negreiros (2003).

Figura 14: Tipos de curvatura da vertente e sua intensidade de infiltração e escoamento superficial.

De acordo com Negreiros (2003) a combinação dessas classes no plano horizontal ou vertical, resulta em nove formas, constituindo 3 grupos (Figura 15) :

- ✔ grupo I: formado pela combinação de dois planos de forma linear;
- ✔ grupo II: formado pela combinação de um plano na forma linear, com outro plano na forma curva;
- ✔ grupo III: formado pela combinação de dois planos de forma curva.



Fonte: Negreiros (2003).

Figura 15: Forma geométrica das vertentes.

7.1 TIPOS DE MOVIMENTO DE MASSA

Existem vários tipos de movimentos de massa, e os critérios geralmente utilizados para a diferenciação destes movimentos são: o tipo de material, a velocidade e o mecanismo do movimento, o modo de deformação, a geometria da massa movimentada e o volume de água.

São várias as classificações nacionais e internacionais relacionadas a deslizamentos. O Grupo Internacional do Inventário Mundial de Deslizamentos, para garantir a homogeneização de conceitos utilizados por pesquisadores de todo mundo, criou o glossário multilíngue (WP/ WLI, 1994)[4]. Nele os movimentos de massa são divididos em: quedas, escorregamentos, corridas, tombamentos e espraiamentos (FERNANDES e AMARAL, 2000).

Nesse trabalho será apresentada a classificação proposta por Augusto Filho (1992), a mesma utilizada pelo IPT, onde os movimentos de massa relacionados a

[4] http://www.ukgeohazards.info/pages/eng_geol/landslide_geohazard_newstyle/eng_geol_landslides_defs.htm. Acesso em 22/07/2011

encostas são agrupados em quatro grandes classes de processos, sendo elas: Rastejos, Escorregamentos, Quedas e Corridas.

7.1.1 Rastejo (*Creep*)

São movimentos lentos, que envolvem grandes massas de materiais, cujo deslocamento resultante ao longo do tempo é mínimo (mm a cm/ano). Esse processo atua sobre os horizontes superficiais do solo, bem como nos horizontes de transição solo/rocha.

Características do rastejo:

- ✔ Vários planos de deslocamento (internos);
- ✔ Velocidades muito baixas a baixas (cm/ano) e decrescentes com a profundidade;
- ✔ Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes;
- ✔ Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada;
- ✔ Geometria indefinida.

7.1.2 Escorregamentos ou deslizamentos (*Landslides*)

São processos marcantes na evolução das encostas, caracterizando-se por movimentos rápidos de m/h a m/s, com limites laterais e profundidade bem definidos (superfície de ruptura). Os volumes instabilizados podem ser facilmente identificados. O material movimentado pode ser constituído por solo, rocha, por uma complexa mistura de solo e rocha ou até mesmo por resíduos sólidos. Os escorregamentos são subdivididos em função do mecanismo de ruptura, geometria e material que mobilizam.

Características dos escorregamentos:

- ✔ Poucos planos de deslocamento (externos);
- ✔ Velocidades médias (m/h) a altas (m/s);
- ✔ Pequenos a grandes volumes de material;

- ✔ Geometria e materiais variáveis;
- ✔ Planares: solos poucos espessos; solos e rochas com um plano de fraqueza;
- ✔ Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas;
- ✔ Em Cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza.

7.2 FORMA DO PLANO DE RUPTURA

7.2.1 Escorregamentos Rotacionais

Estes movimentos possuem uma superfície de ruptura curva, côncava para cima, ao longo da qual se dá um movimento rotacional da massa do solo. Dentre as condições que mais favorecem a geração dos escorregamentos rotacionais destaca-se a existência de solos espessos e homogêneos, sendo comuns em encostas compostas por material de alteração originado de rochas argilosas como argilitos e folhelhos. O início do movimento está muitas vezes associado a cortes na base desses materiais, sejam eles artificiais, como na implantação de uma estrada, ou mesmo naturais, originados, por exemplo, pela erosão fluvial no sopé da encosta (FERNANDES e AMARAL, 2000).

7.2.2 Escorregamentos Translacionais

Os escorregamentos translacionais são, em geral, longos e rasos, onde o plano de ruptura encontra-se, na grande maioria das vezes, em profundidades que variam entre 0,5 m e 5m. Os escorregamentos translacionais, com muita frequência, ocorrem durante períodos de intensa precipitação. Com base no tipo de material transportado, os escorregamentos translacionais podem ser subdivididos em escorregamentos translacionais de rocha, de solo residual, de tálus/ colúvio e de detritos, incluindo o lixo (FERNANDES e AMARAL, 2000).

7.2.3 Quedas (*Falls*)

Os movimentos do tipo queda são extremamente rápidos (da ordem de m/s) e envolvem blocos e/ ou lascas de rocha em movimento de queda livre, instabilizando um volume de rocha relativamente pequeno.

Características das quedas:

- ✔ Sem planos de deslocamento;
- ✔ Movimento tipo queda livre ou em plano inclinado;
- ✔ Velocidades muito altas (vários m/s);
- ✔ Material rochoso;
- ✔ Pequenos a médios volumes;
- ✔ Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc;
- ✔ Rolamento de matacão;
- ✔ Tombamento.

7.2.4 Corridas de massa (*Flows*)

As corridas de massa são movimentos gravitacionais de massa complexos, ligados a eventos pluviométricos excepcionais. Ocorrem a partir de deslizamentos nas encostas e mobilizam grandes volumes de material, sendo o seu escoamento ao longo de um ou mais canais de drenagem, tendo comportamento líquido viscoso e alto poder de transporte. Segundo Fernandes & Amaral (2000), as corridas (ou fluxos) são movimentos rápidos nos quais os materiais se comportam como fluidos. A distinção entre corridas e escorregamentos nem sempre é fácil de ser feita no campo. Muitas vezes, a origem de uma corrida é representada por um típico escorregamento.

Características das corridas de massa:

- ✔ Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação);
- ✔ Movimento semelhante ao de um líquido viscoso;

- ✔ Desenvolvimento ao longo das drenagens;
- ✔ Velocidades médias a altas;
- ✔ Mobilização de solo, rocha, detritos e água;
- ✔ Grandes volumes de material;
- ✔ Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

7.3 CONDICIONANTES E CAUSAS DOS MOVIMENTOS DE MASSA

Os deslizamentos ocorrem sob a influência de condicionantes naturais, antrópicos, ou ambos. As causas destes processos devem ser entendidas, a fim de minimizar e monitorar deslizamentos. Os condicionantes naturais podem ser separados em dois grupos, o dos agentes predisponentes e o dos agentes efetivos (BRASIL, 2007).

Os agentes predisponentes são o conjunto das características intrínsecas do meio físico natural, podendo ser diferenciados em complexo geológico-geomorfológico (comportamento das rochas, perfil e espessura do solo em função da maior ou menor resistência da rocha ao intemperismo) e complexo hidrológico-climático (relacionado ao intemperismo físico-químico e químico). A força da gravidade e a vegetação natural também podem estar inclusos nesta categoria (BRASIL, 2007).

Os agentes efetivos são elementos diretamente responsáveis pelo desencadeamento dos movimentos de massa, sendo estes diferenciados em preparatórios (pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura e umidade, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação do nível de lagos e mares e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento) e imediatos (chuva intensa, vibrações, fusão do gelo e neves, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem, etc.).

Com relação aos condicionantes antrópicos, pode-se citar como principais agentes deflagradores de deslizamentos a remoção da cobertura vegetal,

lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas, vazamento na rede de água e esgoto, presença de fossas, execução de cortes com alturas e inclinações acima de limites tecnicamente seguros, execução deficiente de aterros (compactação, geometria, fundação), execução de patamares (“aterros lançados”) com o próprio material de escavação dos cortes, o qual é simplesmente lançado sobre o terreno natural, lançamento de lixo nas encostas/taludes, retirada do solo superficial expondo horizontes mais suscetíveis, deflagrando processos erosivos, bem como elevando o fluxo de água na massa do solo. O zoneamento de risco geológico se inicia com a pré-setorização da área, utilizando-se a percepção e parâmetros básicos, tais como (BRASIL, 2007):

- ✔ Declividade/inclinação;
- ✔ Tipologia dos processos;
- ✔ Posição da ocupação em relação a encosta;
- ✔ Qualidade da ocupação (vulnerabilidade).

7.4 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO

Documentação e investigação de deslizamentos são etapas fundamentais para aplicar soluções adequadas e reduzir as perdas e danos causados por esse evento. A documentação procura garantir o registro dos processos ocorridos no passado e no presente para, assim, gerar dados de análise visando a prevenção de deslizamentos no futuro, bem como servir de base para a modelagem física dos processos, facilitando o avanço do conhecimento sobre os mecanismos dos movimentos de massa (FERNANDES e AMARAL, 2000). Para se obter uma documentação precisa sobre deslizamentos é necessário alcançar um conhecimento detalhado de seus condicionantes, ou seja, dos agentes que levaram à sua deflagração. Este conhecimento é obtido a partir da investigação que, em geral, envolvem as seguintes ferramentas e métodos:

- ✔ Imagens de Satélites e Radares;

- ✔ Fotografias Aéreas;
- ✔ Levantamento de Campo;
- ✔ Instrumentação e Ensaios;
- ✔ Tecnologia de Processamento e Tratamento de Dados;
- ✔ Sistema de Informações Geográficas (SIG).

As cartas topográficas e os mapas são uns dos documentos mais utilizados nesse processo de investigação, pois é por meio deles que são feitas as análises e associações das diversas características da paisagem considerada como área de risco. Para a gestão de problemas causados pela ocupação dos morros urbanos, onde deve ser conhecida os aspectos do ambiente (físico-biótico-antrópico), as escalas de trabalho mais adotadas ficam entre 1:10.000 e 1:25.000 (BRASIL, 2008).

Um cadastro de Deslizamentos pode contribuir para:

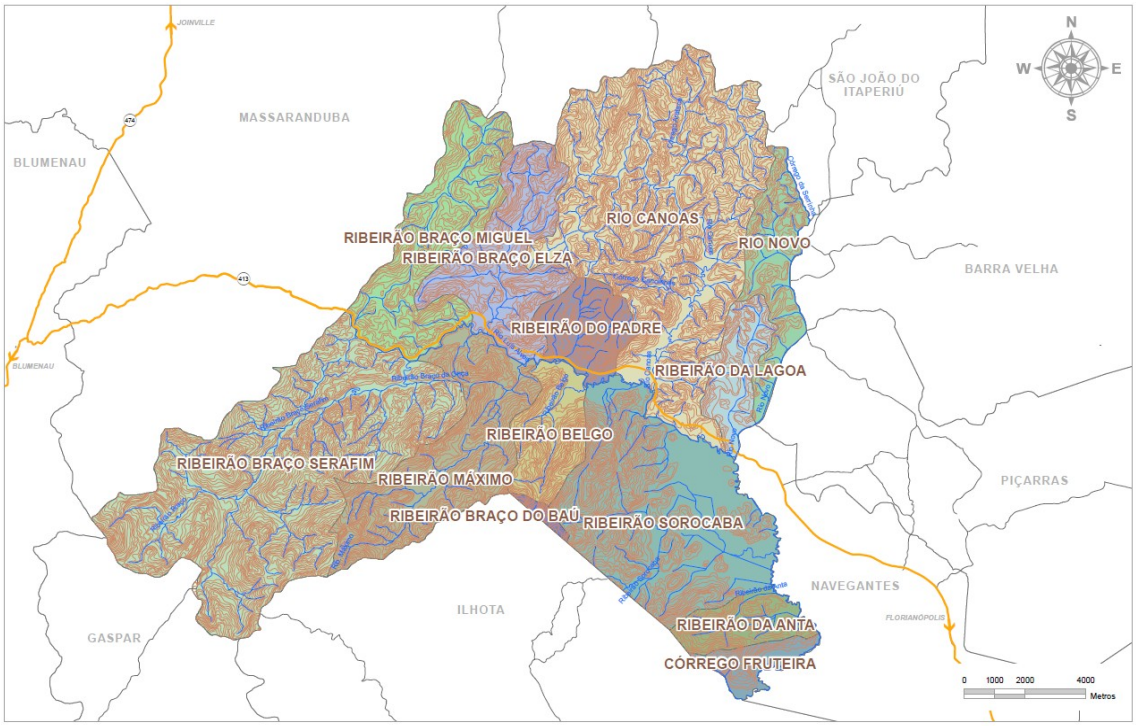
- ✔ permitir o entendimento da distribuição dos deslizamentos;
- ✔ integrar estudos já realizados, permitindo a análise da presença de processos interativos sobre uma determinada área geográfica;
- ✔ permitir a análise da influência dos fatores deflagradores, em separado ou em conjunto;
- ✔ registrar os custos socioeconômicos dos acidentes;
- ✔ avaliar o custo – benefício das medidas administrativas adotadas para a redução de sua ocorrência ou consequência.

Fernandes e Amaral (2000) mencionam que para reduzir os registros de acidentes e as dimensões das consequências sociais e econômicas por eles gerados, podem ser estabelecidos três tipos de atividade, sendo elas: adoção de medidas de prevenção de acidentes; planejamento para situações de emergência, e

informações públicas e programas de treinamento, tendo como base o monitoramento e previsão meteorológica e a cartografia dos riscos geológicos.

8 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Foi selecionada apenas uma área de 100 km², que corresponde ao tamanho de uma cena da imagem, para que fosse aplicada a metodologia. Procurou-se escolher uma área que fosse possível representar as duas realidades distintas existentes na região do vale do Itajaí: morros de alto declive e planície de inundação. A sub-bacia escolhida que atendia a essa exigência foi o Ribeirão Sorocaba, localizado nos limites políticos do município de Luís Alves (Figura 16). Sua extensão é de 3681,4 ha e se localiza na margem direita do rio Luís Alves.



Fonte: www.luisalves.sc.gov.br, acesso em 23 fevereiro de 2011.
Figura 16: Representação das sub-bacias hidrográficas do Município de Luís Alves.

A Figura 17 ilustra a área (100 Km²) de recobrimento da imagem IKONOS. A cena registra toda bacia do Ribeirão Sorocaba.

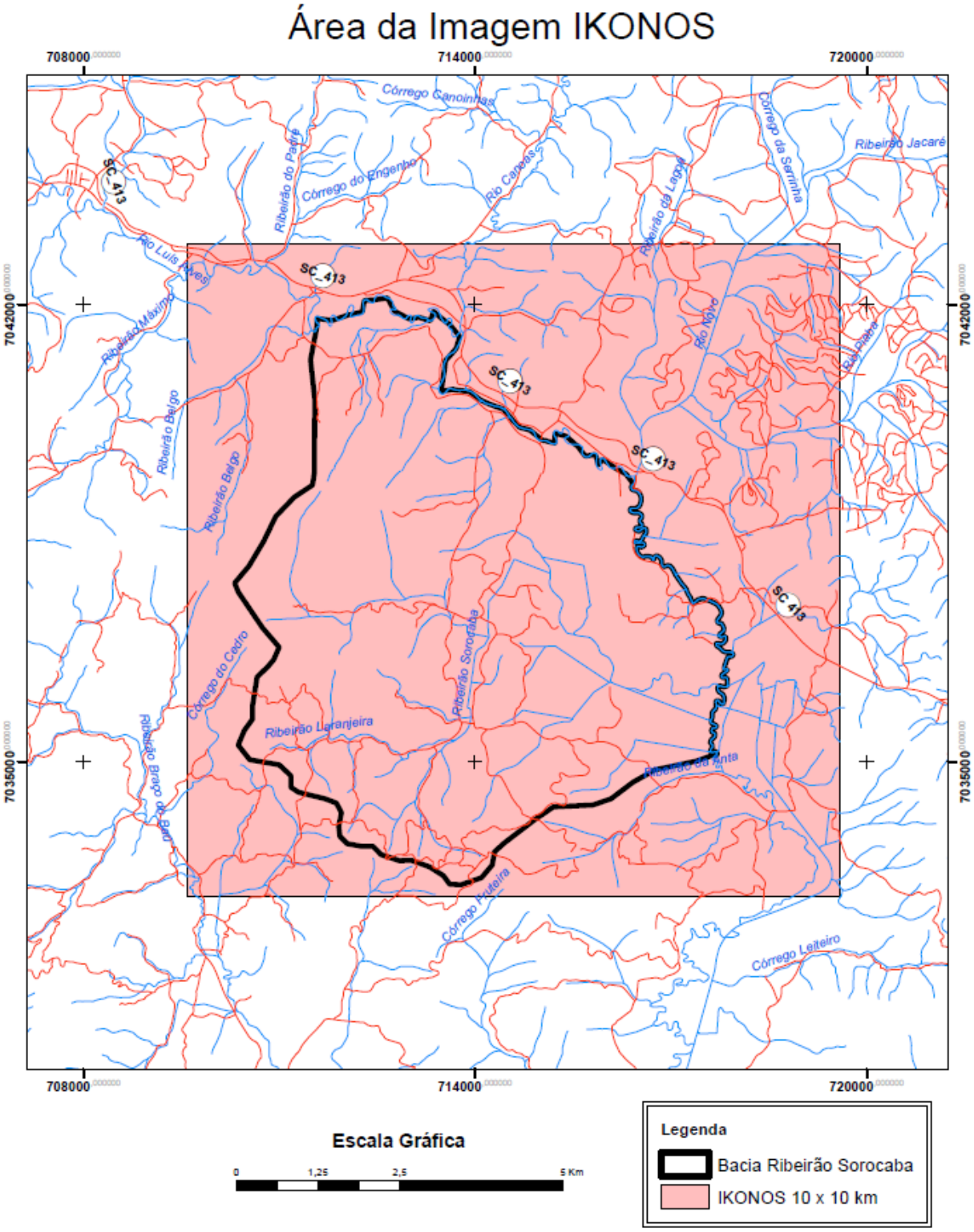


Figura 17: Mapa de localização da imagem IKONOS no município de Luís Alves, SC

A área de estudo é considerada zona rural de Luís Alves e as terras da bacia do ribeirão Sorocaba correspondem às comunidades de Laranjeiras, Rio do Peixe e

Boa Vista. O município foi povoado por imigrantes açorianos, italianos, alemães, austríacos, belgas, poloneses e franceses.[5] A principal atividade econômica na bacia do Ribeirão Sorocaba é a agricultura. A bananicultura faz do município de Luís Alves o segundo maior produtor de banana no estado de Santa Catarina. Outras atividades existentes na área são produção de cachaça, aviários, cultivo de milho, de arroz irrigado e reflorestamento.

8.1 ASPECTOS FÍSICOS

Como a área da imagem é muito restrita, as características aqui relatadas estão generalizadas, correspondendo a todo município.

8.1.1 Características Climáticas

O município de Luís Alves, segundo a classificação Climática de Thorthwaite, é considerado como Mesotérmico Úmido**.** Neste tipo de clima, as temperaturas médias anuais variam entre 18 e 20ºC, sendo que no inverno a temperatura média varia entre 14 e 16ºC e no verão entre 24 e 26ºC. O total anual de insolação varia entre 1.600 e 2000 horas (SANTA CATARINA, 1986).

O número de dias de chuva está entre 140 e 150 por ano na região mais ao Norte do município, ficando entre 130 e 140 dias/ano na área Sul e central e aumentando em direção a Oeste, atingindo 150 dias/ano (PLANO DIRETOR de Luis Alves, 2007). A média anual de precipitação está entre 1400 a 1800 mm (SANTA CATARINA, 1986).

E a umidade relativa do ar anual em Luís Alves apresenta valores maiores que 85 % (SANTA CATARINA, 1986).

8.1.2 Hidrografia

O Sistema Hidrográfico do Município de Luís Alves é dominado pelo rio do mesmo nome, o qual é um dos principais afluentes do Rio Itajaí-Açu, fazendo parte dos rios da Vertente Atlântica ou Bacias do Leste. O Rio Luís Alves drena,

[5] www.luisalves.sc.gov.br, acesso em 23 fevereiro de 2010

juntamente com seus afluentes, os terrenos cristalinos, apresentando um perfil longitudinal razoavelmente acidentado em seu curso superior, perdendo esta característica na planície de acumulação junto à área urbana, aonde chega a formar alguns meandros. A bacia hidrográfica do Rio Luís Alves é composta por 13 sub-bacias hidrográficas em função da drenagem principal de cada uma delas. Suas dimensões e espacialização podem ser verificadas abaixo[6]:

- ✔ Ribeirão Braço Miguel – 2033,7000 ha – Margem esquerda
- ✔ Rio Novo – 1008,7000 ha – Margem esquerda
- ✔ Ribeirão Braço Elza – 1749,2000 ha – Margem esquerda
- ✔ Ribeirão do Padre – 790,2000 ha – Margem esquerda
- ✔ Rio Canoas – 5957,5000 ha – Margem esquerda
- ✔ Ribeirão da Lagoa – 722,5000 ha – Margem esquerda
- ✔ Ribeirão Braço Serafim – 5852,7000 ha – Margem direita
- ✔ Ribeirão Máximo – 2288,7000 ha – Margem direita
- ✔ Ribeirão Braço do Baú – 77,2000 ha – Margem direita
- ✔ Ribeirão Belgo – 872,5000 ha – Margem direita
- ✔ Ribeirão Sorocaba – 3681,4000 – Margem direita
- ✔ Ribeirão da Anta – 635,1000 ha – Margem direita
- ✔ Córrego Fruteira – 373,0000 ha – Margem direita

O estado de conservação da bacia hidrográfica principal e de seus afluentes é razoável, com algumas ressalvas para os usos inadequados, como a ausência de vegetação ciliar nas áreas urbanas e nas proximidades de cultivos florestais, de banana e arroz. A deficiência dos sistemas de coleta e tratamento de esgotos nas áreas urbanizadas também tem contribuído para a degradação das bacias. Além

[6] www.luisalves.sc.gov.br, acesso em 23 fevereiro de 2010

disso, a utilização de agrotóxicos nas plantações de arroz e banana podem contaminar as águas dos rios (PLANO DIRETOR de Luís Alves, 2007).

8.1.3 Geologia

O município de Luís Alves é composto pelos seguintes domínios: Pré-Cambriano, representado pelo Complexo Granulítico e pelo Grupo Itajaí e Cobertura Sedimentar Quaternária constituída pelos Sedimentos Colúvio Aluvionares (SCHEIBE, 1986).

O Complexo Granulítico é uma unidade geotectônica constituída por rochas metamórficas de alto grau e com idades radiométricas Arqueanas. O Complexo Granulítico também é conhecido como Complexo Luís Alves em outros mapeamentos da região. E o mesmo predomina em 95% do território do município, aflorando principalmente nas áreas de elevações. A denominação de complexo advém justamente por incluir diferentes tipos de litologias e por ter passado por vários ciclos de deformação ao longo do tempo geológico. Segundo Scheibe (1986), nesse tipo de domínio são encontrados vários tipos litológicos sendo predominante os gnaisses quartzo feldspáticos com teor relativamente baixo em minerais máficos . Outras litologias comuns na área são milonito gnaisses granulíticos, gnaisses blastomiloníticos, corpos ultramáficos lenticulares, gnaisses calciossilicatados, Kinzigitos e anortositos, quartzitos e formações ferríferas.

Próximo aos limites com os municípios de Penha e Navegantes ocorre a presença do Grupo Itajaí, que é uma unidade litoestratigráfica vulcano-sedimentar que pode ser dividida em formações superior e inferior. Segue as características de cada Formação do Grupo Itajaí:

8.1.3.1 Formação inferior

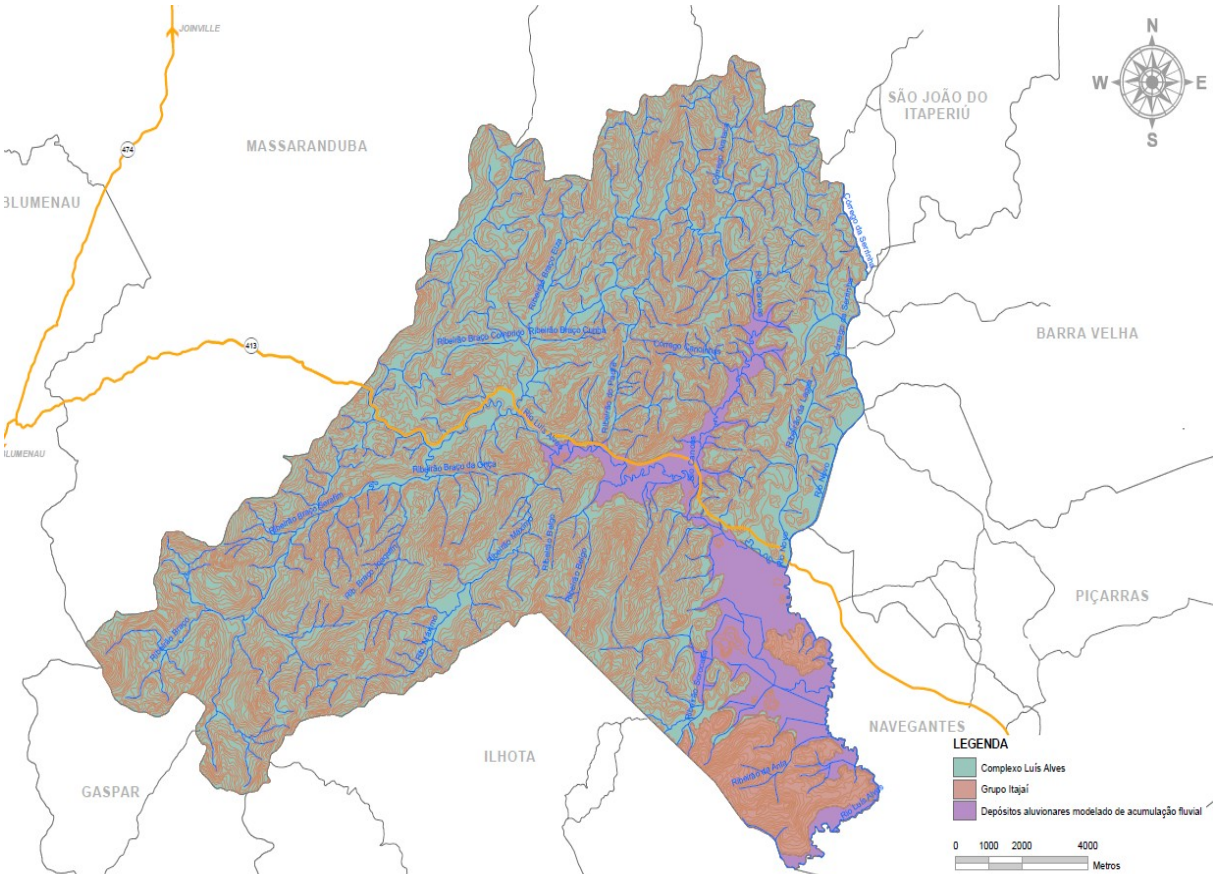
Arenitos lito–feldspáticos médios a grosseiros, de coloração bordô predominante, com eventuais intercalações de ortoconglomerado petromítico com abundantes clastos subangulosos a subarredondados em matriz arenítica lito-feldspática, principalmente na porção média; intercalações de paraconglomerados com clastos angulosos de composição variada e matriz argilosa bordô, próximo à

base, eventuais intercalações de tufos riodacíticos, na porção superior (SCHEIBE, 1986).

8.1.3.2 Formação superior

Da base para o topo: sequência de rochas efusivas básicas e intermediárias com pequenas participação de vulcanitos ácidos e rochas sedimentares epivulcanoclásticas; sequência rítmica de arenitos finos e pelitos de coloração verde e cinza com intercalações de tufos e derrames básicos e intermediários, cortada por diques de mesma composição, sequência de vulcânicas e piroclásticas ácidas, principalmente traquitos e riolitos e subordinadamente felsitos, traquiandesitos, dacitos e meláfiros com raras intercalações de folhelhos e siltitos avermelhados, sequência rítmica de folhelhos e siltitos esverdeados com intercalações de tufos (SCHEIBE, 1986).

Na área de planície ocorre coberturas sedimentares recentes, do período Quaternário, época Holoceno (últimos 11 mil anos). Os sedimentos são depositados em ambiente fluvial e são constituídos por argilas, siltes, areias e cascalhos(PLANO DIRETOR de Luís Alves, 2007). A Figura 18 ilustra as unidades geológicas do município.



Fonte: www.luisalves.sc.gov.br, acesso em 23 fevereiro de 2010

Figura 18: Representação das Unidades Geológicas do Município de Luís Alves.

8.1.4 Geomorfologia

Os compartimentos de relevo predominantes no município podem ser classificados em Embasamentos em Estilos Complexos formando a unidade Geomorfológica Serra do Leste Catarinense, modelado de dissecação em morrarias e montanhas, e os depósitos sedimentares formando a Unidade Geomorfológica Planície Colúvio Aluvionar, com modelado de acumulação fluvial. As Serras do Leste Catarinense constituem um prolongamento da Serra do Mar. As feições morfológicas ocorrem na forma de estruturas de serra formada por morros e montanhas com topos convexos e/ou em cristas alongadas com direção geral NE. As encostas geralmente são íngremes, com leitos de drenagem na forma de "V", geralmente encaixados nas estruturas geológicas (SANTA CATARINA, 1986).

Já o modelado de acumulação fluvial é caracterizado por áreas planas resultantes da acumulação fluvial, sujeitas a inundações periódicas, correspondentes às planícies e terraços de várzeas. Essas são as áreas onde se intensificou a ocupação urbana e a agricultura. (PLANO DIRETOR de Luís Alves, 2007).

8.1.5 Solos

No território de Luís Alves predominam 2 tipos de solo, sendo eles:

✔ Cambissolo Álico: São solos minerais não hidromórficos, caracterizados pela ocorrência de um horizonte B incipiente, definido pelo baixo gradiente textural, pela média a alta relação silte/argila ou pela presença de minerais primários de fácil decomposição. Normalmente apresentam horizontes A, B e C, contudo o B está ainda em formação e por isso é raso. Geralmente apresentam baixa fertilidade, textura frequentemente argilosa a siltosa e ocorrem em relevo forte ondulado e montanhoso (SANTA CATARINA, 1986).

✔ Glei Pouco Húmico distrófico e eutrófico: Solos hidromórficos com elevado teor de matéria orgânica no horizonte superficial. São solos com horizontes pouco espessos que apresentam de média a boa fertilidade natural. Ocorrem em relevos planos e margeando os rios, nas planícies. São limitados para o uso em função da má drenagem (SANTA CATARINA, 1986).

8.1.6 Vegetação

O tipo de floresta nativa que recobria o município de Luís Alves é a Mata Atlântica, sendo subdivida em Floresta Ombrófila Densa e Ombrófila Densa Sub-Montana. Essas formações florestais ocupavam praticamente todo o município e apresentam a maior diversidade vegetal das formações da Floresta Atlântica. São espécies típicas desse tipo de floresta: canela preta (Ocotea catharinensis – Lauraceae), sapopema (Sloanea guianensis – Elaeocarpaceae), guapuruvu (Schizolobium parahyba – Caesalpiniaceae), bocuva (Virola bicuhyba –

Myristicaceae), tapiá, licurana (Hyeronima alchorneoides – Euphorbiaceae), jequitibá (Cariniana estrellensis – Lecythidaceae), caoví (Pseudopiptadenia warmingii – Mimosaceae), cangerana (Cabralea canjerana), cedro (Cedrela fissilis – Meliaceae) e guaricica (Vochysia bifalcata – Vochysiaceae) (SANTA CATARINA, 1986).

Nas regiões mais baixas da bacia do Rio Luís Alves ocorre outra formação de Floresta Ombrófila Densa a Floresta Submontana Aluvial (ciliar ou próxima ao corpo hídrico), com elementos florísticos mais hidrófilos (PLANO DIRETOR de Luís Alves, 2007). Nas regiões em que o rio perde sua energia e forma áreas de planícies mais extensas (parte mais ao Sul do município), podem aparecer algumas formações de várzeas, com seus componentes genuinamente herbáceos e arbustivos, muito adaptados às áreas úmidas (banhados, planície aluvial, etc). Boa parte da vegetação do município é secundária e existem grandes áreas ocupadas por reflorestamento de pinus e eucaliptos (PLANO DIRETOR de Luís Alves, 2007).

8.2 REGISTROS DE DESASTRES AMBIENTAIS NO MUNICÍPIO DE LUIS ALVES

Como a área de estudo é relativamente pequena, serão relatados os dados referentes aos desastres ocorridos no município de Luis Alves que já tem registros desse tipo de evento desde os primeiros anos de sua colonização:

Em 1880, houve uma grande inundação que gerou muitos prejuízos para os que ali viviam. As chuvas duraram de 22 a 23 de setembro. Morreram 25 colonos (afogados e soterrados), houve deslizamentos de terra, e diversas plantações e pastagens próximas às margens dos rios foram soterradas com sedimentos que vieram com as águas[7].

No ano de 1911, Luís Alves viu-se outra vez sob o domínio das águas. Não se registrou vítimas humanas neste evento. Os prejuízos foram todos indenizados com auxílio vindos de diversos pontos do país e de Hamburgo na Alemanha.

Novas inundações ocorreram em 1927 e 1948 com o nível das águas alcançando proporções semelhantes ao evento de 1911.

A ocorrência de chuvas torrenciais no dia 2 de fevereiro de 1970 em todo o município fez com que os rios enchessem rapidamente. O nível das águas superou

[7] www.luisalves.sc.gov.br, acesso em 23 fevereiro de 2010

aquele de 1880. Muitos animais morreram afogados, plantações ficaram debaixo das águas. Não houve vítimas humanas.

Os anos de 1983 e 1984 foram muito chuvosos, mas o nível das águas, segundo os moradores antigos, não superou a inundação de 1970. Nesse evento também não houve vítimas humanas. Mas houve prejuízos incalculáveis com animais, plantações, etc.

Em 21, 22 e 23 de novembro de 2008 ocorreu uma das maiores tragédias na região do Vale do Itajaí, da qual Luís Alves faz parte. No município, o nível das águas superou a inundação de 1983/1984, porém não superou a de 1970. A ocorrência de deslizamentos nas encostas produziu uma grande quantidade de sedimentos que assorearam as pastagens e plantações nas planícies. Neste evento, foram registrados 11 óbitos no município por deslizamentos de terra, porém nenhuma por afogamento. O município ficou cerca de 5 dias sem energia elétrica, 6 dias sem os serviços telefônicos, 5 dias isolado por meio terrestre dos demais municípios, casas foram destruídas ou danificadas e centenas de pessoas ficaram desabrigadas. Várias pontes caíram, estradas e ruas ficaram sem condições de tráfego em função da abertura de crateras e assoreamentos provocados por deslizamentos.[8]

A área da imagem IKONOS corresponde às comunidades de Laranjeiras, Rio do Peixe e Boa Vista. As mesmas foram muito afetadas pelo desastre de 2008. Segundo dados fornecidos pela prefeitura de Luis Alves as comunidades de Laranjeiras e Rio do Peixe estavam entre as mais atingidas pelo desastre, 30 famílias em Laranjeiras e 25 no Rio do Peixe sofreram com perdas ou danos causados pelo desastre. Em Boa Vista, foram apenas 5 famílias atingidas. No município todo foram 3.233 pessoas desalojadas e 239 pessoas desabrigadas no desastre de 2008. As Figura 19 e 20 mostram a erosão na margem do rio Luís Alves , a casa e evidência fica localizada na comunidade Rio do Peixe.

[8] www.luisalves.sc.gov.br, acesso em 23 fevereiro de 2010

Fonte: Prefeitura Municipal de Luis Alves – SC, 2008.
Figura 19: Erosão na margem do Rio Luis Alves.

Fonte: Prefeitura Municipal de Luis Alves – SC ,2008.
Figura 20: Erosão das margens do rio Luís Alves pelo fluxo torrencial ocorrido em novembro de 2008 - Bairro Rio do Peixe

Pontes e estradas foram destruídas, dificultando o acesso a várias localidades. A Figura 21 ilustra o entulho que restou de uma ponte que passava sobre o rio Luís Alves. A Figura 22 também exemplifica os danos que o desastre causou a rodovia SC -413.

Fonte: Prefeitura Municipal de Luis Alves – SC, 2008.

Figura 21: Ponte sobre o Rio Luís Alves destruída pelo fluxo torrencial– Localidade Rio do Peixe

Rio do Peixe Fonte: Prefeitura Municipal de Luis Alves – SC, 2008.

Figura 22: Rodovia SC – 413 atingida por uma ruptura causada por instabilidade da encosta – Localidade Rio do Peixe

As Figuras 23 a 29 demostram os estragos causados por movimento de massa na sub-bacia do Ribeirão Sorocaba.

Fonte: Prefeitura Municipal de Luis Alves –SC, 2008.

Figura 23: Casa danificada por causa de deslizamento das margens do rio - Bairro Rio do Peixe

Fonte: Prefeitura Municipal de Luis Alves – SC, 2008.

Figura 24: Deslizamento de Encosta – Bairro Boa Vista

Fonte: Prefeitura Municipal de Luis Alves, 2008.

Figura 25: Deslizamento e assoreamento da estrada – Bairro: Laranjeiras

Fonte: Prefeitura Municipal de Luis Alves –SC, 2008.
Figura 26: Deslizamento na encosta atingindo a residência do Sr. Antônio Pires. Bairro Laranjeiras.

Fonte: Prefeitura Municipal de Luis Alves – SC, 2008.
Figura 27: Engenho Destruído por deposição de material deslizado da encosta. Bairro Laranjeiras.

Fonte: Prefeitura Municipal de Luis Alves – SC, 2008.
Figura 28: Arrozal destruído por assoreamento no Bairro Laranjeiras

Fonte: Prefeitura Municipal de Luis Alves – SC, 2008.
Figura 29: Galpão destruído por deslizamento no Bairro Laranjeiras

9 METODOLOGIA

No decorrer deste capítulo apresentam-se os materiais utilizados e métodos que foram realizados para o desenvolvimento da dissertação.

9.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais e equipamentos descritos a seguir foram fundamentais para que a pesquisa se concretizasse.

- ✔ Imagens - foi utilizado um par estereoscópico de imagens, que abrange uma área de 100 km^2 (Figura 30), obtidas pelo sensor IKONOS II. As imagens foram tomadas no dia 22/07/2010. Cada imagem é composta por 4 bandas (blue, red, green, nir) com resolução espacial de 1 metro. A imagem também apresenta os arquivos do Rational Polynomial Coefficients - RPC e o de METADADOS em txt.
- ✔ SRTM - Modelo Digital de Elevação (MDE) da NASA. Nessa pesquisa foi utilizado MDE da bacia do Rio Itajaí - Açu, disponibilizado no site da EPAGRI. O mesmo tem resolução espacial de 30 metros.
- ✔ Softwares:

1.Para a geração do MDE e para ortorretificação da imagem foi utilizado o software ERDAS/ LPS, versão 2010. É importante ressaltar que os métodos

desenvolvidos podem ser aplicados em outros softwares de geoprocessamento que desempenhem as mesmas funções;

2.Para edição do MDE, geração dos mapas de declividade e hipsométrico e vetorização das ocorrências de deslizamentos, foi utilizado o software ArcGis, versão 10.

Os softwares foram escolhidos por apresentarem as funcionalidades necessárias ao desenvolvimento do trabalho e por se encontrarem disponíveis no Laboratório de Geoprocessamento - Geolab/UDESC, onde foi desenvolvida a parte técnica da pesquisa.

- ✔ Equipamentos:

- ✔ Estação de trabalho fotogramétrica com a seguinte configuração - Processador AMD Phenom (tm) IIX4 955 - 3.20 GHZ – 500 GB Hard Drive - 4 GB de RAM, Sistema Operacional de 64 Bits, Monitor de 21 polegadas (modelo SyncMaster 2233), placa de vídeo GEFORCE 3D Vision Ready NVDIA com boa performance para trabalhos que exijam a visualização em 3D.

- ✔ GPS - Para a coleta de pontos no campo foram utilizados um par de Receptor GNSS Leica GS15 L1/L2; com precisão horizontal de 3 mm + 0.1 ppm. E precisão vertical de 3.5 mm - 0.4 ppm, além do tripé, bastão e bipé.

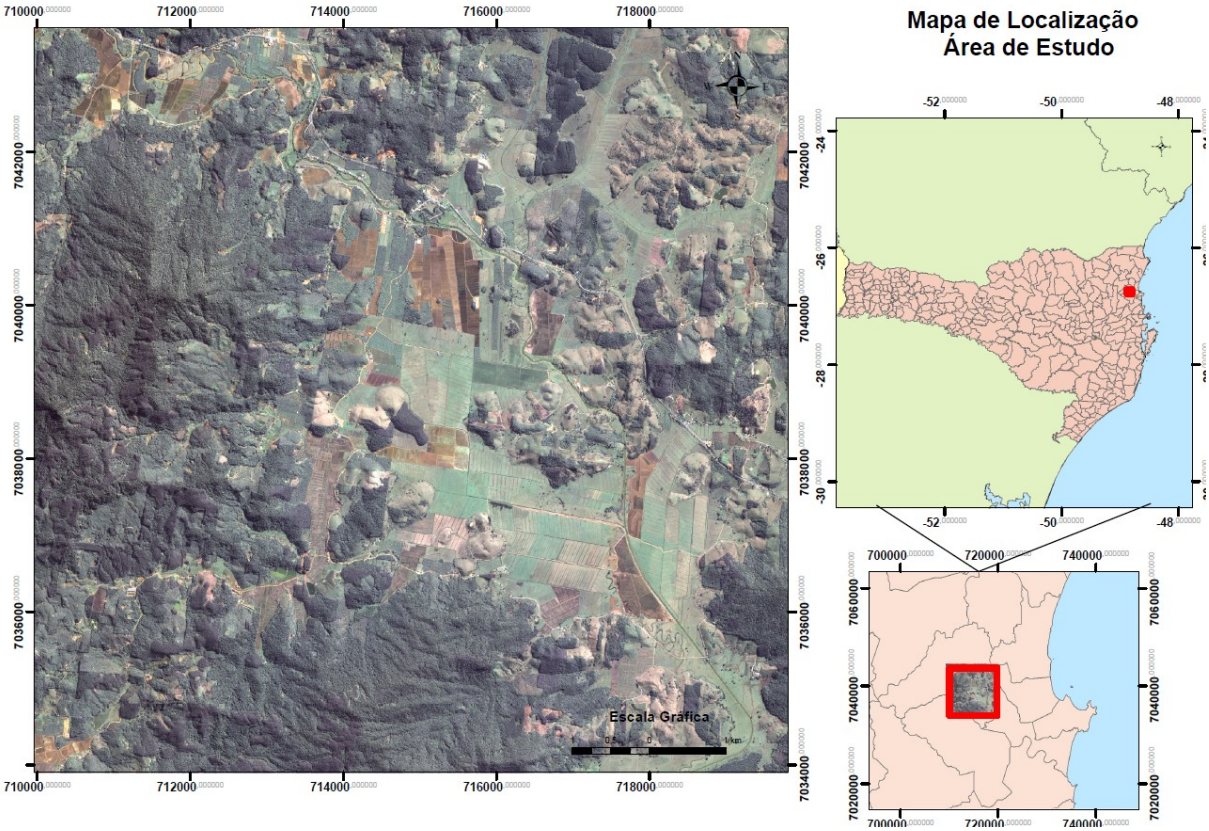


Figura 30: Mapa de localização da Imagem IKONOS

9.2 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O fluxograma da Figura 31 resume todas as etapas da pesquisa:

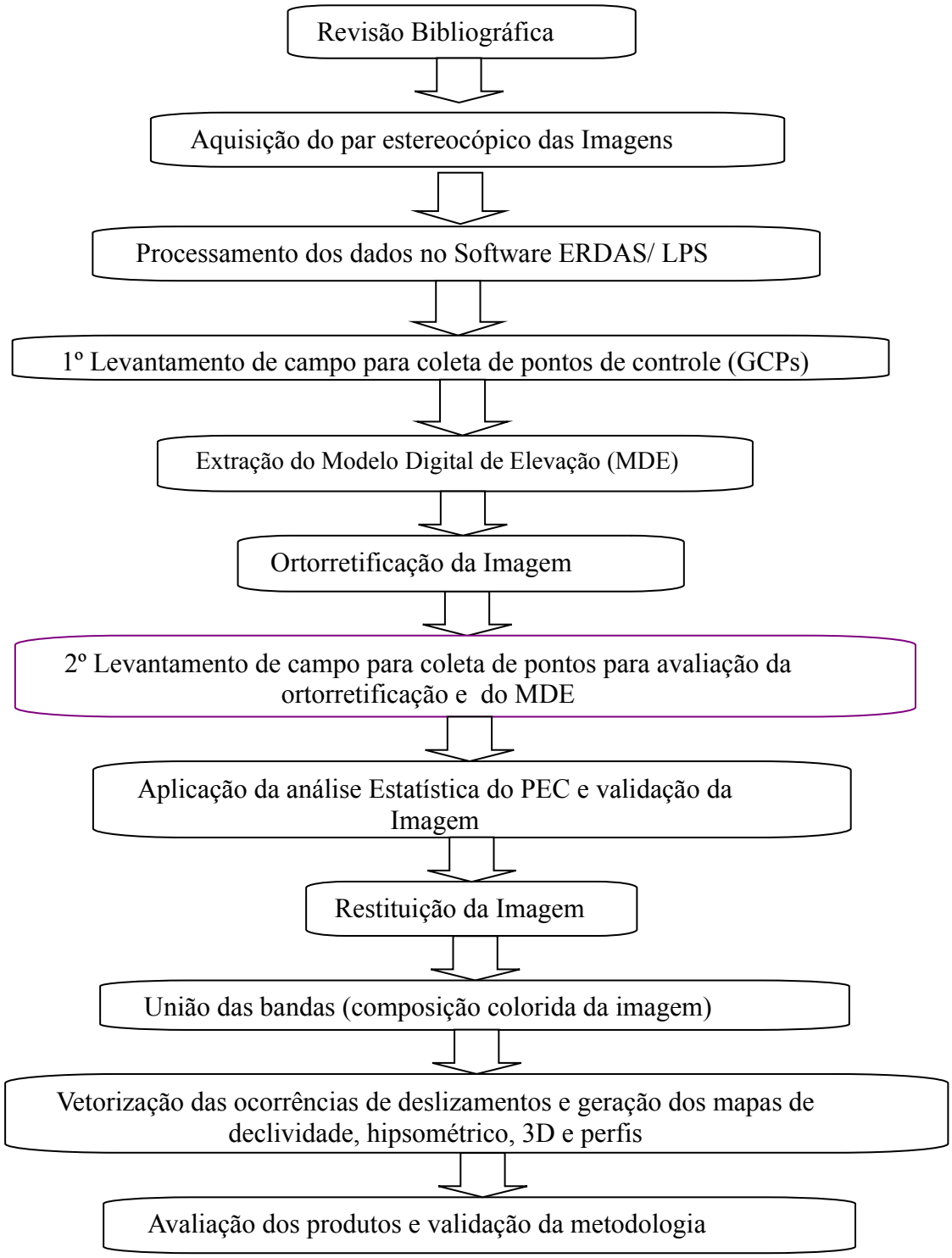


Figura 31 : Fluxograma das etapas da pesquisa

9.2.1 Aquisição da Imagem IKONOS

Foi utilizado um par estereoscópico de imagens obtido pelo sensor IKONOS II. O tipo de produto adquirido foi o GeoStereo. A escolha desse produto se deve ao motivo dele ser o de menor custo entre as duas opções que o sensor oferece para a geração do Modelo Digital de Elevação. As especificações sobre o sensor e quais são os produtos gerados por ele foram relatados no início do trabalho, quando foi abordado o tema sensoriamento remoto. Agora ressalta-se as características das imagens adquirida para essa pesquisa, no Quadro 5:

Imagem	000	001
Data de obtenção da imagem	22/07/2010 às 13:34 hs	22/07/2010 às 13:35 hs
Posição estéreo	esquerda	direita
Elevação do sensor	67,22928 graus	74,02703 graus
Azimute do sensor	341,4749 graus	239,7118 graus
Azimute Solar	31,9371 graus	31,7273 graus
Elevação Solar	36,38476 graus	36,48288 graus
Sistema de Projeção de Coordenadas	Projeção Universal Transversa de Mercator DATUM WGS 84 - UTM 22 SUL	
Tamanho do pixel	1 metro	
Bits por pixel por banda	11 bits por pixel	
Método de Interpolação	Convolução Cúbica	
Formação de Mosaico	Não	
Cobertura de Nuvens	0%	
Bandas	4 bandas sendo elas: azul, verde, vermelho e nir	
Número de pixels	Coluna 10592 pixels / Linhas 10608 pixels	

Quadro 5: Características das imagens IKONOS utilizadas

9.2.2 Processamento dos dados no *Software* ERDAS/ LPS

O *Leica Photogrammetry Suite* (LPS) é um software de fotogrametria digital desenvolvido e comercializado pela empresa ERDAS Imagine. Existe mais de um modelo de LPS e cada um deles executa diferentes funções e por isso as licenças para esses produtos também são distintas. Segue a lista dos modelos disponíveis no mercado:

- ✔ LPS Project Manager
- ✔ LPS eATE
- ✔ LPS Automatic Terrain Extraction (ATE)

- ✔ LPS Stereo
- ✔ LPS Terrain Editor
- ✔ ERDAS Mosaic Pro
- ✔ ORIMA
- ✔ PRO600
- ✔ PRO600 Fundamentals
- ✔ Stereo Analyst for ERDAS IMAGINE
- ✔ Image Equalizer

Como não foi encontrado nenhum software livre que desempenha essa função de extrair o MDE por meio do par de imagens. O laboratório de Geoprocessamento e Cartografia (Geolab) com o recurso da FAPESC adquiriu a licença do LPS ATE, e foi com essa ferramenta que foi possível gerar o MDE.

A primeira etapa do trabalho se constituiu em:

- ✔ Stereo Analyst for ERDAS IMAGINE
- ✔ Image Equalizer
- ✔ Criação do bloco (blk.) no LPS.

Escolha da função Racional como modelo geométrico para imagem (Figura 32).

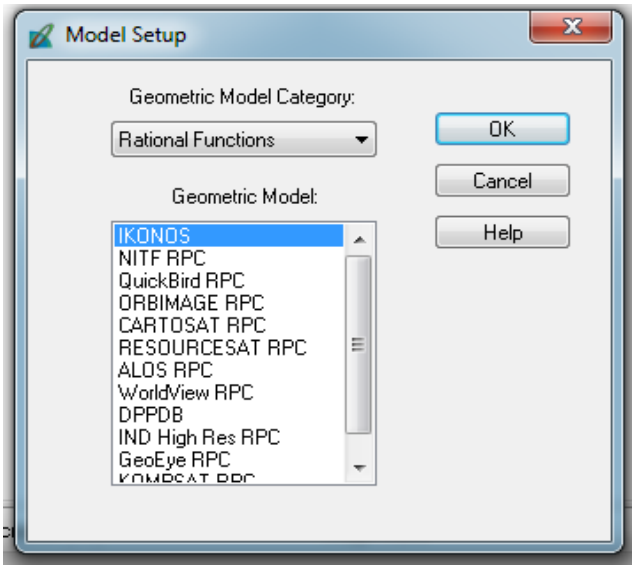
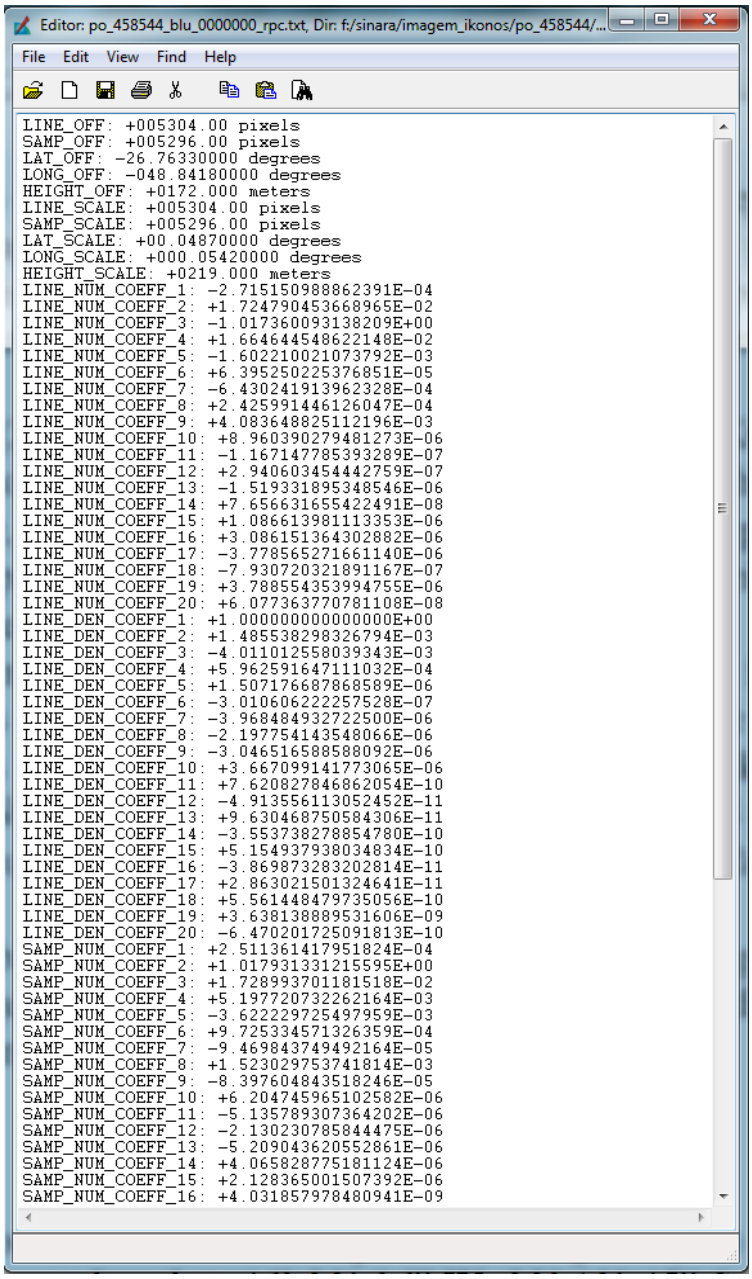


Figura 32: Escolha do modelo matemático a ser utilizado

- ✔ Seleção do sistema de projeção geográfica Datum WGS 84, projeção UTM, Zona 22 sul.
- ✔ Adição do par de imagens. Foi utilizada a banda nir (infravermelho próximo).
- ✔ Inclusão da orientação interior e exterior, por meio do arquivo RPC.

Junto com as imagens também foram fornecidos os Coeficientes Polinomiais Racionais (*Racional Polinomial Coefficient* - RPC) de cada banda (Figura 33). O mesmo expressa a relação entre o espaço-objeto e o espaço-imagem. Os RPC vem separadamente em um arquivo em formato txt. Neste arquivo estão os dados sobre a representação geométrica entre o terreno e a imagem. Esse arquivo possibilitou o processo fotogramétrico por meio dos pacotes de processamento de imagens do LPS (Figura 34) , sem a necessidade de ter acesso ao modelo físico da câmera do satélite (LUTES, 2004).



Editor: po_458544_blu_0000000_rpc.txt, Dir: f:/sinara/imagem_ikonos/po_458544/...

File Edit View Find Help

```
LINE_OFF: +005304.00 pixels
SAMP_OFF: +005296.00 pixels
LAT_OFF: -26.76330000 degrees
LONG_OFF: -048.84180000 degrees
HEIGHT_OFF: +0172.000 meters
LINE_SCALE: +005304.00 pixels
SAMP_SCALE: +005296.00 pixels
LAT_SCALE: +00.04870000 degrees
LONG_SCALE: +000.05420000 degrees
HEIGHT_SCALE: +0219.000 meters
LINE_NUM_COEFF_1: -2.715150988862391E-04
LINE_NUM_COEFF_2: +1.724790453668965E-02
LINE_NUM_COEFF_3: -1.017360093138209E+00
LINE_NUM_COEFF_4: +1.664644548622148E-02
LINE_NUM_COEFF_5: -1.602210021073792E-03
LINE_NUM_COEFF_6: +6.395250225376851E-05
LINE_NUM_COEFF_7: -6.430241913962328E-04
LINE_NUM_COEFF_8: +2.425991446126047E-04
LINE_NUM_COEFF_9: +4.083648825112196E-03
LINE_NUM_COEFF_10: +8.960390279481273E-06
LINE_NUM_COEFF_11: -1.167147785393289E-07
LINE_NUM_COEFF_12: +2.940603454442759E-07
LINE_NUM_COEFF_13: -1.519331895348546E-06
LINE_NUM_COEFF_14: +7.656631655422491E-08
LINE_NUM_COEFF_15: +1.086613981113353E-06
LINE_NUM_COEFF_16: +3.086151364302882E-06
LINE_NUM_COEFF_17: -3.778565271661140E-06
LINE_NUM_COEFF_18: -7.930720321891167E-07
LINE_NUM_COEFF_19: +3.788554353994755E-06
LINE_NUM_COEFF_20: +6.077363770781108E-08
LINE_DEN_COEFF_1: +1.000000000000000E+00
LINE_DEN_COEFF_2: +1.485538298326794E-03
LINE_DEN_COEFF_3: -4.011012558039343E-03
LINE_DEN_COEFF_4: +5.962591647111032E-04
LINE_DEN_COEFF_5: +1.507176687868589E-06
LINE_DEN_COEFF_6: -3.010606222257528E-07
LINE_DEN_COEFF_7: -3.968484932722500E-06
LINE_DEN_COEFF_8: -2.197754143548066E-06
LINE_DEN_COEFF_9: -3.046516588588092E-06
LINE_DEN_COEFF_10: +3.667099141773065E-06
LINE_DEN_COEFF_11: +7.620827846862054E-10
LINE_DEN_COEFF_12: -4.913556113052452E-11
LINE_DEN_COEFF_13: +9.630468750584306E-11
LINE_DEN_COEFF_14: -3.553738278854780E-10
LINE_DEN_COEFF_15: +5.154937938034834E-10
LINE_DEN_COEFF_16: -3.869873283202814E-11
LINE_DEN_COEFF_17: +2.863021501324641E-11
LINE_DEN_COEFF_18: +5.561448479735056E-10
LINE_DEN_COEFF_19: +3.638138889531606E-09
LINE_DEN_COEFF_20: -6.470201725091813E-10
SAMP_NUM_COEFF_1: +2.511361417951824E-04
SAMP_NUM_COEFF_2: +1.017931331215595E+00
SAMP_NUM_COEFF_3: +1.728993701181518E-02
SAMP_NUM_COEFF_4: +5.197720732262164E-03
SAMP_NUM_COEFF_5: -3.622229725497959E-03
SAMP_NUM_COEFF_6: +9.725334571326359E-04
SAMP_NUM_COEFF_7: -9.469843749492164E-05
SAMP_NUM_COEFF_8: +1.523029753741814E-03
SAMP_NUM_COEFF_9: -8.397604843518246E-05
SAMP_NUM_COEFF_10: +6.204745965102582E-06
SAMP_NUM_COEFF_11: -5.135789307364202E-06
SAMP_NUM_COEFF_12: -2.130230785844475E-06
SAMP_NUM_COEFF_13: -5.209043620552861E-06
SAMP_NUM_COEFF_14: +4.065828775181124E-06
SAMP_NUM_COEFF_15: +2.128365001507392E-06
SAMP_NUM_COEFF_16: +4.031857978480941E-09
```

Figura 33: Dados do Racional Polinomial Coefficient (RPC)

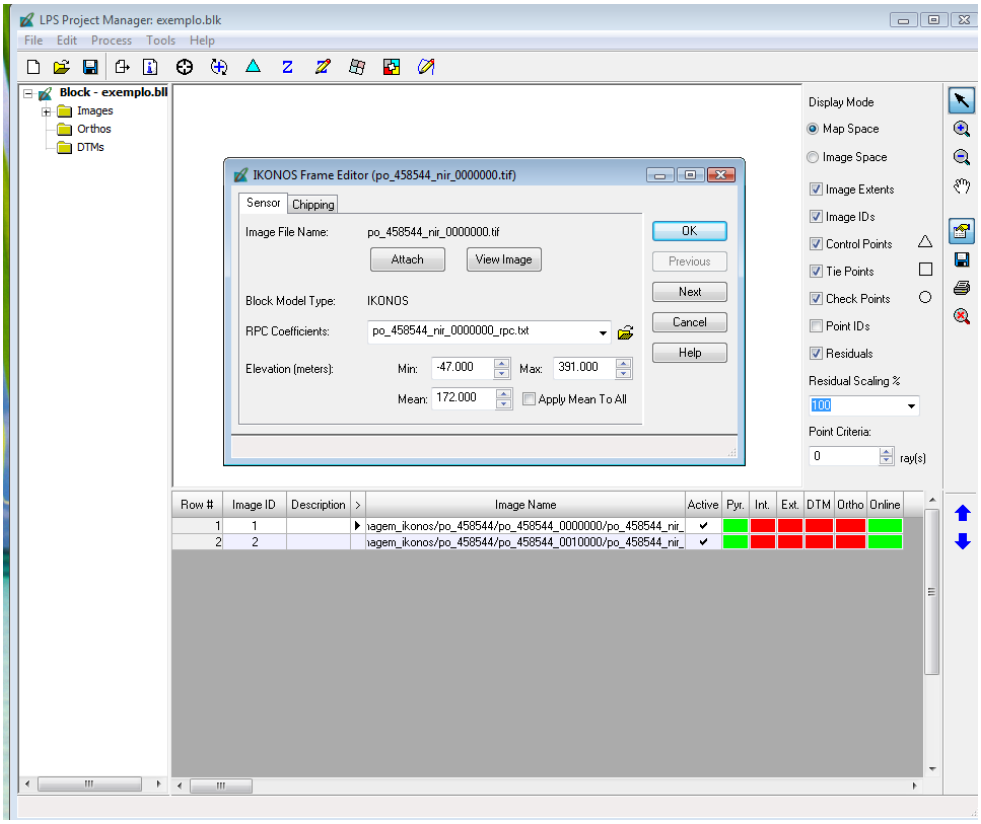


Figura 34: Inclusão do arquivo RPC no bloco do LPS

9.2.3 Levantamento dos GCPs – Pontos de controle de campo

As distorções advindas da variação entre a altitude da superfície e altitude do satélite podem ser corrigidas com o uso de pontos de controle. Os pontos de controle, segundo Gupta (1991), são feições identificáveis no terreno e na imagem que possuam coordenadas conhecidas em ambos referenciais. Esses pontos são também denominados de pontos de controle no terreno ou do inglês, *Ground Control Points* (GCP).

Logo a acurácia geométrica das imagens estéreo depende da disponibilidade e uso de GCPs. Por esse motivo foi realizado o primeiro levantamento de campo para coleta de GCPs . O planejamento do levantamento de campo foi realizado a partir da própria imagem IKONOS, selecionando pontos notáveis e bem distribuídos na área da imagem que seria posteriormente coletados em campo. Foram estipulados um número de dez GCPs, bem distribuídos entre as diferentes altimetrias da área (Figura 35).

Os dados de referência foram baixados pelo site do IBGE. A estação utilizada para o levantamento foi a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) de Curitiba (PR) cuja identificação da estação é UFPR a do ponto é SAT 93970; O levantamento foi feito no Datum SIRGAS2000, com projeção UTM, fuso 22 Sul. A base foi montada no Hotel Colinas, Luís Alves (SC) (Figura 35) e foi utilizado o método estático, ou seja, a base permaneceu rastreando por um longo tempo num mesmo local. Foi elaborado um mapa de distâncias para determinar o tempo de coleta de cada ponto em relação a base (Figura 36). Para facilitar a identificação dos pontos foi impresso para cada ponto uma folha com área do ponto na imagem (Figura 37) .Ao todo foram coletados 13 pontos, mas apenas 10 foram usados como GCPs. Os dois pontos coletados no hotel não foram utilizados, por que a área do hotel fica fora da imagem. E, um terceiro ponto foi descartado por apresentar o valor de Z não confiável. Considerou-se que o número de pontos utilizados foram suficientes, já que a cena da imagem corresponde a uma área pequena.

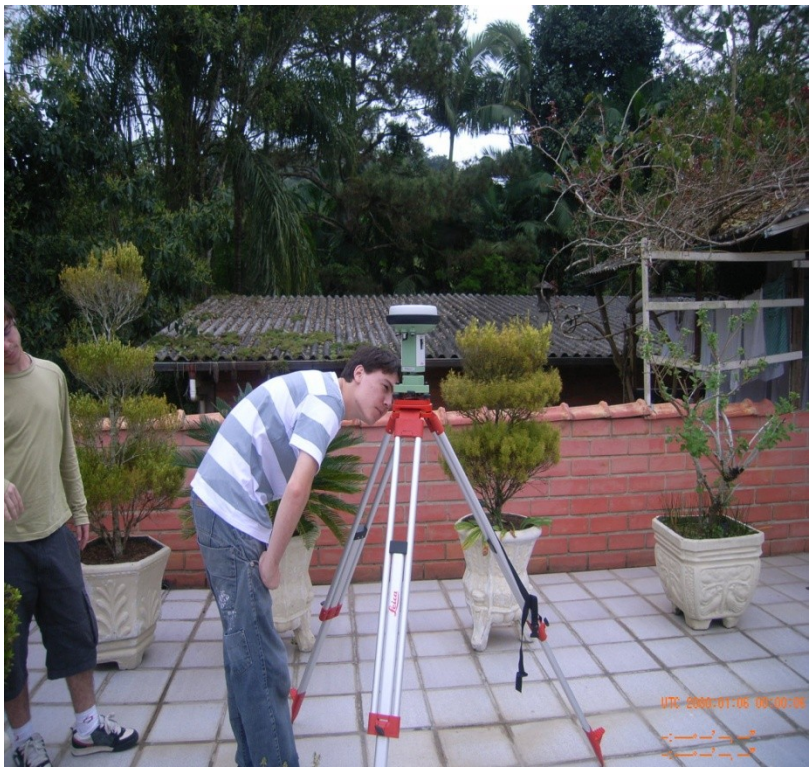


Figura 35: Base montada no Hotel Colinas em Luís Alves, SC – Março, 2011

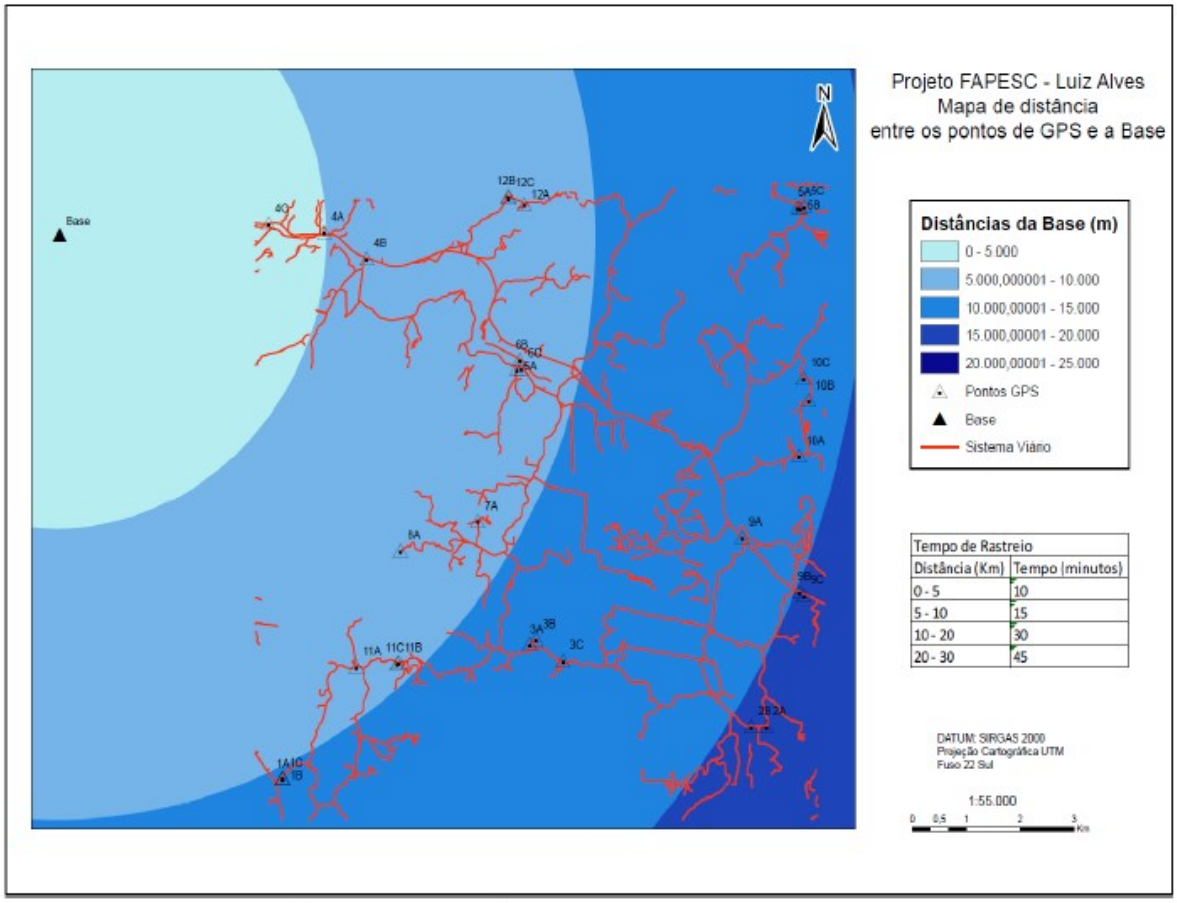


Figura 36: Mapa de distância dos pontos GCP's em relação a base

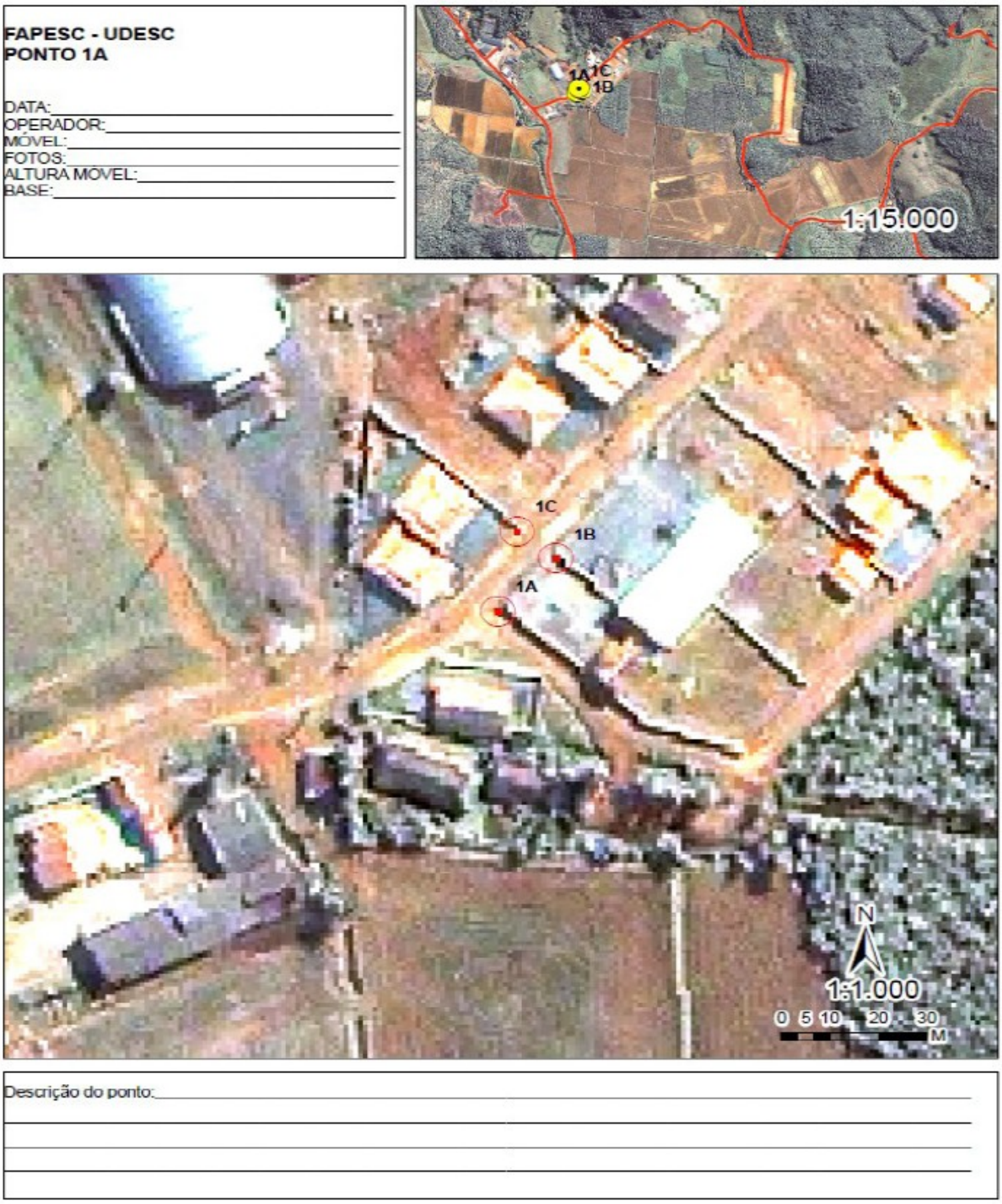


Figura 37: Folha de descrição para ponto coletado em campo

Pós-processamento dos dados: O método de levantamento utilizado foi o estático, e o seu processamento foi executado depois (pós-processamento), para isso foi usado o software LGO (Leica Geo Office Combined). O resultado final deste

processamento foi: sistema de coordenadas na projeção UTM, datum horizontal SIRGAS2000, que posteriormente foi transformado para WGS84.

Tabela 1 : Coordenadas dos pontos do 1º campo

GCPs	Leste (UTM)	Norte (UTM)	Altura Elipsoidal	Ondulação Geoidal	Distância a base (km)	Altura (H)
1A	709846,7255	7033265,1988	19,6342	0,5000	10,24935683	19,1342
2A	718831,6687	7034180,5609	8,7089	0,2600	15,68298608	8,4489
3B	714561,7944	7035679,6638	14,8182	0,3800	11,32153556	14,4382
4C	709579,1644	7042828,1385	45,8959	0,6200	3,991741783	45,2759
5B	719397,8528	7042816,5986	19,0740	0,3200	13,80521697	18,7540
6A	714218,8060	7040304,6608	15,0166	0,4400	8,922198275	14,5766
7A	713509,3996	7037679,8396	20,9217	0,4300	9,314715832	20,4917
8A	712077,2736	7037182,5884	132,2810	0,4700	8,442503498	131,8110
9B	719450,2436	7036465,7619	28,7869	0,2600	15,14921846	28,5269
10A	719434,3409	7038796,1171	22,2247	0,2800	14,35066849	21,9447
Hotel	705594,4830	7042590,8450	67,7090	0,7800	-	66,9290

Após inserção da orientação interior e exterior por meio do RPC o próximo passo foi adicionar os GCPs, representados pelos pontos GPS coletados em campo, na imagem, como mostra a Figura 38.

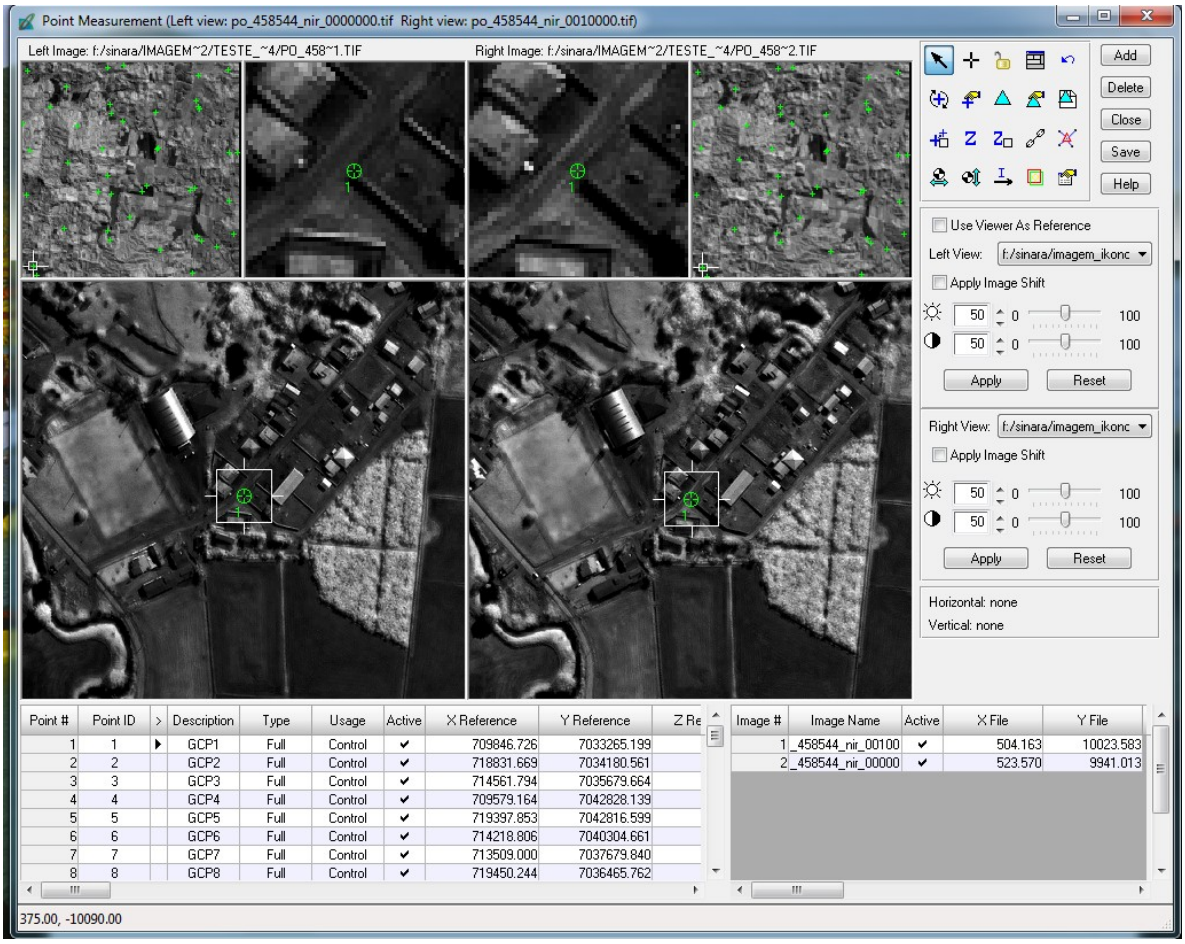


Figura 38: Janela do LPS no momento de adição dos GCPs

Foram adicionadas as coordenadas (X,Y,Z) de cada ponto coletado em campo. Em seguida foi necessário identificar esses pontos tanto na imagem da esquerda quanto da direita. Para obter-se um melhor resultado, também, foram adicionados 35 tie points (pontos de ajuste que ajudam na amarração da imagem). Alguns tie points foram colocados manualmente selecionando pontos identificáveis na imagem como cruzamento de estradas e outros foram gerados automaticamente pela ferramenta de triangulação do próprio LPS. Os tie points ficaram distribuídos proporcionalmente por toda imagem.

9.2.4 Triangulação

Em seguida foi gerada a triangulação usando o método de *Rational Function Refinement* com polinômio de 1º ordem (Figura 39). O polinômio de 1º ordem melhora as distorções causadas pela projeção óptica do sensor.

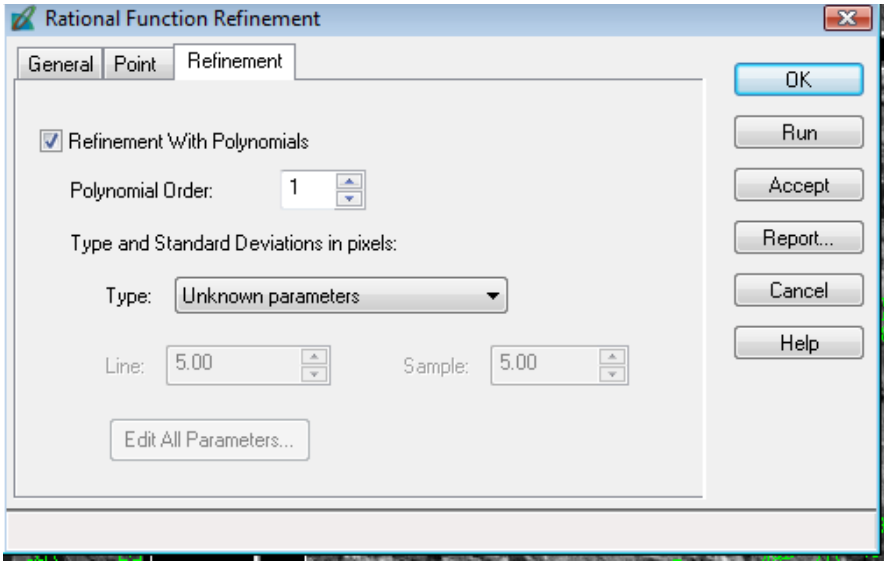


Figura 39: Janela do refinamento por função racional

O Modelo Função Racional (*Rational Function Model* - RFM) e o RPC são calculados a partir dos dados da câmera do sensor e da órbita do satélite . Segundo Pinheiro (2003), no RFM as coordenadas de um pixel na imagem (l,c) são expressas como razões polinomiais de coordenadas no terreno (X,Y,Z). Para minimizar os erros durante o cálculo e melhorar a estabilização das equações, duas coordenadas na imagem e três coordenadas no terreno são, cada uma, compensadas e escalonadas para uma variação entre -1 até + 1. Para transformação imagem/terreno, definem-se polinômios proporcionais através das Equações 1 e 2.

$$l_n = \frac{p1(x_n, y_n, z_n)}{p2(x_n, y_n, z_n)} \quad (1)$$

$$c_n = \frac{p3(x_n, y_n, z_n)}{p4(x_n, y_n, z_n)} \quad (2)$$

Onde:

$l_n e c_n$ = normalizações de índice de linhas e colunas, respectivamente, de pixel no espaço da imagem.

x_n, y_n, z_n = normalizações dos valores de coordenadas nos objetos no espaço do terreno.

Após a aplicação da função racional foi gerada uma tabela com o resultado do erro médio quadrático (RSME) dos GCPs. O pior RMSE foi da coordenada Y chegando a quase três vezes o valor do pixel (Figura 40).

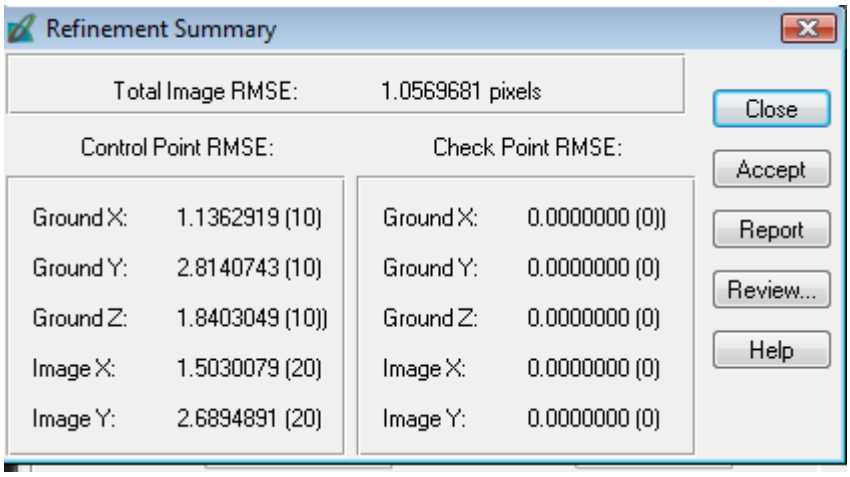


Figura 40: Resultado do RMSE dos GCPs

9.2.5 Extração do Modelo Digital de Elevação (MDE)

Depois da triangulação o próximo passo foi extrair o MDE do par de imagens. O LPS permite cinco tipos de arquivos de saída; MDE, TIN, 3D Shape, ASCII, LTF. O tipo escolhido foi o Modelo Digital de Elevação (MDE). A Figura 41 apresenta a janela do LPS com as informações sobre o tamanho da célula e o MDE global utilizado como apoio no processo de geração.

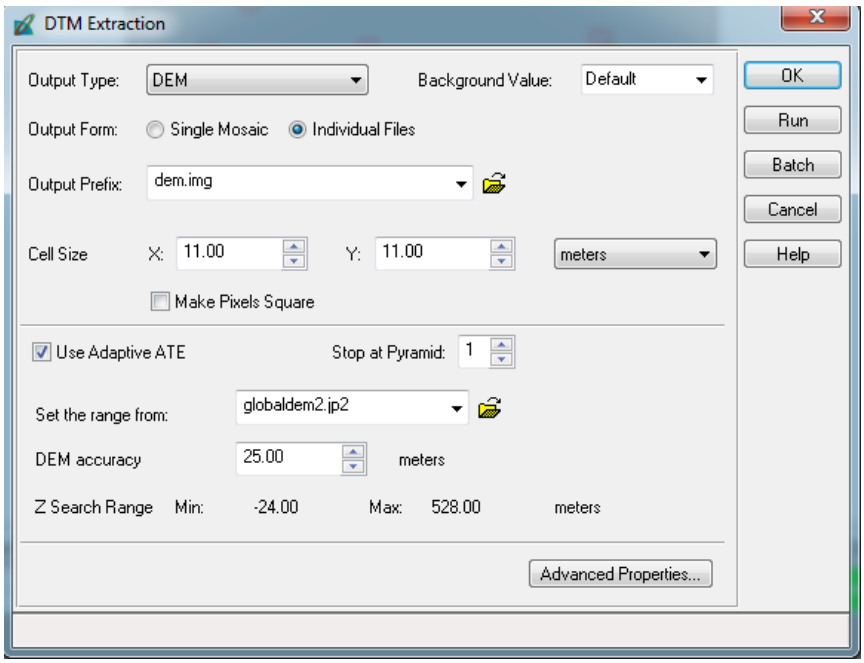


Figura 41: Janela representando o momento de extração do MDE

No intuito de melhorar a qualidade do MDE foram adicionados todos os arquivos externos existentes como o da restituição, o bloco com os GCPs e *Tie points* (Figura 42).

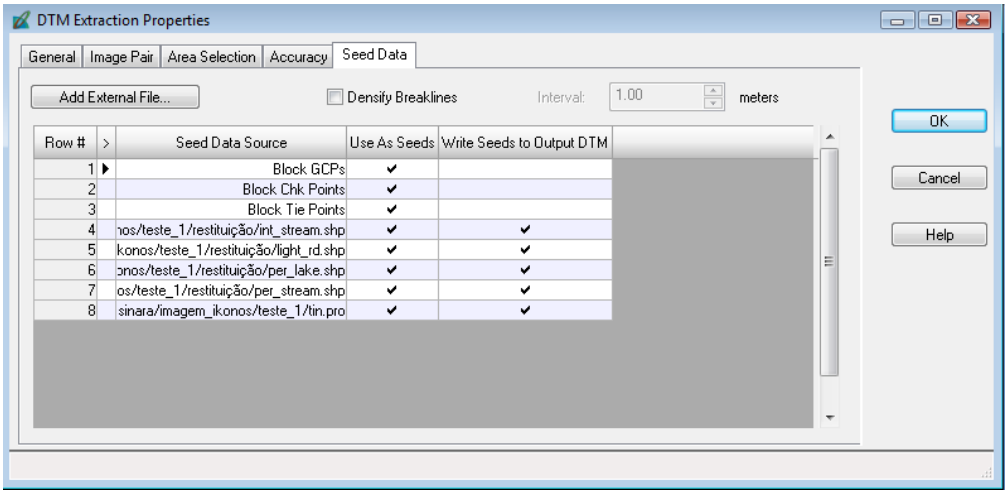


Figura 42: Propriedades do MDE

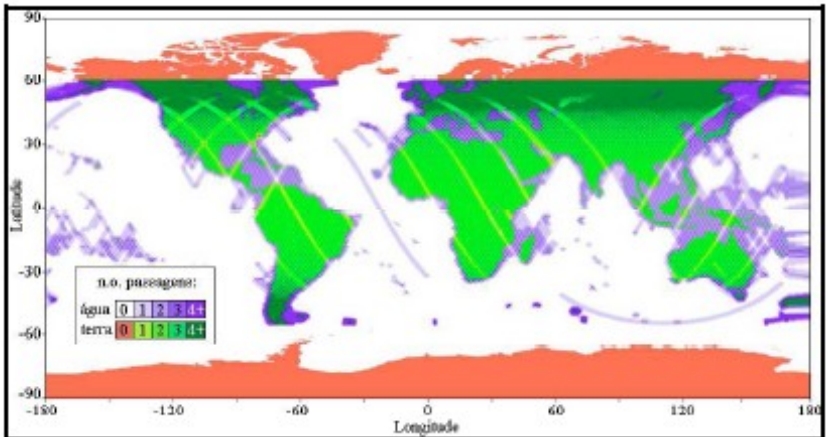
Mesmo adicionando esses arquivos externos, o MDE final apresentou a elevação mínima como negativa, indicando que existiam buracos no modelo em duas áreas distintas da imagem, na planície de inundação e no pico do morro mais elevado (íngreme). Acredita-se que o valor negativo se deve aos valores mínimo e máximo indicados no RPC. O mesmo apresenta como valor mínimo a altitude -24 metros e o valor máximo como 528 metros. Analisando a carta topográfica do IBGE verificou-se que existem cotas de 10 a 580 metros. Logo buscou-se outra alternativa para melhorar o modelo.

9.2.6 Aplicação do SRTM

A alternativa foi utilizar o SRTM como um MDE externo para melhorar a qualidade do produto gerado. Os dados da *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM* são resultantes da missão conjunta da *National Aeronautics and Space Administration- NASA* e *National Imagery and Mapping Agency - NIMA,* do *Department of Defense* dos Estados Unidos - DoD, com a participação das agências *Deutsche Zentrum für Luft-und Raumfhart -DLR*, da Alemanha, e *Agenzia Spaziale* Italiana - ASL. Essa missão gerou um modelo digital de Elevação Global, disponibilizado em níveis de cinza, com resolução de 90 metros. A partir dos dados

da banda C foram gerados Modelos Digitais de Elevação com resolução espacial de 30 metros (SOUZA, 2006).

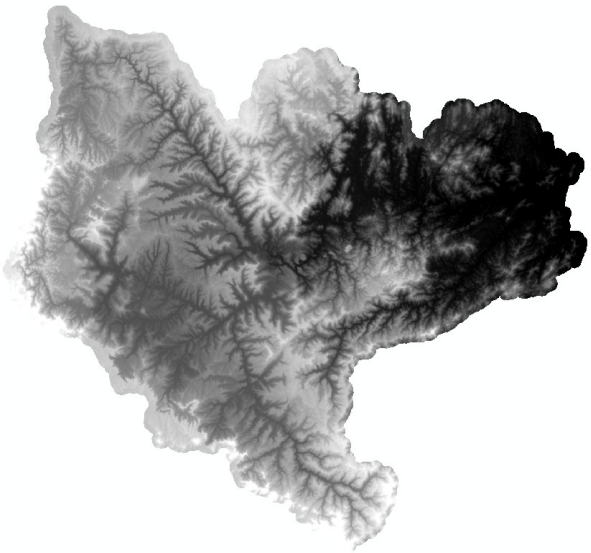
O sobrevoo da SRTM ocorreu no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, realizando uma cobertura de 80% da área terrestre do planeta, entre latitudes 60º N e 56º S. A meta era imagear cada segmento de terreno pelo menos duas vezes de ângulos diferentes (em passagens ascendente e descendente) como mostra a Figura 43.



Fonte: Souza (2006).

Figura 43: Distribuição da cobertura e número de passagens da SRTM.

O modelo do SRTM usado, contou também com apoio de campo, sobretudo por levantamentos geodésicos usando o Sistema de Posicionamento Global (GPS). De acordo com Souza (2006), os dados da SRTM com 30 metros de resolução espacial apresentam acurácia planimétrica de 20 metros (para erro circular com 90% de confiança) e acurácia de 16 metros (para erro linear com 90% de confiança). Foi baixado do site da EPAGRI/SC o SRTM da bacia do Rio Itajaí - Açu com resolução espacial de 30 metros (Figura 44).



Fonte: http://www.epagri.sc.gov.br/ acesso em 17/04/2011
Figura 44: Ilustração do SRTM da bacia do Rio Itajaí - Açu.

O próximo passo foi recortar apenas a área de interesse, representada pelo limites da imagem IKONOS, de forma a ter-se uma representação ideal das informações altimétricas da área (Figura 45).

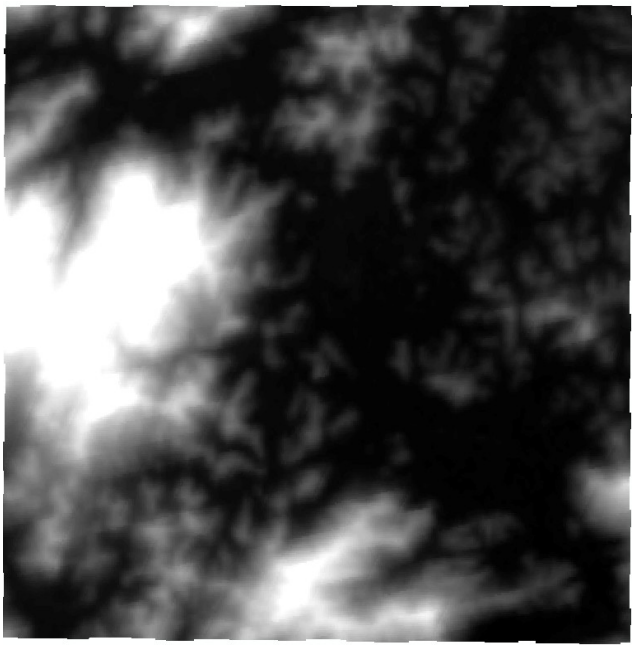


Figura 45: MDE – SRTM da área coberta pela imagem IKONOS

Com a inserção do SRTM, no modelo anterior, o valor mínimo de elevação do chegou a 0 e o valor máximo a 524 metros. Como a área de estudo fica muito

próxima do nível do mar esse valor é aceitável. Assim, foi gerado um MDE com grade regular e curvas de nível com equidistância de 10 metros (Figura 46). Foi testado a geração de curvas de nível com equidistâncias menores como 5 metros e 2 metros, mas não obteve-se um bom resultado, pois as curvas se sobrepuseram.

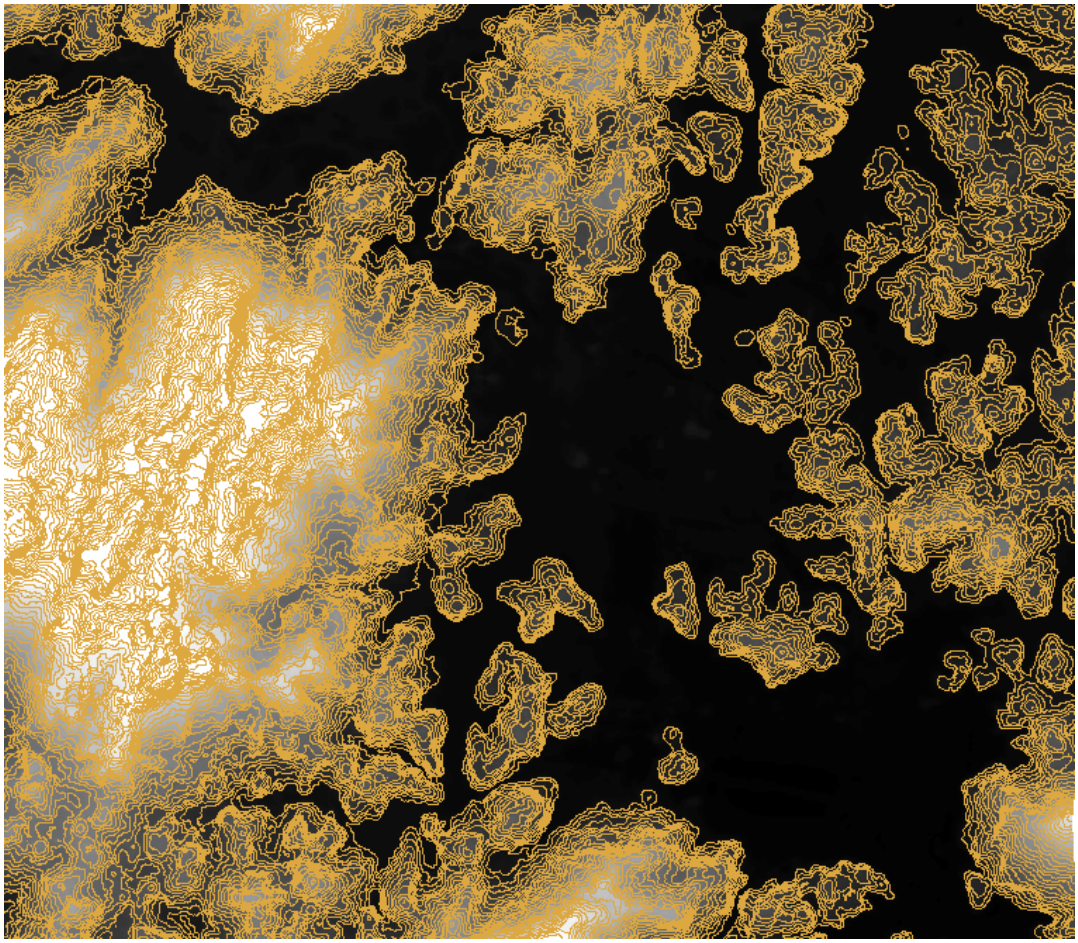


Figura 46: Ilustração do MDE e curvas de nível geradas

9.2.7 Ortorretificação da Imagem

O processo de ortorretificação de imagens de alta resolução em um software comercial como o ERDAS/ LPS se torna restrito, pois o usuário não tem acesso aos parâmetros de transformação do modelo utilizado. Os únicos dados utilizados foram a imagem a ser ortorretificada, o arquivo contendo os coeficientes polinomiais, o Modelo Digital de Elevação e o método de interpolação.

Utilizou-se o método de interpolação convolução cúbica. Neste método os 16 pixels mais próximos (janela 4x4) são levados em consideração

e a interpolação é realizada ajustando polinômios cúbicos a cada coluna, para depois interpolar um novo polinômio cúbico a estes resultados.

Por não se ter acesso ao procedimento de ajustamento bem como aos parâmetros da transformação, a única forma disponível para avaliar estatisticamente a precisão e a acurácia do MDE e da imagem ortorretificada, foi a comparação de coordenadas (X, Y, Z) levantadas em campo e na imagem.

9.3 AVALIAÇÃO DA PRECISÃO E ACURÁCIA DA IMAGEM ORTORRETIFICADA

Para a avaliação da precisão e acurácia da imagem ortorretificada foi realizado um novo levantamento de campo e posteriormente os dados foram avaliados através da aplicação da análise estatística do PEC.

9.3.1 Levantamento de campo para coleta de pontos para avaliação da imagem ortorretificada

O objetivo do segundo levantamento de campo foi coletar outros pontos GPS, para avaliação da acurácia e precisão do MDE e da imagem ortorretificada com aplicação dos parâmetros do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). Para isso, foi elaborado o mesmo procedimento do primeiro campo, com a utilização dos dados da RBMC de Curitiba e a mesma base no Hotel Colinas, em Luís Alves. Nesse levantamento de campo foram rastreados 13 pontos, que foram cuidadosamente escolhidos na imagem ortorretificada (Figura 47).

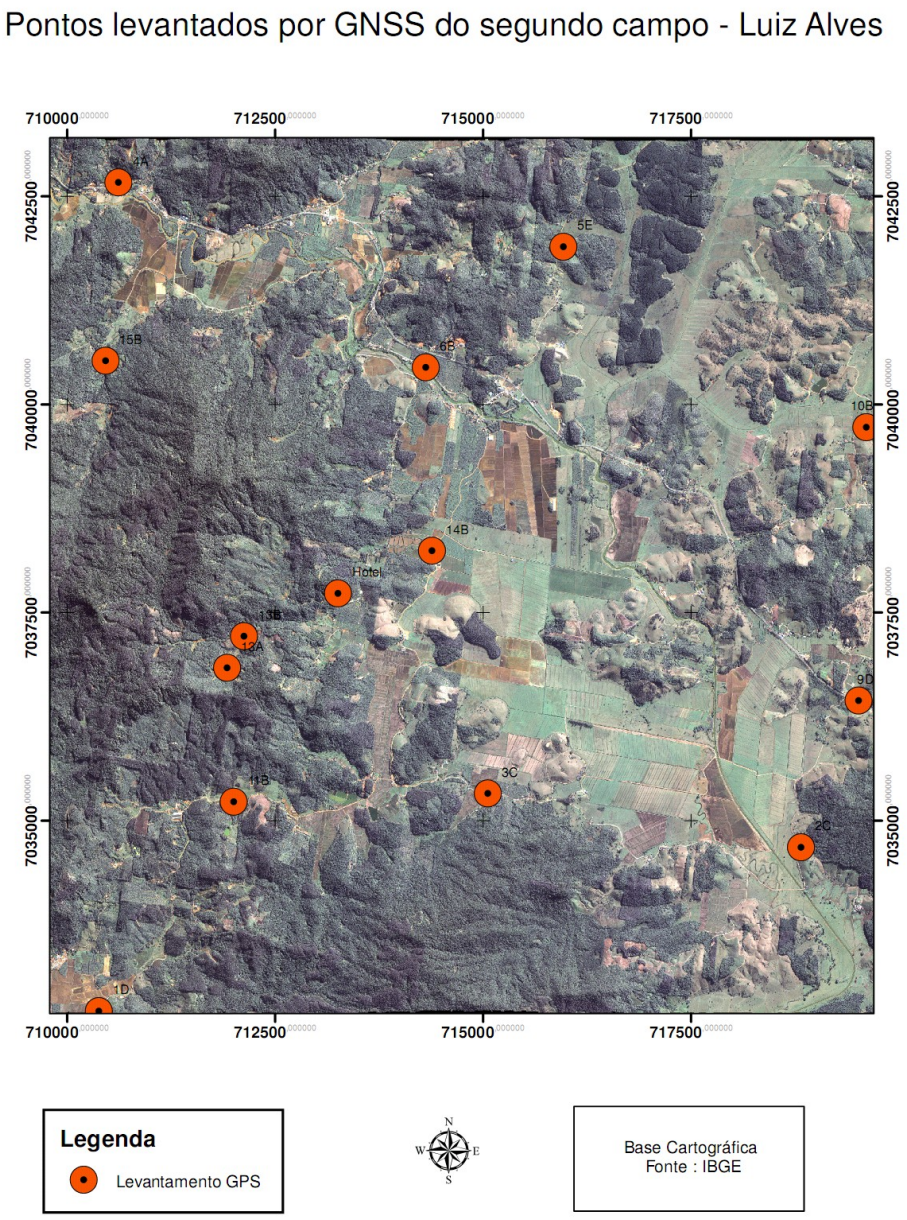


Figura 47: Mapa com a identificação dos pontos que foram coletados no 2°levantamento de campo

Os pontos foram bem distribuídos na imagem e houve também a tentativa de rastrear um ponto na altitude mais alta que fosse possível, no principal morro existente na área. Os pontos foram pós-processados no mesmo software LGO (*Leica Geo Office*). Este resultado foi repassado para uma planilha do Microsoft Excel, que então foi transformada em um arquivo *shapefile* para ser inserida no software ArcGIS 10.

A seguir apresenta-se a Tabela 2 com os resultados do levantamento GPS.

Tabela 2: Coordenadas dos pontos do 2° campo

Ponto ID	Leste (UTM)	Norte (UTM)	Altura Elipsoidal	Ondulação Geoidal	Distancia a base km	Altura (H)
1D	710377,917	7032713,591	19,206	0,48	10,974	18,73
2C	718820,310	7034680,599	7,4809	0,26	15,411	7,22
3C	715056,254	7035328,667	10,7691	0,37	11,927	10,40
4A	710613,581	7042669,196	18,9251	0,58	5,020	18,35
5E	715963,333	7041895,187	20,3693	0,41	10,392	19,96
6B	714308,183	7040447,874	14,8248	0,44	8,973	14,38
9D	719511,517	7036443,466	26,1763	0,26	15,214	25,92
10B	719604,860	7039727,062	16,7071	0,28	14,300	16,43
11B	712000,388	7035228,438	22,6221	0,45	9,759	22,17
13A	711922,434	7036837,540	165,5344	0,47	8,552	165,06
13B	712124,674	7037217,138	126,8137	0,47	8,457	126,34
14B	714381,713	7038245,081	12,2963	0,42	9,803	11,88
15B	710458,547	7040525,524	65,4414	0,57	5,284	64,87
Hotel	705594,482	7042590,482	67,70935	0,78	0,000	66,93

9.3.2 Aplicação da Análise Estatística

No Brasil, todos os documentos cartográficos devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica- PEC, definido por lei, no Decreto nº 89.817/84 onde são estabelecidas as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Por isso, foram usados os parâmetros estipulados pelo PEC para avaliar a qualidade do MDE e da imagem ortorretificada. Segundo Souza (2008), o PEC é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90 % de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos. Essa probabilidade corresponde a 1,6449 vezes o Erro-Padrão (EP):

$$PEC = 1{,}6449 * EP \tag{3}$$

É importante ressaltar que o PEC considera que o Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro Médio Quadrático são termos equivalentes. E que no mesmo decreto

as cartas, segundo a sua exatidão, são classificadas nas Classes A, B e C. Como mostra a Tabela 3, já indicando os valores estabelecidos na lei.

Tabela 3: Tabela com os parâmetros do PEC

Classe	Planimetria		Altimetria	
	PEC	EP	PEC	EP
A	0.5 mm x escala	0.3 mm x escala	1/2 da equidistância	1/3 da equidistância
B	0.8 mm x escala	0.5 mm x escala	3/5 da equidistância	2/5 da equidistância
C	1.0 mm x escala	0.6 mm x escala	3/4 da equidistância	1/2 da equidistância

Neste trabalho foi analisado a acurácia e a precisão geométrica da imagem. Segundo Galo e Camargo (1994), a precisão está ligada com a dispersão das observações em torno do valor médio, enquanto que a acurácia (ou exatidão) está relacionada com a proximidade do valor real, ou seja, sem a influência de erros sistemáticos. Para Gemael (1994), o termo precisão está vinculado apenas a efeitos aleatórios (à dispersão das observações), enquanto que a acurácia vincula-se a ambos, efeitos aleatórios e sistemáticos.

O primeiro cálculo realizado foi para a avaliação da discrepância planimétrica. Para isso foram criadas 2 colunas com os valores de E e N coletados no campo e 2 colunas com os valores da mesma localização na imagem IKONOS ortorretificada. A partir desses dados calculou-se o ΔE e ΔN que nada mais é E GPS menos E da Imagem e o N GPS menos N da imagem respectivamente. Com os valores do ΔE e ΔN calculou-se o erro linear de cada ponto.

As equações 4 e 5 foram usadas para esse cálculo.

$$\Delta E = E_{GPS} - E_{Imagem} \tag{4}$$

$$\Delta N - N_{GPS} - N_{Imagem} \tag{5}$$

Onde:

ΔE e ΔN representam discrepância,

$E_{GPS} e N_{GPS}$ coordenadas obtidas por receptor de sinais GPS,

$E_{Imagem} e N_{Imagem}$ coordenadas obtidas na imagem IKONOS

Logo após foi calculada a média e o desvio-padrão das discrepâncias. A média das discrepâncias foi calculada a partir das equações (6):

$$\overline{\Delta E} = \frac{\sum_{I=1}^{n} \Delta E}{n} \qquad \text{e} \qquad \overline{\Delta N} = \frac{\sum_{I=1}^{n} \Delta N}{n} \tag{6}$$

onde:

ΔE e ΔN são as discrepâncias médias calculadas pelos pontos.

Logo após, o desvio-padrão da média das discrepâncias foi calculado utilizando as Equações 7e 8.

$$\widehat{\sigma_{\Delta E}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\Delta E_i - \overline{\Delta E^2})}{n(n-1)}} \tag{7}$$

$$\widehat{\sigma_{\Delta N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\Delta N_i - \overline{\Delta N^2})}{n(n-1)}} \tag{8}$$

onde:

$\widehat{\sigma_{\Delta E}}$ e $\widehat{\sigma_{\Delta N}}$ são os desvios-padrão da média das discrepâncias.

Como o desvio padrão equivale ao Erro Padrão, foi esse o valor utilizado para comparação com os valores classificados pelo PEC. A Tabela 4 apresenta as coordenadas e os resultados finais dos cálculos.

Tabela 4: Coordenadas E e N e Cálculos da média e do Desvio-Padrão

	CAMPO		IKONOS -Ortorretificada		DESVIOS		
PONTO	**E**	**N**	**E**	**N**	**ΔE**	**ΔN**	**ERRO LINEAR (ET)**
1D	710377,917	7032713,591	710377,9349	7032713,084	-0,018	0,507	0,508
2C	718820,310	7034680,599	718821,4242	7034681,82	-1,115	-1,221	1,653
3C	715056,254	7035328,667	715056,4	7035326,399	-0,146	2,267	2,272
4A	710613,581	7042669,196	710615,6141	7042670,615	-2,034	-1,418	2,479
5E	715963,333	7041895,187	715963,7175	7041896,612	-0,384	-1,425	1,476
6B	714308,183	7040447,874	714308,9663	7040448,367	-0,783	-0,493	0,925
9D	719511,517	7036443,466	719512,0184	7036441,589	-0,502	1,877	1,943
10B	719604,860	7039727,062	719605,8067	7039727,059	-0,946	0,002	0,946
11B	712000,388	7035228,438	712001,4655	7035230,07	-1,078	-1,632	1,955
13A	711922,434	7036837,54	711921,2644	7036838,378	1,169	-0,838	1,439
13B	712124,674	7037217,138	712125,2586	7037217,951	-0,585	-0,812	1,001
14B	714381,713	7038245,081	714381,1535	7038247,182	0,560	-2,101	2,174
15B	710458,547	7040525,524	710458,9994	7040527,473	-0,452	-1,948	2,000
						MEDIA	**1,598**
						DESVIO PADRÃO	**0,608**

Com o valor do desvio padrão foi possível aplicar os parâmetros da tabela 3. O teste considerou o erro- padrão da classe A, ou seja , EP =0,3 mm x escala. Dividiu-se o valor do desvio padrão (0,608) por 0,0003 m (0,3 mm) e chegou-se ao valor de 2026,66666666. Logo avaliando apenas o desvio padrão é possível dizer que a escala planimétrica deve ser menor ou igual a 1: 2.500 no PEC - classe A.

Foi executado o mesmo procedimento para avaliação da exatidão altimétrica. Informando os valores de altitude levantados em campo com GPS , e os valores da mesma localização apontados no modelo digital de elevação (MDE), com isso calculou-se o ΔH , a média e o desvio padrão do Δ como mostra a Tabela 5:

Tabela 5: Coordenadas H e Cálculos da média e do Desvio-Padrão

	CAMPO	MDE	DESVIO
PONTO	**H**	**H**	**ΔH**
1D	18,726	18,494637	0,231
2C	7,221	7,863213	-0,642
3C	10,399	10,405969	-0,007
4A	18,345	19,730623	-1,386
5E	19,959	23,105076	-3,146
6B	14,385	15,533805	-1,149
9D	25,916	27,305511	-1,390
10B	16,427	16,845636	-0,419
11B	22,172	24,302011	-2,130
13A	165,064	172,112625	-7,049
13B	126,344	126,997948	-0,654
14B	11,876	15,49957	-3,624
15B	64,871	66,93528	-2,064
		MEDIA	-1,802
		DESVIO PADRÃO	1,948

A Tabela 6 demonstra os valores estipulados pelo PEC na avaliação altimétrica. Como o valor do desvio padrão tem que ser menor ou igual ao da tabela 6. Observou-se que o valor de **1,948** é menor que 3,33 e maior que 1,66. Ou seja, a carta altimétrica pode chegar a 1:25.000 na classe A e 1:10.000 nas classes B e C.

Tabela 6: Escalas com suas respectivas equidistâncias das curvas de nível, valores do PEC E EP - ALTIMETRIA

Escala	Equidistâncias Curvas de nível	PEC/EP (m) Classe A		PEC/EP (m) Classe B		PEC/EP (m) Classe C	
		PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP
1: 250.000	100 m	50	33,33	60	40	75	50
1:100.000	50 m	25	16,67	30	20	37,5	25
1:50.000	20 m	10	6,67	12	8	15	10
1:25.000	10 m	5	3,33	6	4	7,7	5
1:10.000	5 m	2,5	1,66	3	2	3,7	2,5

Adaptado de Souza (2008)

Como pode ser observado na Tabela 6, o ponto com maior discrepância foi o 13 A, que teve o ΔH = -7,049, como o PEC indica a dispersão, relativa de 90 % dos pontos, esse ponto poderia ser retirado já que no total foram 13 pontos amostrados e 10% desse valor seria 1,3. A retirada deste ponto melhoraria o valor do desvio-padrão, que passaria de 1,948 para 1,195. Isso permitiria atingir a escala de 1:10.000 na classe A, mas é importante considerar que o ponto 13 A é o ponto de maior altitude registrado no levantamento de campo e que a manutenção dele é

necessária para a avaliação do MDE gerado. Na Figura 48 é apresentado o gráfico de discrepância do ponto 13A.

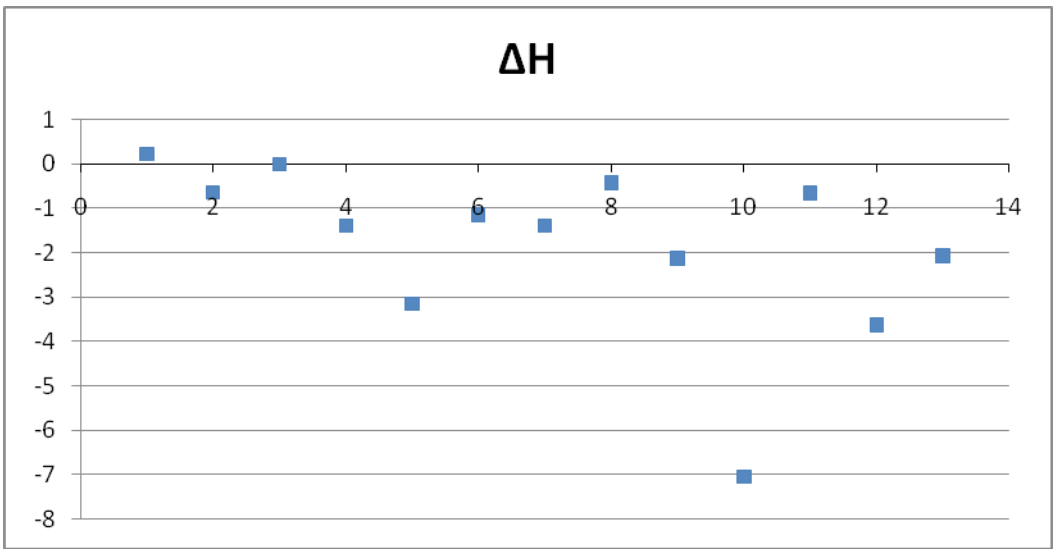


Figura 48: Gráfico de demonstração da dispersão dos valores de H

9.3.3 Teste de Precisão

Segundo Negreiros (2003), a precisão é a grandeza estatística que mede a dispersão. Para aplicar o teste de precisão, utiliza-se o teste Qui-quadrado, que obedece aos valores do Erro Padrão (EP) estabelecido no PEC. Para calcular o erro padrão (б) de cada componente utilizam-se as seguintes equações:

$$\sigma_N = \sigma_E = \frac{E\,P}{\sqrt{(2)}} \tag{9}$$

De acordo com Vieira (2009), considera-se que a imagem analisada só atenderá à precisão se o valor do teste Qui- Quadrado (X^2N, X^2E e X^2H) aplicado nela for menor que os valores da tabela padrão do Qui-Quadrado. As hipóteses para o teste do Qui-Quadrado testam se a variância das amostras é igual à variância estabelecida pelo PEC.

Para que a hipótese H_0 contra H_1 fosse testada foi calculado um qui-quadrado amostral e logo após comparando este, com o valor teórico obtido na tabela padrão de probabilidade do qui-quadrado (Anexo A).

O valor teórico é obtido em tabelas próprias, onde o grau de liberdade utilizado como argumento é (υ = n-1) e o nível de confiança (1-α). No presente trabalho o grau de liberdade utilizado foi υ = 13 -1 e o nível de confiança (1-α) = 90% . Para esse trabalho o valor teórico é obtido pelo cruzamento da coluna 0,10 com a linha 12 (Ver nos anexos a tabela padrão do Qui- Quadrado). O valor teórico obtido na tabela de qui-quadrado foi **18,55**.

Em seguida foi aplicado o teste qui-quadrado amostral utilizando as seguintes equações para as coordenadas E, N e Z:

Para a coordenada E:

H0: se $\sigma^2 E = \sigma_0^2$;

H1: se $\sigma^2 E > \sigma_0^2$;

$$\chi_2^E = \frac{(n-1)\cdot S_E^2}{\sigma_E^2} \tag{10}$$

Para a coordenada N:

H0: se $\sigma^2 N = \sigma_0^2$;

H1: se $\sigma^2 N > \sigma_0^2$;

$$\chi_2^N = \frac{(n-1)\cdot S_N^2}{\sigma_N^2} \tag{11}$$

Para a coordenada H:

H0: se $\sigma^2 H = \sigma_0^2$;

H1: se $\sigma^2 H > \sigma_0^2$;

$$\chi_2^H = \frac{(n-1)\cdot S_H^2}{\sigma_H^2} \tag{12}$$

Os valores do teste qui-quadrados amostrais calculados para três escalas sugeridas são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultado do cálculo do Qui-quadrado

Escala	ΔE	ΔN	ΔH
1:3.000	8,477148797	25,45078	50,5909119
1:10.000	2,543144639	7,635235	15,17727357
1:25.000	1,017257856	3,054094	6,070909428

Após os cálculos constatou-se que os qui-quadrados amostrais do ΔN e ΔH na escala de 1: 3000 são maiores que o valor teórico de 18,55. Portanto a escala de 1:3000 não atende o nível de precisão exigido e por isso não pode ser utilizada. Já as escalas 1:10.000 e 1: 25.000 atende o teste do qui-quadrado, pois os valores do ΔE, ΔN e ΔH obtidos foram todos menores que 18,55. Mas vale a pena lembrar que o erro-padrão do ΔH é maior do que limite determinado pelo PEC para escala 1:10.000 na classe A.

9.3.4 Teste de tendência

Na análise de tendências é verificado se a média das discrepâncias pode ser considerada estatisticamente igual à zero. Então as hipóteses a serem avaliadas são as seguintes:

$$H_0: \begin{array}{c} \overline{\Delta E} = 0 \\ \text{e} \\ \overline{\Delta N} = 0 \end{array} \quad \text{versus} \quad H_1: \begin{array}{c} \overline{\Delta E} \neq 0 \\ \text{e} \\ \overline{\Delta N} \neq 0 \end{array} \tag{11}$$

Para este teste calculou-se a estatística amostral T de E, N e H e verificou-se se o valor de T amostral de cada um está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula. Para o teste de tendência utiliza-se o teste t de Student (valores tabelados). Segundo Souza (2008), o valor limite é T (n-1, α/2) e esse é determinado através da tabela t de Student (Anexo B) para um nível de confiança (1 – α) de 90 %. O intervalo de confiança é dado por:

$$T_E, T_N \text{ e } T_H > T\alpha^{0,10}_{12} \tag{12}$$

O valores do T_E, T_N, T_H foram calculados por:

$$t_x = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta X}} \sqrt{n} \qquad (13)$$

Onde, X são os valores de E, N ou H

Os valores resultantes dessa fórmula foram:

T_E = 0,499856074

T_N = 0,499815212

T_H = 0,463899675

Todos eles foram menor que o valor do T α = 1,356 (conforme tabela em Anexo B). Isso significa que a imagem ortorretificada e o MDE foram aceitos como livre de tendência.

9.4 GERAÇÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

A partir do MDE e da imagem ortorretificada foi possível gerar produtos cartográficos, nas escalas 1.10.000 e 1.25.000 que servirão como subsídio as análises ambientais, neste caso, enfocadas na temática deslizamentos de encostas.

9.4.1 União das bandas (composição colorida da imagem)

Após a validação da imagem ortorretificada, o próximo passo foi unir as bandas para gerar uma imagem colorida. Para isso foi executada a ortorretificação de cada banda da imagem separadamente. Usando novamente método de interpolação convolução cúbica. Com as imagens ortorretificadas começou-se o processo de união por meio da ferramenta Layer Selection and Stacking do ERDAS ,como mostra a Figura 49. A sequência de associação das bandas ao RGB foram: vermelha/1, verde/ 2 e azul/3 (Figura 50).

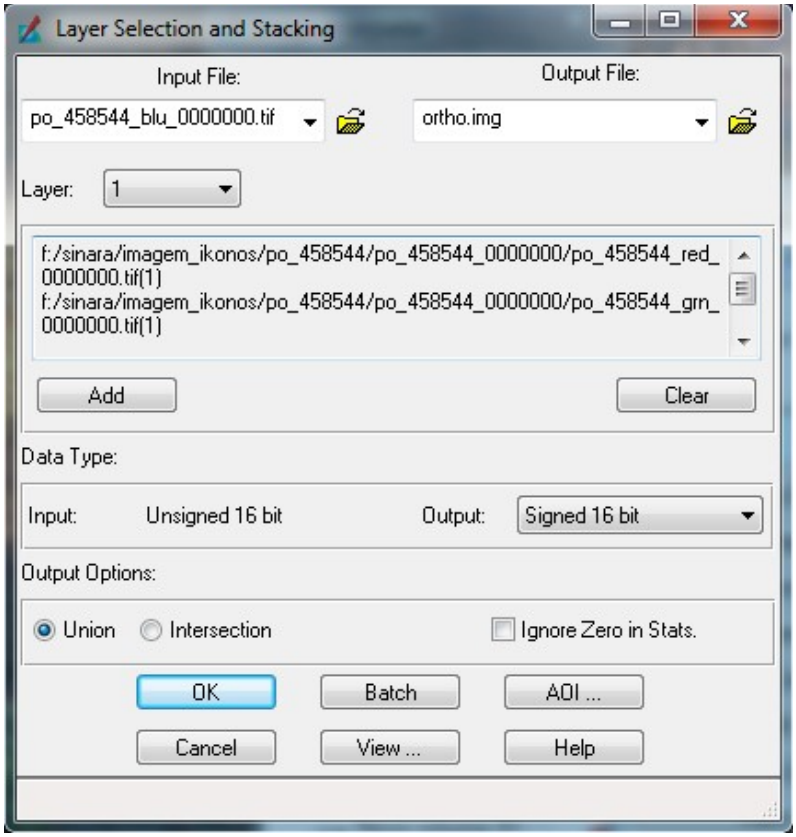


Figura 49: Processo de união de bandas

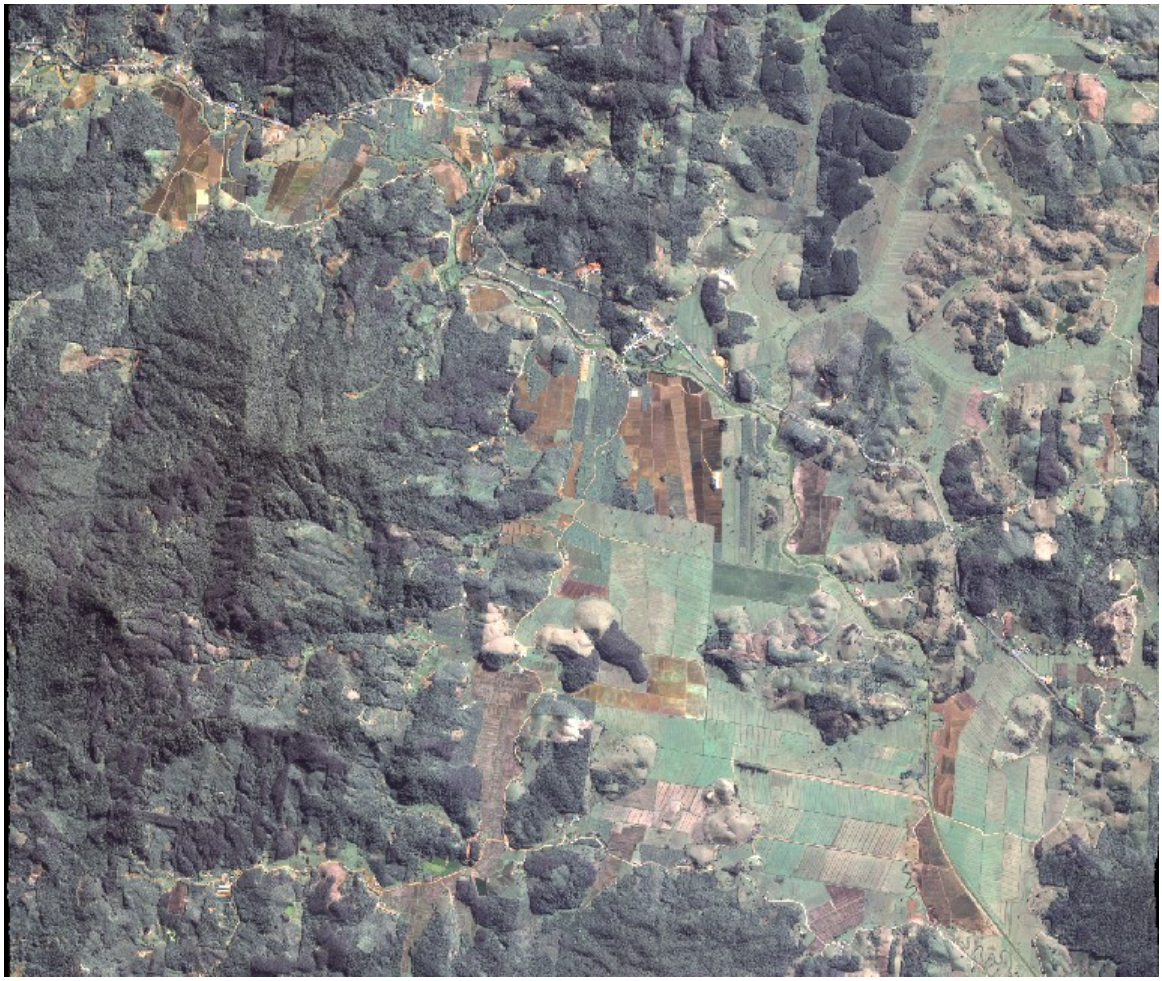


Figura 50: Imagem colorida e ortorretificada

9.4.2 Vetorização das ocorrências de deslizamentos

Com a composição colorida da imagem ortorretificada foi possível analisar e extrair informações relevantes aos deslizamentos. Como a tomada da imagem foi em julho de 2010 ainda foi possível visualizar e identificar os deslizamentos ocorridos em novembro de 2008. As cicatrizes foram classificadas em deslizamentos, deslizamentos com corridas de detritos, deslizamento em corte e erosão na margem do rio. A Figura 51 ilustra alguns polígonos vetorizados. O mapa de ocorrência dos deslizamentos será disponibilizado em meio digital como Apêndice A.

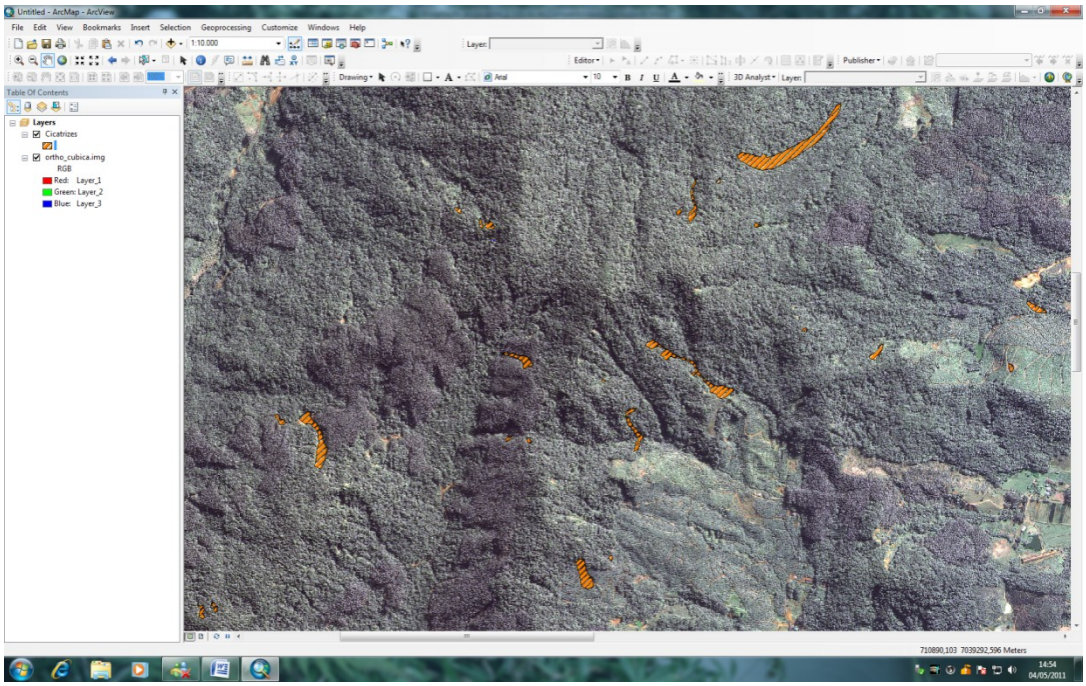


Figura 51: Vetorização das cicatrizes de deslizamentos

9.5 RESTITUIÇÃO DA IMAGEM

Por meio do Stereo Analyst do Erdas foi possível realizar a estereoscopia digital, a visualização em 3D foi realizada utilizando o óculos da GEFORCE 3D Vision NVIDIA, o que permitiu a vetorização das feições do terreno. O sinal de vídeo apresenta as imagens esquerda e direita em sincronismo. Os óculos também dispõem de obturadores sincronizados que possibilitaram a visualização em 3D.

As curvas de nível 10 de metros foram geradas automaticamente no momento da extração do MDE e foram suavizadas com a ferramenta smooth do ArcGis 10. Desta forma a partir das curvas de nível foi gerada uma grade TIN no ARCGIS, que possibilitou a geração dos mapas de declividade e hipsométrico.

9.6 MAPA DE DECLIVIDADES (APÊNDICE B)

Intervalos de declividade do terreno são definidos a partir de critérios técnicos de fragilidade ao uso e ocupação do solo visando a caracterização de áreas de risco. Segundo Souza et al. (2007), apesar do interesse dos pesquisadores na definição destes intervalos, não há consenso em relação às classes de declividade a serem adotadas.

O mapa de declividade da área de estudo (Figura 52) foi confeccionado a partir das curvas de nível geradas a partir do MDE, escala 1: 25.000, com a equidistância das curvas de nível de 10 metros. Após a interpolação e a geração da TIN (*Triangular Irregular Network*), utilizou-se a metodologia proposta por Andrade et al. (1998) para dividir e classificar os intervalos declive. Área apresentou os seguintes intervalos de declividade; 0° a 3° (Plano), 3° a 12° (Suave Ondulado), 12° a 24° (Ondulado), 24° a 45° (Forte Ondulado) e 45° a 79° (Montanhoso) .

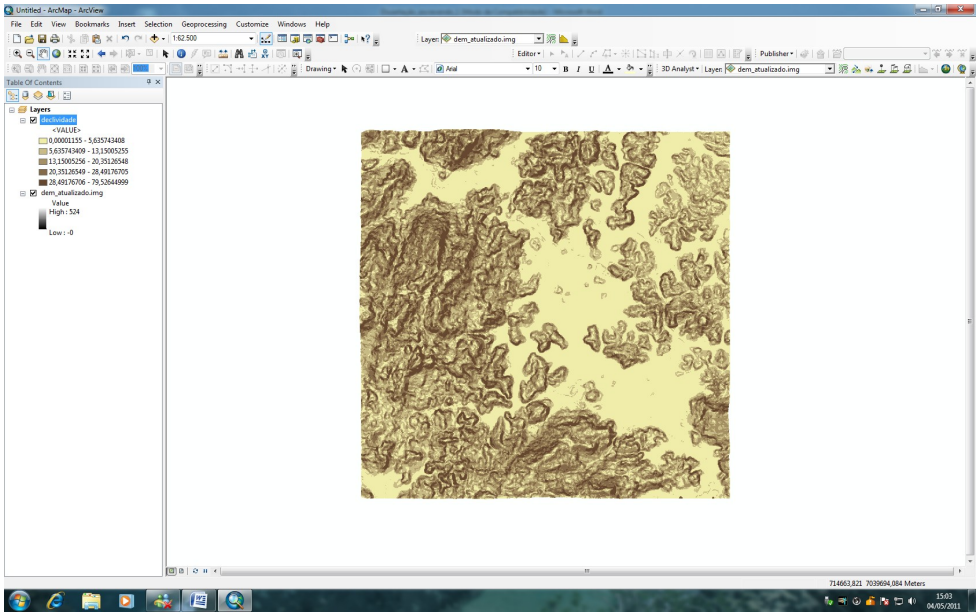


Figura 52: Ilustração da tela do ArcGis no momento de geração do mapa de declividade

9.7 MAPA HIPSOMÉTRICO (APÊNDICE C)

O mapa hipsométrico foi gerado a partir do mesmo processo de geração da TIN, e a seguir o terreno foi parcelado em faixas de equidistâncias de 10 em 10 metros. Porém verificou-se que este intervalo não representou a realidade da área da Bacia Hidrográfica. Desta forma, o intervalo de representação das classes foi readequado para 20 metros, como pode ser observado no Mapa Hipsométrico (Apêndice B), para que se pudesse traduzir com veracidade as diferenças altimétricas do terreno.

9.8 VISUALIZAÇÃO DO MDE EM 3D

A ferramenta *3D Analyst* do Arcgis possibilitou a visualização do MDE com a sobreposição da imagem ortorretificada em 3D (Figura 53). Foram feitos também os cruzamentos das informações dos deslizamentos vetorizados, da declividade e das curvas de nível (Figuras 54 e 55). A visualização em 3D facilita na identificação das formas de relevo e traz uma percepção real da paisagem.

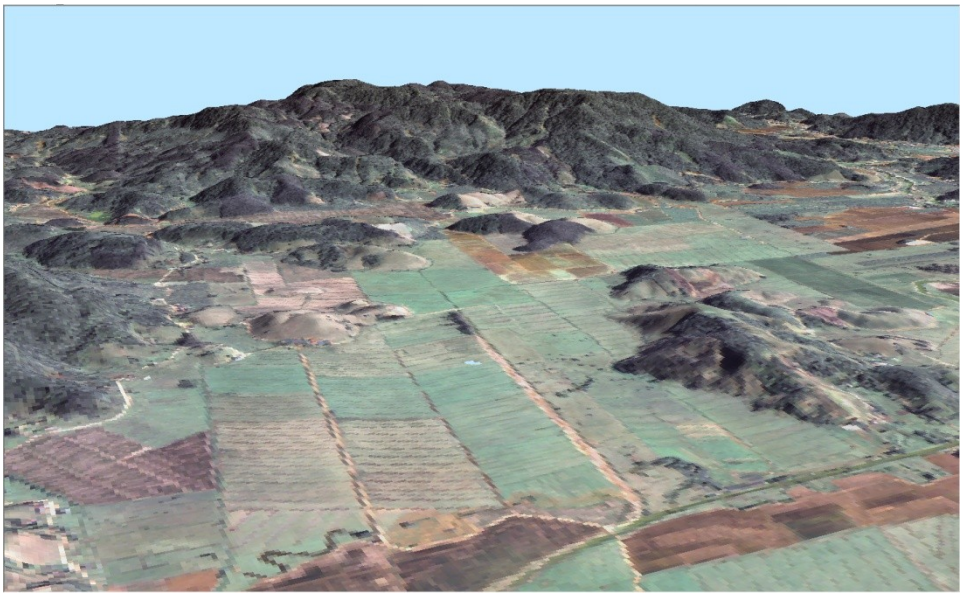


Figura 53: Ilustração do terreno em 3D

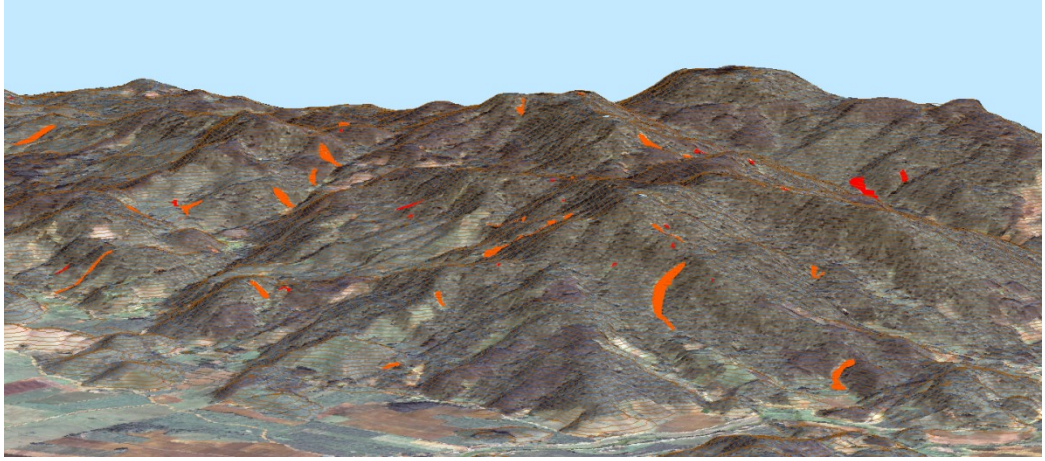


Figura 54: Ilustração das cicatrizes na sub-bacia do Ribeirão Sorocaba

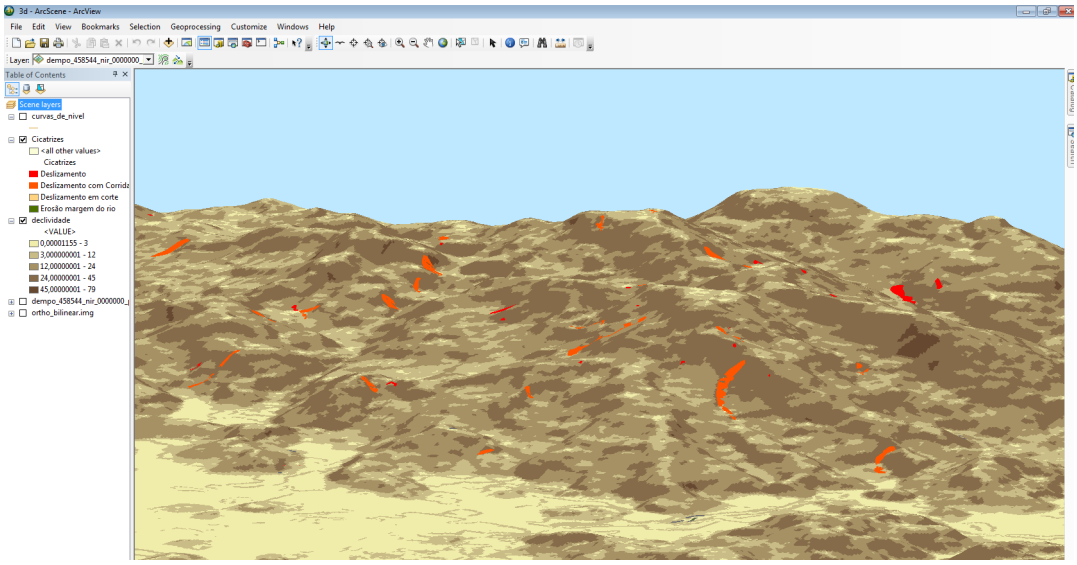


Figura 55: Ilustração do cruzamento da declividade com as cicatrizes.

10 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

10.1 QUANTO AO TEMA PROPOSTO

Os últimos acontecimentos relacionados as catástrofes ocorridas no Estado de Santa Catarina se configura como um fator determinante para a emergência de se pensar metodologias que mitiguem a crise regional decorrente das necessidades de medidas de segurança para a população envolvida.

O verdadeiro desafio que se coloca é criar e aperfeiçoar, simultaneamente, um novo padrão para o análise do meio ambiente utilizando novas tecnologias disponíveis no mercado. Para isso é necessário um maior conhecimento dos fenômenos ocorridos e os que virão a ocorrer possibilitando uma redução do número de pessoas atingidas e mitigando os efeitos socioeconômicos decorrentes .

O uso de sensores é uma ferramenta potencial para o mapeamento de cenários suscetíveis a fenômenos de dinâmica do meio físico que representam perigo para a população. Ortoimagens ópticas de alta resolução e MDE podem ser utilizados para a identificação e análise do risco. Também contribuiu para esse objetivo, a implementação de uma base de dados em um ambiente SIG. O produto da ortorretificação da imagem orbital visou gerar mapeamento de detalhe que permitirá localizar evidências de ocorrências de desastres e acidentes e os elementos que estão em risco em eventos futuros.

10.2 QUANTO A METODOLOGIA DE GERAÇÃO DO MDE E DA IMAGEM ORTORRETIFICADA

Durante a elaboração deste trabalho foram encontradas dificuldades relacionadas à obtenção de manuais que descrevessem as etapas de geração do MDE e da ortorretificação da imagem. As etapas de geração do MDE e ortorretificação da imagem foram executadas o simples método de tentativa e erro. O único tutorial encontrado e utilizado foi o que o ERDA S imagine disponibiliza na pasta de *help* que vem acompanhado com a licença do software.

Considerou-se que os objetivos definidos inicialmente na pesquisa foram atendidos. Tendo como produtos cartográficos finais os mapas de declividade, hipsométrico e de cicatrizes de movimento de massa.

A principal contribuição da metodologia empregada na geração dos produtos foi atingir escalas que atendem aos projetos de planejamento regional, cabe também ressaltar que os produtos gerados, visam proporcionar subsídios para uma maior agilidade no processo de tomada de decisões, quando se trata de risco à deslizamento de encostas.

10.3 QUANTO A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE CARTOGRÁFICA DO MDE E DA IMAGEM ORTORRETIFICADA

Considerou-se, a utilização do Decreto lei 89.817 que determina um Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) para validar a Cartografia Nacional. Desta forma, a imagem IKONOS trabalhada nesta pesquisa, atende ao PEC classe A, na escala de 1: 10.000, com 90% de nível de confiança quando considerada a avaliação planimétrica. E atende ao PEC Classe A na escala 1:25.000 e PEC Classe B e C na escala 1:10.000 quando considerada a avaliação altimétrica.

Na análise de precisão, depois de verificadas as hipóteses, ficou constatado que a imagem atingiu índices aceitáveis dentro das escalas estabelecidas.

É interessante que os usuários das imagens fornecidas pelo IKONOS tenham consciência dos limites de precisão e das aplicações possíveis, uma vez que por trás de uma alta resolução espacial podem existir erros ocultos, que estão sendo desprezados pelos usuários em geral, podendo trazer consequências nas decisões apoiadas sobre estas imagens.

Finalmente, seria interessante que houvesse uma divulgação de trabalhos desta natureza de modo a alertar aos usuários da necessidade de se verificar qual a qualidade do produto cartográfico gerado a partir da ortorretificação de imagens de satélite. Pode-se observar ao longo do desenvolvimento deste trabalho que com as tecnologias existentes atualmente, principalmente o GPS associado a programas de geoprocessamento e estatísticos, a validação é uma atividade relativamente simples e com um custo relativamente barato.

10.4 QUANTO A GERAÇÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

A partir dos produtos gerados, foi possível, automatizar técnicas de confecção de produtos cartográficos de precisão adequadas a análise de riscos ambientais. Entre os produtos elaborados destacam-se a restituição da imagem, com a geração automática das curvas de nível e a vetorização dos elementos da paisagem; vetorização das áreas de deslizamentos; confecção dos mapas de declividade e hipsométrico, modelagem em 3D e geração de perfis do terreno.

A partir das curvas de nível foi possível obter-se, em escala 1:25.000 os Mapas de Declividades e Hipsométrico, que associados a possibilidade de visualizar o terreno em três dimensões e gerar os perfis transversais e longitudinais das áreas afetadas possibilita visualização dos elementos da paisagem facilitando a análise das vertentes.

Como recomendação final espera-se que os resultados obtidos neste trabalho venham:

•a contribuir com o planejamento de ações em casos de risco à deslizamento visando a gestão e prevenção de riscos;

•divulgar a utilização e exploração dos recursos dos softwares da família ARCGIS e ERDAS através da ferramenta LPS de fotogrametria digital, como fonte primária de desenvolvimento de trabalho de modelagem ambiental em ambiente SIG.

•uniformizar mapeamentos segundo os princípios cartográficos, para que os mesmo sirvam de apoio as atividades de preparação das comunidades a convivência com situações de risco.

11 REFERÊNCIAS

ANDRADE, H. et al. Diagnóstico ambiental do Município de Lavras com base em dados do meio físico: III –Estratificação em classes de declive. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27,1998, Poços de Caldas, MG. **Anais....** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. v.4, p.356-358.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1992. Rio de Janeiro. **Anais:** ABMS/ABGE.p. 721-733.

BATISTELLA, M; QUARTAROLI, C.F. **Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**: Tutorial Básico. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005.

BRASIL. Ministério das Cidades/ Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT . **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**/ Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: 2007. 176p.

BRASIL. Ministério das Cidades / Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. **Gestão e Mapeamento de Riscos Socioambientais:** Curso de Capacitação / Celso Santos Carvalho, Roberto Quental Coutinho e Thiago Galvão, organizadores - Brasília: Ministério das Cidades; Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, 2008

BRITO, J L N S.; COELHO FILHO, L.C.T. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: IME, 2002. 208p.

CERQUEIRA, Jorge. Et al. **ORIENTAÇÃO DE IMAGENS IKONOS UTILIZANDO A TRANSFORMAÇÃO MATEMÁTICA APM - AFFINE PROJECTION MODEL**. In: XXI

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA , 2003, Belo Horizonte. Anais....Belo Horizonte: SBC, 2003.

CASSETI, Valter. **Ambiente e Apropriação do Relevo**. São Paulo: Contexto, 1991.

CASTRO, A. L. C. **Manual de planejamento em defesa civil**. Vol.1. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 1999. 133p.

CERRI, L.E. da S.; AMARAL, C.P.do. Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N.A. de. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998.

CUNHA, S.B. da, GUERRA, A. J. T. (org.). **Avaliação e Perícia Ambiental.** 6 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

CRUZ, Olga. **A Ilha de Santa Catarina e o continente próximo:** um estudo de geomorfologia costeira. Florianópolis: Ed. UFSC, 1998.

DIAS, S O; BEPPLER, M. Extração de Rede de Drenagem a partir de Estereoimagens IKONOS II utilizando Polinômios Racionais. **Anais:** XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia – Aracaju – SE – Brasil, 16 a 20 de maio de 2010.

ERDAS, **IKONOS Sensor Model Support Tour Guides.** November, 2009.

FERNANDES, N F.; AMARAL, C P do. Movimento de Massa: uma Abordagem Geológico- Geomorfológica. In: GUERRA, Antônio J. T.; CUNHA, Sandra .B. (org) . **Geomorfologia e meio ambiente**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

FLORENZANO, T G. **Imagens de satélites para estudos ambientais**; Editora Oficina de Textos, São Paulo: Editoro Oficina de Textos, 97p.

GALO, M.; CAMARGO, P O. Utilização do GPS no controle da qualidade de carta. **Anais**: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis, 1994, páginas 41-48.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações:** Aplicações Geodésicas**.** Ed. UFPR, Curitiba, 1994, 319 páginas.

GRODECKI, Jacek. **IKONOS STEREO FEATURE EXTRACTION - RPC APPROAC** Disponível em: <http://www.geoeye.com/CorpSite/assets/docs/technical-papers/2001/C_GrodeckiJacek_2001.pdf> Acesso em: 04 nov. 2010.

GUPTA, R. **Remote sensing geology.** Springer, Berlin Heidelberg, 1991. 356p.

HEIPKE, C. **State – of – the – art of digital photogrammetric Workstations for topographic. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. Vol. 61, n°. 01, Otawa, Canada, 1995, 49-56.

KOBIYAMA, Masato. Et al.**Prevenção de desastres naturais:** conceitos básicos. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006.

LINZT, Jr., J.; SIMONETT, D.S.; **Remote Sensing of Environment**. Addison – Wesley Publishing Company, Reading Massachusetts, USA, 1976.

LIU, W. T.H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006.

LUÍS ALVES, Secretaria de Planejamento. **PLANO DIRETOR do Município de Luís Alves**. Dezembro de 2007.

LUTES, J. **Accuracy analysis of rational polynomial coefficients for Ikonos imagery**. In: ASPRS Conference, 2004, Denver, Proceedings Bethesda: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 2004.

MAGALHÃES, W G. **Noções Básicas de Cartografia**. Rio de Janeiro: IBGE. 1998.

MATHER, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images: An introduction**. New York, Ed. John Wiley & Sons,1987, 352p.

MELO, D.H.C.T.B. **Uso de Dados IKONOS II na análise urbana: Testes operacionais na zona Leste de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. São Jóse dos Campos: INPE, 2002.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**, 2° Edição, São José dos Campos, SP, 2001,307p.

NEGREIROS, I. P. M. **Processamento de dados topográficos para o mapeamento da curvatura de vertentes.** Campinas, São Paulo. Dissertação UNICAMP, Julho, 2003.

NOGUEIRA, F. R. **Gerenciamento de risco ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal**. 2002, 269 p. Tese (Doutorado em Geociências), curso de Pós- graduação em Geociências – Área de concentração em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

OKIDA, R. LUIZ, S. OLIVEIRA, C. **Avaliação da Precisão de ORTO-Imagens IKONOS**. Anais: XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003, INPE, p.285-292.

PASSOS, A. C. P Et al. **Avaliação da Aplicabilidade de imagem de Alta Resolução para o Cadastro Técnico Municipal**. Anais: X SBSR, Foz do Iguaçu, 21-26 de abril de 2001, INPE, p.1139-1145.

PEDRO, Patrícia de Castro. **ORTORETIFICAÇÃO DE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO IKONOS E QUICKBIRD UTILZANDO O MODELO APM (AFFINE PROJECTION MODEL).** Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba, 2005.

PETRIE, G. ***Optical imagery from airborne & spaceborne platforms, comparisons of resolution, coverage & geometry for a given ground pixel size*.** Disponível em: http://www.geoinformatic.com. Acesso em dezembro de 2010.

PINHEIRO, E. S. **Avaliação de imagens QUICKBIRD na análise geográfica de um setor da mata atlântica do Rio Grande do Sul** São José dos Campos: INPE, 2003. Dissertação

QUARTAROLI, C. F. BATISTELLA, M. **Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto:** Tutorial Básico – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005.

ROCHA, G C. (ORG.). **Gestão Ambiental em Municípios:** Riscos e Impactos Ambientais. Curso de especialização em Gestão Ambiental em Municípios. Apostila. UFJF.2002.

ROCHA, J. S. M. da. **Manual de Manejo Integrado de bacias hidrográficas**. Santa Maria: UFSM, Universidade Federal de Santa Maria, 1991. 181p.

ROSA, R. BRITO, J.L.S. **Introdução ao Geoprocessamento:** Sistema de Informação Geográfica. Uberlândia, 1996.

SAITO, S M. **Estudo Analítico da Suscetibilidade a escorregamentos e quedas de blocos no maciço central de Florianópolis - SC**. Orientação: Dra. Maria Lúcia de Paula Herrman. Dissertação. Departamento de Geociências, UFSC 2004.

SANTA CATARINA. **Atlas de Santa Catarina.** Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro,1986.173p.

SANTOS, E T. **Uma Prosposta para Uso de Sistemas Estereoscópicos Modernos no Ensino de Geometria Descritiva e Desenho Técnico** Anais do III Congresso Internacional de Engenharia Gráfica nas Artes e no Desenho (GRAPHICA, 2000), Junho, Ouro Preto, MG (CD ROM). Disponível em: http://www.pcc.usp.br/pessoal/professores/toledo/pdf/graphica2000_estereo.pdf

SAUSEN, T M. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Sensoriamento Remoto**. INPE – 15327-PUD/199. Santa Maria, 2008.

SCHEIBE, L F. A GEOLOGIA DE SANTA CATARINA – SINOPSE PROVISÓRIA. **Revista GEOSUL** - Nº 1- 1º semestre de 1986.

SILVA, J; ZAIDAN, R T. (org.). **Geoprocessamento & Análise Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

SILVA, R R da. **Aplicação de Imagens Orbitais de Alta Resolução Espacial no Cadastro Técnico Rural Multifinalitário.** Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: CEPSRM /UFRGS, 2007.

SISCOUTTO, R A Et al. **Estereoscopia** .In: KIRNER, C; TORI, R (eds.) Realidade Virtual: Conceitos e Tendências. Cap. 11, p. 179-201. São Paulo: Editora Mania de Livro, 2004.

SOUZA, J M; LOCH, R E N. Análise e melhoria da qualidade altimétrica dos dados da Shuttle Radar Topography Mission, SRTM-3. **Revista Brasileira de Cartografia** Nº60/02, agosto 2008.

SOUZA, C; MANSUR M. ; MONTERO L. S.; LIESENBERG, V. **Análise de urbanização em áreas declivosas, como uma das etapas da Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), visando o desenvolvimento local**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis :INPE, 2007.

TEMBA, Plínio. **Fundamentos da Fotogrametria. Departamento de Cartografia**. UFMG, 2000.

TOMÁS, Livia. Et al. **Avaliação da Acurácia de Modelos Digitais de Superfícies Gerados a partir de um Estereopar de imagens IKONOS**. anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p.1897-1903.

TOWNSHEND, J R G. **The spatial resolving Power of Earth resource satellites:** a review. NASA Technical Memorandum 82020. Goddard Spacefligth Center, Greenbelt, Maryland.1980.

WOLF, P.R. **Elements of photogrammetry**. N.York, Mac Graw Hill. 1983. p 626.

VIEIRA, Carlos Antônio Oliveira. **Modelagem Digital do Terreno:** Estudo Introdutório e Suas Aplicações. Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Engenharia Civil, Setor de Engenharia de Agrimensura – Outubro de 2009 – Monografia apresentada para o Concurso de Professor Efetivo na área de Cartografia, Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas do Departamento de Geociência/GCN da UFSC.

ZANARDI, R.P. **Geração de Modelo Digital de Terreno a partir de par estereoscópico do sensor CCD do satélite CBERS-2 e controle de qualidade das informações altimétricas.** Dissertação de Mestrado. UFRGS. Porto Alegre, 2006

APÊNDICE A – MAPA DE OCORRÊNCIA DOS DESLIZAMENTOS

APÊNDICE B – MAPA DE DECLIVIDADE

APÊNDICE C – MAPA HIPSOMÉTRICO

ANEXO A – TABELA QUI-QUADRADO

Tabela Qui-Quadrado

g.l.	p_s 0,995	0,990	0,975	0,950	0,900	0,500	0,100	0,050	0,025	0,010	0,005
1	0,000	0,000	0,001	0,004	0,016	0,455	2,706	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,010	0,020	0,051	0,103	0,211	1,386	4,605	5,991	7,378	9,210	10,60
3	0,072	0,115	0,216	0,352	0,584	2,366	6,251	7,815	9,348	11,34	12,84
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,064	3,357	7,779	9,488	11,14	13,28	14,86
5	0,412	0,554	0,831	1,145	1,610	4,351	9,236	11,07	12,83	15,09	16,75
6	0,676	0,872	1,237	1,635	2,204	5,348	10,64	12,59	14,45	16,81	18,55
7	0,989	1,239	1,690	2,167	2,833	6,346	12,02	14,07	16,01	18,48	20,28
8	1,344	1,647	2,180	2,733	3,490	7,344	13,36	15,51	17,53	20,09	21,95
9	1,735	2,088	2,700	3,325	4,168	8,343	14,68	16,92	19,02	21,67	23,59
10	2,156	2,558	3,247	3,940	4,865	9,342	15,99	18,31	20,48	23,21	25,19
11	2,603	3,053	3,816	4,575	5,578	10,34	17,28	19,68	21,92	24,73	26,76
12	3,074	3,571	4,404	5,226	6,304	11,34	18,55	21,03	23,34	26,22	28,30
13	3,565	4,107	5,009	5,892	7,041	12,34	19,81	22,36	24,74	27,69	29,82
14	4,075	4,660	5,629	6,571	7,790	13,34	21,06	23,68	26,12	29,14	31,32
15	4,601	5,229	6,262	7,261	8,547	14,34	22,31	25,00	27,49	30,58	32,80
16	5,142	5,812	6,908	7,962	9,312	15,34	23,54	26,30	28,85	32,00	34,27
17	5,697	6,408	7,564	8,672	10,09	16,34	24,77	27,59	30,19	33,41	35,72
18	6,265	7,015	8,231	9,390	10,86	17,34	25,99	28,87	31,53	34,81	37,16
19	6,844	7,633	8,907	10,12	11,65	18,34	27,20	30,14	32,85	36,19	38,58
20	7,434	8,260	9,591	10,85	12,44	19,34	28,41	31,41	34,17	37,57	40,00

ANEXO B – TABELA T STUDENT

Tabela T Student

g.l.	p_s 0,200	0,150	0,100	0,050	0,025	0,010	0,005
1	1,376	1,963	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66
2	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
16	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
17	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
18	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
22	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
23	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
24	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
25	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
26	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
27	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
28	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
29	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
30	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750
35	0,852	1,052	1,306	1,690	2,030	2,438	2,724
40	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704
50	0,849	1,047	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678
60	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660
80	0,846	1,043	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639
100	0,845	1,042	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626
∞	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,327	2,576