

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CEP SRM**  
**Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto**  
**MESTRADO**

**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**

**Rafael Pereira Zanardi**

**Porto Alegre, RS.**

**2006**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CEP SRM**  
**Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto**  
**MESTRADO**

**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**

Autor: Rafael Pereira Zanardi - Engenheiro Cartógrafo

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Sílvia Beatriz Alves Rolim

Co-orientador: Prof. Dr. Sérgio Florêncio de Souza

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para a obtenção do título de Mestre em Sensoriamento Remoto.

Porto Alegre, RS.

Maio de 2006.

## Agradecimentos

Aos meus pais e seus companheiros, aos meus avós e demais familiares, que me ensinaram a nunca desistir de ir até o fim, além de terem me dado todo o suporte necessário.

À minha namorada, Fabi, que, até por também ser mestranda, me entendeu, agüentou e apoiou nos momentos de maior tensão.

Aos meus orientadores e amigos, Sílvia e Sérgio, pela grande ajuda, sem a qual esse trabalho não teria passado do projeto inicial.

Ao colega Engenheiro Cartógrafo Marcelo Maranhão, do IBGE-RJ, que prontamente atendeu aos nossos pedidos de socorro.

À 5ª Divisão de Levantamentos do Exército Brasileiro, pelo fornecimento gratuito das Cartas Topográficas utilizadas no trabalho.

Ao INPE e à GISPLAN, pela disponibilidade das imagens e dos arquivos de metadados.

“Aos meus amigos e aos meus verdadeiros amigos” (Angrizani, 2005), companheiros de memoráveis confraternizações em que tive a oportunidade de observar bem melhor todos os movimentos da Terra, além de praticar o didático exercício de cair, levantar e seguir com a cabeça erguida, cambalear por mais alguns metros e cair de novo para, finalmente, acordar na tarde seguinte no chão do meu quarto, morrendo de ressaca e pensando “por que diabos às vezes é tão difícil acertar a cama?”.

Aos colegas do CEPSRM das turmas de 2003, 2004 e 2005, pelos momentos compartilhados durante o curso, churrascos e chacinhas diversas, além das sempre úteis dicas repassadas pelos colegas da turma de 2003.

Aos demais professores, pesquisadores e servidores do CEPSRM.

Ao Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas (NUPAC), por permitir a utilização da tão disputada estação fotogramétrica digital do seu laboratório.

## Sinopse

Em 1988, os governos do Brasil e da China estabeleceram uma parceria para construção e lançamento de satélites de Sensoriamento Remoto que atendessem suas necessidades comuns. O programa de cooperação CBERS (*China-Brazilian Earth Resources Satellite*) propiciou os lançamentos dos satélites CBERS-1 em outubro de 1999 e CBERS-2 em 2003, e prevê ainda o lançamento de mais três satélites nos próximos anos. Entre diversas funções importantes, o CBERS-2 oferece ainda a possibilidade de visada *off nadir*, ou seja, com inclinação lateral de até 32° do seu espelho, permitindo a tomada de imagens em estereoscopia. Esses pares estereoscópicos possibilitam, através de medidas de diferença de paralaxe, a extração de informações altimétricas. O objetivo central deste trabalho foi a extração, através da aplicação de técnicas de fotogrametria digital, de informações altimétricas de um par estereoscópico do sensor HR-CCD (*High Resolution Charge-Coupled Devices*) do CBERS-2 e sua validação, na busca de parâmetros quantitativos que avaliem a precisão e a exatidão dessas informações. Foram gerados Modelos Digitais de Terreno (MDTs) com diferentes resoluções, 60 e 100 metros, e empregados testes estatísticos para análise da qualidade das informações altimétricas. Ao final, não se verificou melhoria significativa no MDT com resolução de 60 metros em relação ao de 100 metros, ficando o erro das observações com média de 46,86 metros. Além disso, pôde-se observar o que pode vir a ser um erro sistemático de aproximadamente 38 metros nesses modelos, o que baixou para 27,03 metros o valor da média dos erros nos pontos de verificação. Seguindo classificação adotada no Brasil segundo o Decreto Lei 89.817 - Padrão de Exatidão Cartográfica, concluiu-se que há possibilidade de se utilizar essas informações altimétricas na geração de documentos cartográficos Classe A em escala de 1:250000 ou menores.

## Abstract

In 1988, the governments of Brazil and China established a partnership for construction and launching of Remote Sensing satellites, aiming to supply its common necessities. The cooperation program CBERS (China-Brazilian Earth Resources Satellite) propitiated the launching of the satellites CBERS-1 in October 1999, and CBERS-2 in 2003, and foresees the launching of other three satellites in the next years. Among several important functions, CBERS-2 offers the possibility of off nadir imagery (lateral inclination until  $32^\circ$  of its mirror), allowing to take images with stereoscopy. These stereoscopic pairs make possible the extraction of altimetric information through parallax measurement. The main objective of this work was to extract, by digital photogrammetry techniques, altimetric information from a stereoscopic pair of the HR-CCD sensor (High Resolution Charge-Coupled Devices) in CBERS-2 and its validation, in search of quantitative parameters that may evaluate the precision and accuracy of these information. Digital Terrain Models (DTMs) with different resolutions, 60 and 100 meters, were generated and statistical tests for a quality analysis of the altimetric information had been applied. In the end, significant improvement in the DTM with resolution of 60 meters in relation to the one of 100 meters hasn't been verified, and the error of the observations had average of 46,86 meters. Moreover, it was observed something that may be a bias quality control of approximately 38 meters in these models, what lowered for 27,03 meters the average of errors in the verification points. Following the classification adopted in Brazil according to Decree-Law 89817 - Standard of Cartographic Accuracy, it was concluded that it is possible to use these altimetric information for cartographic document generation Class A in scale 1:250000 or minus.

# Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivo .....	2
1.2. Objetivos Específicos .....	3
1.3. Justificativa .....	3
<b>2. Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>4</b>
2.1. Sistemas de Satélites .....	4
2.1.1. Tipos de Sensores Quanto à Geometria de Aquisição .....	4
2.2. O Projeto CBERS .....	6
2.2.1. Características dos Satélites CBERS-1 e 2 .....	6
2.2.2. Órbita dos Satélites CBERS-1 e 2 .....	7
2.2.3. As Câmeras dos Satélites CBERS-1 e 2 .....	8
2.2.3.1. Câmera Imageadora de Alta Resolução (HR CCD) .....	8
2.2.3.2. Imageador de Amplo Campo de Visada (WFI) .....	10
2.2.3.3. Imageador por Varredura de Média Resolução (IRMSS) .....	11
2.2.3.4. Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais .....	11
2.3. Fotogrametria Digital .....	12
2.3.1. Estereoscopia com Fotografias .....	13
2.3.1.1. Definição de Paralaxe .....	13
2.3.2. Processo Fotogramétrico .....	14
2.3.2.1. Orientação Interior .....	14
2.3.2.2. Orientação Exterior .....	15
2.3.2.3. Orientação de Imagens de Sensoriamento Remoto .....	16
2.3.2.4. Aerotriangulação .....	17
2.3.2.5. Retificação de Imagens .....	18
2.3.2.6. Normalização de Imagens .....	18
2.3.2.7. Ortoretificação de Imagens .....	19
2.4. Modelagem Digital de Terreno (MDT) .....	21
2.4.1. Obtenção de Dados .....	22
2.4.1.1. Amostragem por Pontos .....	22
2.4.1.2. Amostragem por Isolinhas .....	22
2.4.2. Geração de Grades .....	23
2.4.2.1. Geração de Grade Retangular .....	24
2.4.2.2. Geração de Grade Triangular .....	24
2.4.2.3. Interpoladores .....	25
2.4.3. Elaboração de Produtos .....	27
2.4.3.1. Geração de Imagem em Níveis de Cinza .....	28
2.4.3.2. Geração de Imagem Sombreada .....	28
2.4.3.3. Geração de Modelo de Visualização Tridimensional .....	29
2.5. SRTM ( <i>Shuttle RadarTopography Mission</i> ) .....	30
2.6. Controle de Qualidade .....	32
2.6.1. Precisão e Acurácia .....	34
2.6.2. Número de Pontos Amostrais .....	34
2.6.3. Análise da Exatidão .....	35

2.6.4. Análise da Precisão.....	35
<b>3. Caracterização da Área de Estudo .....</b>	<b>37</b>
<b>4. Materiais e Métodos.....</b>	<b>39</b>
4.1. Material Utilizado.....	39
4.1.1. <i>Leica Photogrammetry Suite</i> (LPS).....	40
4.2. Metodo de Trabalho.....	40
4.2.1. Processo Fotogramétrico .....	40
4.2.2. Análise dos MDTs Gerados.....	44
<b>5. Resultados e Discussões .....</b>	<b>46</b>
5.1. Preparação para a Análise Estatística .....	52
5.2. Controle de Qualidade .....	50
5.2.1. Avaliação do MDT com células de 60 metros .....	50
5.2.1.1. Análise da Exatidão.....	50
5.2.1.2. Análise da Precisão .....	51
5.2.2. Avaliação do MDT com células de 100 metros .....	52
5.2.2.1. Análise da Exatidão.....	52
5.2.2.2. Análise da Precisão .....	53
5.2.3. Análise de Tendência .....	53
5.3. Definição da Escala Máxima para Utilização.....	56
<b>6. Considerações Finais .....</b>	<b>57</b>
6.1. Geração dos Modelos .....	57
6.2. Controle de Qualidade .....	58
<b>7. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>62</b>
<b>7. Anexos .....</b>	<b>66</b>
ANEXO 1 – Relatório da Triangulação.....	67
ANEXO 2 – Modelos Digitais de Terreno .....	80
MDT CBERS-2 - Resolução de 60 metros.....	81
MDT CBERS-2 - Resolução de 100 metros.....	82
MDT - SRTM.....	83

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Características dos Satélites CBERS-1 e 2 .....	7
Tabela 2: Características da Câmera CCD.....	9
Tabela 3: Características do Imageador WFI.....	10
Tabela 4: Características do Imageador IRMSS .....	11
Tabela 5: Coordenadas dos 4 pontos medidos com GPS e dos pontos fotogramétricos.....	42
Tabela 6: Altitude, nas datas do imageamento, do nível de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas mostradas na Figura 33 .....	44
Tabela 7: Equidistância das curvas de nível de acordo com a escala da carta.....	44
Tabela 8: Comparação <i>a priori</i> entre as cotas obtidas das cartas, do MDT gerado das imagens CBERS-2 (60 x 60m) e do SRTM.....	46
Tabela 9: Comparação <i>a priori</i> entre as cotas obtidas das cartas, do MDT gerado das imagens CBERS-2 (100 x 100m) e do SRTM.....	47
Tabela 10: Relação dos 36 pontos de verificação do MDT (60 x 60m).....	48
Tabela 11: Relação dos 36 pontos de verificação do MDT (100 x 100m).....	49
Tabela 12: Análise dos pontos de verificação do MDT (50 x 50m) subtraído de 38m .....	54
Tabela 13: Análise dos pontos de verificação do MDT (100 x 100m) subtraído de 38m .....	55



## Lista de Figuras

Figura 1: Geometria dos sensores digitais.....	4
Figura 2: Componentes dos satélites CBERS 1 e 2.....	7
Figura 3: Órbita dos satélites CBERS 1 e 2 .....	8
Figura 4: Faixas de imageamento das câmeras dos satélites CBERS.....	8
Figura 5: Esquema representativo da obtenção de pares estereoscópicos através da visada lateral .....	8
Figura 6: Comparação das bandas do sensor CCD com outros sensores similares .....	9
Figura 7: Relação entre as paralaxes de um ponto $I$ .....	14
Figura 8: Esquema representativo da Orientação Interior .....	15
Figura 9: Ângulos de atitude $\omega$ , $\phi$ , $\kappa$ .....	15
Figura 10: Interseções espaciais para três imagens .....	18
Figura 11: Esquema demonstrando os efeitos da transformação de perspectiva pelo processo de ortorretificação .....	19
Figura 12: Esquema representativo das etapas da ortorretificação.....	20
Figura 13: Distribuição dos pontos amostrais (a) irregular, (b) aerolevanteamento, (c) a partir da drenagem e (d) regular .....	22
Figura 14: Mapa plani-altimétrico.....	23
Figura 15: Exemplos de Grade Retangular Regular e Grade Triangular Irregular.....	24
Figura 16: Exemplo ilustrativo de interpolação bilinear .....	26
Figura 17: MDT da área de estudo representado por imagem em níveis de cinza .....	28
Figura 18: imagem sombreada da mesma região do MDT representado na Figura 17 .....	28
Figura 19: visualização tridimensional do MDT da Figura 17.....	29
Figura 20: Esquema da aquisição de dados do SRTM.....	30
Figura 21: Os valores apresentados no gráfico (a) são mais exatos do que os em (b), enquanto estes últimos são mais precisos .....	34
Figura 22: Área abrangida pelo par estéreo, dentro da área do Projeto SP/MG/GO-50 do IBGE .....	38
Figura 23: Composições coloridas do par estéreo utilizado - imagens de 16/6/2004 e 1º/7/2004.....	39
Figura 24: Distribuição dos <i>Control Points</i> , <i>Check Points</i> e <i>Tie Points</i> .....	42
Figura 25: MDT gerado a partir de imagens CBERS-2, com células de 100 x 100 metros .....	43
Figura 26: Polígonos contendo os lagos dos reservatórios das UHE .....	43

Figura 27: Área abrangida pelas cartas topográficas e distribuição dos pontos da verificação inicial .....	46
Figura 28: Distribuição dos 36 pontos de verificação utilizados na análise estatística do MDT gerado através dos pares estéreo do CBERS-2.....	50
Figura 29: Sensor PRISM ( <i>Panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo Mapping</i> ) do satélite ALOS-2 .....	58
Figura 30: Pontos onde não se verificou valores mais altos no MDT do CBERS-2 em relação às cartas topográficas .....	59
Figura 31: Gráfico das diferenças entre as cotas dos MDTs e das cartas topográficas .....	60

## Anexos

ANEXO 1 – Relatório da Triangulação .....	67
ANEXO 2 – Modelos Digitais de Terreno .....	80
MDT CBERS-2 - Resolução de 60 metros .....	81
MDT CBERS-2 - Resolução de 100 metros .....	82
MDT - SRTM.....	83

## 1. Introdução

Na última década do século XX, marcada por avanços notáveis na área de Sensoriamento Remoto, foram desenvolvidos e lançados, tanto por plataformas de programas espaciais já existentes como por projetos inéditos, sensores de alto desempenho no que se refere às resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal. A bordo de plataformas orbitais, esses novos sensores vieram a complementar o registro dos recursos naturais e do meio ambiente terrestre, desde a escala regional até o nível de detalhe.

Este empenho pela eficiência na aquisição de dados, juntamente com a necessidade de autonomia no monitoramento de recursos terrestres, resultou em uma parceria entre os governos do Brasil e da China. Iniciado em 1988, o programa de cooperação China-Brasil, CBERS (*China-Brazilian Earth Resources Satellite*), lançou o primeiro satélite (CBERS-1) em 1999, e o segundo (CBERS-2) em 2003, havendo ainda previsão para o lançamento de mais três: o CBERS-2b (2006), o CBERS-3 (2008) e o CBERS-4 (2010). Com três sensores a bordo, os CBERS já lançados registram cenas em diferentes resoluções espaciais, temporais e espectrais, atendendo a necessidades semelhantes de ambos os países nas áreas de gerenciamento de recursos terrestres, monitoramento de florestas, geologia, hidrologia e mapeamento de áreas de difícil acesso em várias escalas, além da inclusão de um moderno sistema de monitoramento ambiental.

Entre tantas funções importantes, as imagens do CBERS-2 oferecem a possibilidade de extração de informações altimétricas a partir de medidas baseadas na diferença de paralaxe, graças à capacidade de apontamento lateral do espelho em até  $\pm 32^\circ$ . Alguns satélites comerciais mais estudados, por serem mais conhecidos no

mercado, já se destacam por sua capacidade de aquisição desse tipo de dados. Entre esses sensores capazes de obter dados em estereoscopia, pode-se citar os sensores norte-americanos ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*, a bordo da plataforma EOS-TERRA) e IKONOS II, o japonês ALOS-2 (*Advanced Land-Observing Satellite*) e o francês SPOT (*Système Pour l'Observation de la Terre*). Apesar disso, nota-se uma escassez de estudos envolvendo medições altimétricas utilizando imagens do CBERS, provavelmente devida à dificuldade de obtenção de pares estereoscópicos imposta pelo seu sistema de imageamento por apontamento lateral de espelho, o que resultou em uma única aquisição de dados com estereoscopia que ainda foi muito prejudicada por uma excessiva cobertura de nuvens e problemas de turbulência. Apesar de a vida útil nominal do CBERS-2 já ter chegado ao limite, só recentemente se conseguiu efetuar medições de altimetria utilizando suas imagens, resultado de um esforço conjunto de pesquisadores de diversas universidades e outras instituições em todo o país.

Assim como as informações planimétricas, a altimetria é de extrema importância para os mais diversos setores de aplicação, desde projetos de engenharia e de meio ambiente até o setor público administrativo, passando por aplicações rurais, agrícolas e de exploração mineral. O objetivo da altimetria é a tradução visual do relevo de um terreno. Essa representação pode ser armazenada e visualizada de forma vetorial (curvas de nível) ou matricial (Modelos Digitais de Terreno). Este último caso é o objeto de estudo do presente projeto.

### **1.1. Objetivo**

O objetivo central desta dissertação é a geração de Modelo Digital de Terreno (MDT) a partir de dados altimétricos extraídos do único estereoscópico utilizável tomado pelo sensor HR-CCD (*High Resolution Charge Coupled Device*) do satélite CBERS-2 em território brasileiro e a realização de um estudo quantitativo desse produto, comparando-o com outras fontes de dados e classificando-o de acordo com o definido pelo Padrão de Exatidão Cartográfica. Espera-se, além da obtenção de informações importantes que possam vir a colaborar com o desenvolvimento dos satélites do projeto CBERS, estimular mais estudos científicos envolvendo esses sensores bem como a sua utilização comercial em maior escala.

## **1.2. Objetivos Específicos**

- Emprego de técnicas de fotogrametria digital para extração de Modelo Digital de Terreno de um par estereoscópico de imagens do sensor HR-CCD do CBERS-2;
- Análise estatística de qualidade e comparação entre as informações altimétricas extraídas desse par estereoscópico;
- Classificação do modelo gerado de acordo com o Decreto Lei 89.817, de 20 de junho de 1984 - Padrão de Exatidão Cartográfica (Brasil, 1984).

## **1.3. Justificativa**

- Obtenção de informações importantes que possam vir a contribuir com o desenvolvimento do projeto CBERS;
- Escassez de estudos relacionados à altimetria extraída de imagens destes sensores;
- Estímulo para utilização comercial em maior escala dos produtos oferecidos pelo programa CBERS.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Sistemas de Satélites

As radiações do espectro visível e do infravermelho podem ser registradas pelos sistemas passivos do sensoriamento remoto com métodos fotográficos, de vídeo e de varredura (*scanners*). Esses sistemas registram a radiação eletromagnética que é refletida ou emitida pelos alvos terrestres. Enquanto os métodos fotográficos e de vídeo são limitados ao intervalo de 0,4 a 0,9 $\mu$ m, a técnica de varredura permite o registro de imagens nos comprimentos de onda do ultravioleta até o infravermelho térmico (0,3 - 14 $\mu$ m). A radiação refletida e/ou emitida pela superfície terrestre atravessa o sistema óptico do *scanner* e é focalizada sobre os detectores. Estes transformam a radiação em sinais elétricos que são gravados em fita magnética. Um *scanner* multiespectral pode gravar sinais provenientes de vários intervalos de comprimento de onda.

#### 2.1.1. Tipos de Sensores Quanto à Geometria de Aquisição

Ao falar de sensores digitais, pode-se fazer uma distinção entre sensores matriciais, lineares e de rotação (Ricart *et al*, 2003). O princípio geométrico pode ser visto na **Figura 1**.

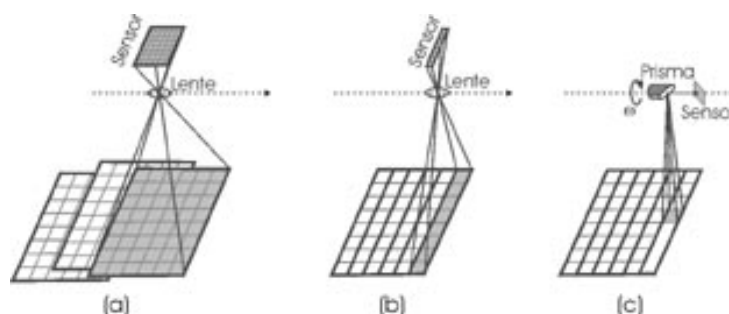


Figura 1: Geometria dos sensores digitais. Sensores matriciais (a), sensores lineares (b) e sensores de rotação (c). Fonte: Ricart et al, 2003.

**a) Sensores matriciais (*Frame Cameras*)**

Estes sensores eletrônicos utilizam dispositivos sensores de estado sólido do tipo CCD ou CMOS. Todos os elementos sensoriais são dispostos no plano focal e apresentam a particularidade de adquirir a imagem digital em um único instante. A geometria dessas imagens corresponde ao caso da projeção central. Além disso, geralmente necessitam correção do arrastamento através de TDI (*Time Delayed Integration*).

**b) Sensores Lineares (*Pushbroom Scanners*)**

A captura da imagem é um processo contínuo e totalmente eletrônico, onde todos os detectores da barra do CCD são amostrados simultaneamente para uma mesma linha perpendicular à órbita (Schovengerdt, 1997). Essa geometria se caracteriza por cada linha da imagem resultante precisar seus próprios parâmetros de orientação externa, ajustando-se a uma projeção central. A sensibilidade espectral desses sensores oscila entre o espectro eletromagnético visível e infravermelho próximo.

**c) Sensores de rotação (*Whiskbroom Scanners*)**

Os sensores de rotação são do tipo eletromecânico. A imagem é obtida graças à rotação de um prisma ou espelho que move instantaneamente o campo de vista (IFOV) perpendicularmente à direção de vôo. Deste modo, a formação da imagem segue um processo contínuo. A geometria resultante é cilíndrica. No geral, a sensibilidade espectral desses sensores é maior que dos lineares, já que oscila entre 0,4 (visível) e 13 $\mu$ m (infravermelho distante).



## 2.2. O Projeto CBERS

Na tentativa de reverter sua posição de dependentes das imagens de sensoriamento remoto fornecidas por outras nações, os governos do Brasil e da China assinaram em 06 de Julho de 1988 um acordo de parceria envolvendo o INPE e a CAST denominado Programa CBERS, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres, tendo como intuito a implantação de um sistema completo de sensoriamento remoto de nível internacional.

Com a união de recursos financeiros e tecnológicos entre o Brasil e a China, num investimento superior a US\$ 300 milhões, foi criado um sistema de responsabilidades divididas (30% brasileiro e 70% chinês). A experiência chinesa na construção de satélites e foguetes lançadores tornou-se o grande aliado estratégico para o governo brasileiro. Em contrapartida, o Brasil trazia em sua bagagem a familiaridade com a alta tecnologia e um parque industrial mais moderno que o existente no parceiro.

Por outro aspecto, as grandes áreas despovoadas e os vastos recursos naturais dentro do território, além dos grandes potenciais agrícolas e ambientais de ambos os países se somaram a esses interesses. A ferramenta para monitorar constantemente essas áreas era o Programa CBERS, que trazia em seu projeto sensores específicos para essas atividades científicas.

### 2.2.1. Características dos Satélites CBERS-1 e 2

O primeiro satélite desenvolvido, CBERS-1, foi lançado pelo foguete chinês Longa Marcha 4B, do Centro de Lançamento de Taiyuan em 14 de outubro de 1999. O CBERS-2, tecnicamente idêntico ao primeiro, foi lançado no dia 21 de outubro de 2003. São compostos por dois módulos (**Figura 2**):

- “Carga útil”, onde são acomodadas as três câmeras (HR CCD – *High Resolution Charge Coupled Device*, IRMSS – *Infrared Multi Spectral Scanner* e WFI – *Wide Field Imager*) e o Repetidor para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais.

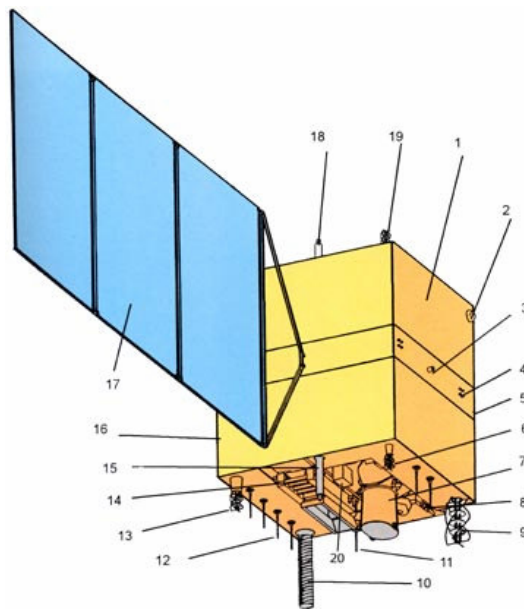
- “Serviço”, que contém os equipamentos que asseguram o suprimento de energia, os controles, as telecomunicações e demais funções necessárias (**Tabela 1**).

Os 1100W de potência elétrica necessária para o funcionamento dos equipamentos de bordo são obtidos através de painéis solares que se mantêm orientados na direção do sol por controle automático. O satélite dispõe ainda de um sistema de

controle de atitude, complementado por um conjunto de propulsores a hidrazina que também auxilia nas eventuais manobras de correção da sua órbita nominal.

Tabela 1: Características dos Satélites CBERS-1 e 2

Massa total	1450 kg
Potência gerada	1100 W
Baterias	2 x 30 Ah NiCd
Dimensões do corpo	(1,8 x 2,0 x 2,2) m
Dimensões do painel	6,3 x 2,6 m
Altura da órbita hélio-síncrona	778 km
Propulsão a hidrazina	16 x 1 N; 2 x 20 N
Estabilização	3 eixos
Supervisão de bordo	Distribuída
Comunicação de Serviço (TT&C)	UHF e banda S
Tempo de vida (confiabilidade de 0,6)	2 anos



- 1 - Módulo de Serviço
- 2 - Sensor de Presença do Sol
- 3 - Conjunto dos Propulsores de 20N
- 4 - Conjunto dos Propulsores de 1N
- 5 - Divisória Central
- 6 - Antena UHF de Recepção
- 7 - Câmera IRMSS
- 8 - Antena de Transmissão do IR
- 9 - Antena de Transmissão em VHF
- 10 - Antena UHF Tx/Rx
- 11 - Antena em Banda - S (DCS)
- 12 - Antena de Transmissão do CCD
- 13 - Antena de Transmissão em UHF
- 14 - Câmera CCD
- 15 - Antena em Banda-S (TT&C)
- 16 - Módulo de Carga Útil
- 17 - Painel Solar
- 18 - Antena em Banda-S (TT&C)
- 19 - Antena de Recepção em UHF
- 20 - Câmera Imageadora WFI

Figura 2: Componentes dos satélites CBERS 1 e 2. *Fonte: www.cbbers.inpe.br*

### 2.2.2. Órbita dos Satélites CBERS-1 e 2

A órbita do CBERS (**Figura 3**) é heliosíncrona a uma altitude de 778 km e inclinação de  $98,504^\circ$ , perfazendo cerca de 14 revoluções por dia. Nesta órbita, o satélite cruza o Equador sempre na mesma hora local, 10h30min da manhã, permitindo assim que se tenha sempre as mesmas condições de iluminação solar para a comparação de imagens tomadas em dias diferentes.

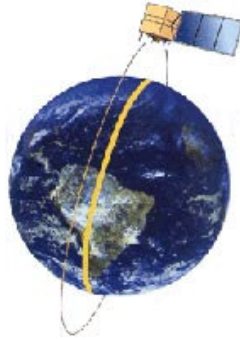


Figura 3: Órbita dos satélites CBERS 1 e 2. *Fonte: www.cbears.inpe.br*

### 2.2.3. As Câmeras dos Satélites CBERS-1 e 2

Uma característica dos satélites CBERS-1 e 2 é a diversidade de câmeras com diferentes resoluções espaciais e temporais para observações ópticas de todo o globo terrestre (**Figura 4**), além de um sistema de coleta de dados ambientais.

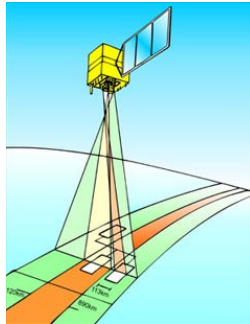


Figura 4: Faixas de imageamento das câmeras CBERS. *Fonte: www.cbears.inpe.br*

#### 2.2.3.1. Câmera Imageadora de Alta Resolução (HR CCD)

A câmera CCD fornece imagens de uma faixa de 113 km de largura, com uma resolução de 20 m. Esta câmera tem capacidade de orientar seu campo de visada dentro de  $\pm 32^\circ$ , possibilitando a obtenção de imagens estereoscópicas (**Figura 5**). Além disso, qualquer fenômeno detectado pelo WFI pode ser focalizado pela Câmera CCD, para estudos mais detalhados, no máximo, a cada três dias.

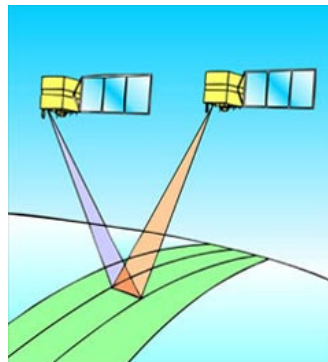


Figura 5: Esquema representativo da obtenção de pares estereoscópicos através da visada lateral. *Fonte: www.cbears.inpe.br*

A Câmera CCD opera em 5 faixas espectrais incluindo uma faixa pancromática de 0,51 a 0,73  $\mu\text{m}$  (Tabela 2 e Figura 6). As duas faixas espectrais do WFI são também empregadas na câmera CCD para permitir a combinação dos dados obtidos pelas duas câmeras. São necessários 26 dias para uma cobertura completa da Terra.

Tabela 2: Características da Câmera CCD.

Bandas espectrais	0,51 - 0,73 $\mu\text{m}$ (pan)
	0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$ (azul)
	0,52 - 0,59 $\mu\text{m}$ (verde)
	0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$ (vermelho)
	0,77 - 0,89 $\mu\text{m}$ (infravermelho próximo)
Campo de Visada	8,3°
Resolução espacial	20 x 20 m
Largura da faixa imageada	113 km
Capacidade de apontamento do espelho	$\pm 32^\circ$
Resolução temporal	26 dias com visada vertical
	(3 dias com visada lateral)
Frequência da portadora de RF	8103 MHz e 8321 MHz
Taxa de dados da imagem	2 x 53 Mbit/s
Potência Efetiva Isotrópica Irradiada	43 dBm

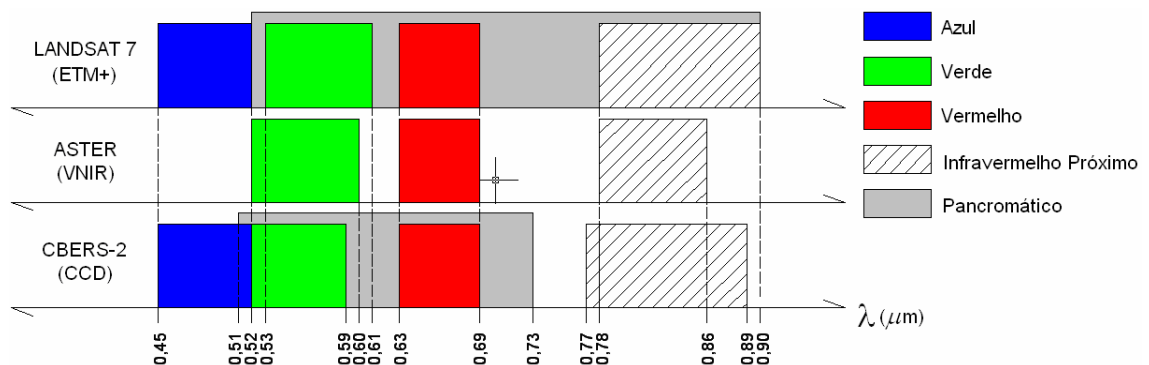


Figura 6: Comparação das bandas do sensor CCD com outros sensores similares.

Destacam-se como aplicações potenciais da CCD:

- Vegetação: identificação de áreas de florestas, alterações florestais em parques, reservas, florestas nativas ou implantadas, quantificações de áreas, sinais de queimadas recentes.
- Agricultura: identificação de campos agrícolas, quantificação de áreas, monitoramento do desenvolvimento e da expansão agrícola, quantificação de pivôs centrais, auxílio em previsão de safras, fiscalizações diversas.

- Meio ambiente: identificação de anomalias antrópicas ao longo de cursos d'água, reservatórios, florestas, cercanias urbanas, estradas; análise de eventos episódicos naturais compatíveis com a resolução da Câmera, mapeamento de uso do solo, expansões urbanas.

- Água: identificação de limites continente-água, estudos e gerenciamento costeiros, monitoramento de reservatórios.

- Cartografia: dada a sua característica de permitir visadas laterais de até 32°, possibilita a obtenção de pares estereoscópicos e a consequente análise cartográfica altimétrica.

- Geologia e solos: apoio a levantamentos de solos e geológicos.

- Educação: geração de material de apoio a atividades educacionais em geografia, meio ambiente, e outras disciplinas.

### 2.2.3.2. Imageador de Amplo Campo de Visada (WFI)

O WFI produz imagens de uma faixa de 890 km de largura, permitindo a obtenção de cartas-imagem com resolução espacial de 260 m (**Tabela 3**). No período aproximado de cinco dias, obtém-se uma cobertura completa do globo.

Tabela 3: Características do Imageador WFI.

Bandas espectrais	0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$ (vermelho)
	0,77 - 0,89 $\mu\text{m}$ (infra-vermelho)
Campo de Visada	60°
Resolução espacial	260 x 260 m
Largura da faixa imageada	890 km
Resolução temporal	5 dias
Frequência da portadora de RF	8203,35 MHz
Taxa de dados da imagem	1,1 Mbit/s
Potência Efetiva Isotrópica Irradiada	31,8 dBm

Entre suas aplicações, podem ser mencionadas:

- Geração de mosaicos nacionais ou estaduais.
- Geração de índices de vegetação para fins de monitoramento.
- Monitoramento de fenômenos dinâmicos, como safras agrícolas, queimadas persistentes.

- Sistema de alerta, em que a imagem WFI serve como indicativo para a aquisição de imagens de mais alta resolução da CCD ou do IRMSS.

Acoplamento a outros sistemas mundiais de coleta de dados de baixa a média resolução

### 2.2.3.3. Imageador por Varredura de Média Resolução (IRMSS)

A câmera de varredura IRMSS tem 4 faixas espectrais e estende o espectro de observação do CBERS até o infravermelho termal (**Tabela 4**). O IRMSS produz imagens de uma faixa de 120 km de largura com uma resolução de 80 m (160 m no canal termal). Em 26 dias obtém-se uma cobertura completa da Terra que pode ser correlacionada com aquela obtida através da câmera CCD.

Tabela 4: Características do Imageador IRMSS.

Bandas espectrais	0,50 - 1,10 $\mu\text{m}$ (pancromática)
	1,55 - 1,75 $\mu\text{m}$ (infravermelho médio)
	2,08 - 2,35 $\mu\text{m}$ (infravermelho médio)
	10,40 - 12,50 $\mu\text{m}$ (infravermelho termal)
Campo de Visada	8,8°
Resolução espacial	80 x 80 m (160 x 160 m termal)
Largura da faixa imageada	120 km
Resolução temporal	26 dias
Frequência da portadora de RF	8216,84 MHz
Taxa de dados da imagem	6,13 Mbit/s
Potência Efetiva Isotrópica Irradiada	39,2 dBm

Suas aplicações são as mesmas do sensor CCD, com as devidas adaptações.

Outras aplicações são:

- Análise de fenômenos que apresentem alterações de temperatura da superfície.
- Geração de mosaicos estaduais.
- Geração de cartas-imagens.

### 2.2.3.4. Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais

Os satélites CBERS-1 e CBERS-2 fazem parte do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais que, baseado na utilização de satélites e mais de 600 Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) distribuídas pelo território nacional, objetiva fornecer ao país dados ambientais diários coletados nas diferentes regiões do território nacional. Esses dados são utilizados em diversas aplicações, tais como a previsão de tempo do CPTEC, estudos sobre correntes oceânicas, marés, química da atmosfera, planejamento agrícola, entre outras.

### 2.3. Fotogrametria Digital

A palavra Fotogrametria, deriva de três palavras de origem grega: *photon* (luz), *graphos* (escrita) e *metron* (medições), ou “medições executadas através de fotografias”. O consenso geral define tal termo como a ciência, a técnica e a arte de se extrair informações confiáveis sobre a forma, as dimensões e a posição de objetos através de imagens adquiridas por sensores fotográficos (Brito, 2002).

Segundo Temba (2000), a fotogrametria pode ser dividida em duas áreas:

A *fotogrametria interpretativa* objetiva, principalmente o reconhecimento e a identificação de objetos e o julgamento do seu significado, a partir de uma análise sistemática e cuidadosa de fotografias. A interpretação de fotos é o ato de examinar as imagens com o propósito de identificar objetos e determinar sua significância. A esta definição deve-se adicionar o conceito de identificar o contexto, já que muitos fatores críticos exigem que o processo seja mais do que simplesmente identificar objetos individualmente.

A *fotogrametria métrica* consiste na tomada de medidas a partir de fotos e outras fontes de informação para determinar, de um modo geral, o posicionamento de pontos. Com a utilização de técnicas e processos correntes da fotogrametria métrica, é possível determinar, distâncias, ângulos, áreas e elevações para confecção de cartas planimétricas e altimétricas, mosaicos, modelos digitais de elevação, ortofotos, etc.

Imagens para fotogrametria podem ser adquiridas diretamente no formato digital ou ainda em formato analógico, sendo, nesta última hipótese, transformadas para o meio digital em aparelhos digitalizadores matriciais, ou *scanners*.

Há, basicamente, duas modalidades de imagem digital: vetorial e matricial ou matricial (*raster*). A imagem vetorial é caracterizada pela delimitação de objetos pelas entidades que os determinam (pontos, linhas e polígonos).

A imagem *raster* é uma matriz composta por células quadradas, chamadas *pixels* (*picture x elements*). Dentro de cada *pixel*, há somente um nível de cinza ou coloração sólida, definida por um número digital. Pode-se, assim, definir qualquer imagem digital por uma matriz, sendo valor de cada um dos elementos igual ao número digital equivalente.

A utilização dessas imagens para medições com a finalidade de produção cartográfica depende de todo um processo de orientação, correção e referenciamento,

desde a sua aquisição até a execução dos produtos finais, conhecido como Processo Fotogramétrico.

### 2.3.1. Estereoscopia com Fotografias

#### 2.3.1.1. Definição de Paralaxe

Paralaxe é o deslocamento aparente de um referencial, causado pelo deslocamento do observador. Um exemplo de paralaxe pode ser obtido quando se posiciona um objeto fixo a certa distância do rosto e observa-se ele com um olho de cada vez. Tem-se a nítida impressão de que o objeto está se movendo de um lado para o outro à medida que se alterna o olho aberto. É a partir dessa diferença entre o ângulo com que cada olho enxerga um mesmo objeto que o cérebro interpreta a distância até ele, proporcionando visão tridimensional aos seres humanos.

Da mesma forma, quando uma câmara aérea que está acoplada ao avião em movimento obtém uma cena e, segundos depois, volta a obtê-la em posição diferente, haverá deslocamentos das posições dos objetos imageados de uma foto para a outra, e estes serão diretamente proporcionais à altura do terreno. Estes deslocamentos nas imagens apresentam-se paralelos à linha de vôo e são conhecidos como “paralaxe estereoscópica”. O sentido positivo na medida das paralaxes de um ponto coincide com o sentido positivo das coordenadas cartesianas deste ponto (Alves, 1999).

Paralaxe Absoluta ou Paralaxe Horizontal Total de um ponto é a diferença algébrica de suas paralaxes parciais obtidas do par estereoscópico.

$$p_i = x_i - x'_i$$

Onde:

$P_i$ : Paralaxe Absoluta no ponto  $i$

$x_i$ : coordenada  $x$  do ponto  $i$  na fotografia da esquerda

$x'_i$ : coordenada  $x$  do ponto  $i$  na fotografia da direita

Paralaxe Diferencial Linear é a diferença entre paralaxes absolutas entre pontos.

$$P = p_b - p_a$$

Onde:

$P$ : diferença de paralaxe do ponto  $b$  em relação ao ponto  $a$ .



Para a determinação da altitude de um ponto qualquer no terreno (**Figura 7**) a partir da altitude do vôo e da base aérea (distância entre o ponto de tomada de cada foto), seguindo o princípio da semelhana de triângulos, chega-se a:

$$\frac{p_i}{f} = \frac{B}{H - h_i}, \text{ o que leva a: } h_i = H - \frac{B \cdot f}{p_i}$$

Onde:

$h_i$ : altitude do ponto  $I$

$H$ : altitude do vôo

$B$ : base aérea

$f$ : distância focal

$p_i$ : paralaxe absoluta do ponto  $i$

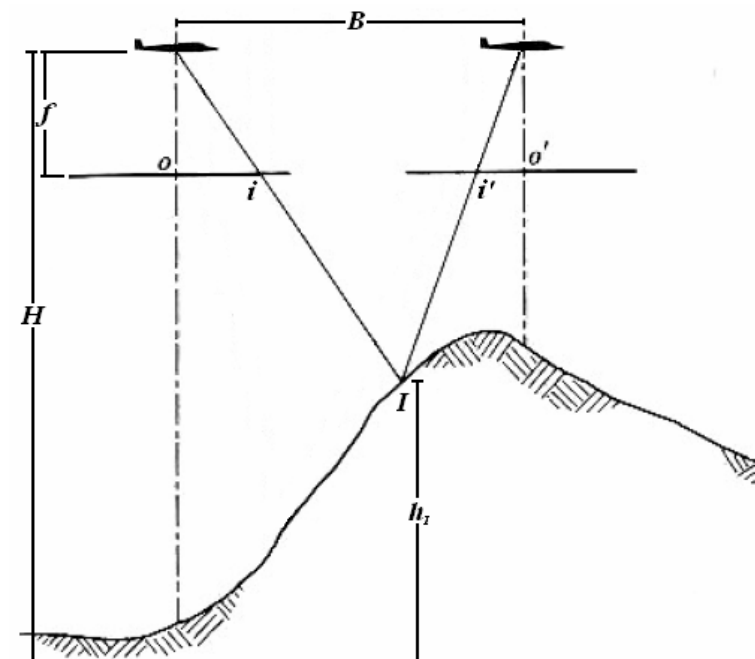


Figura 7: Relação entre as paralaxes de um ponto  $I$ .

*Adaptado de Lillesand e Kiefer, 2000.*

### 2.3.2. Processo Fotogramétrico

#### 2.3.2.1. Orientação Interior

A orientação interior é uma operação de reconstrução da posição dos feixes perspectivos (referenciamento da imagem) em relação à câmara, permitindo a recuperação da posição da fotografia no momento da tomada da foto. Para materializar este efeito, são aplicados modelos matemáticos para calcular os parâmetros que relacionam o sistema de coordenadas de imagem digital (*pixels*) em um sistema característico de cada câmara, dado pelos parâmetros do certificado de calibração de

câmara fotogramétrica. Pode-se resumir afirmando que a imagem digital, que se encontrava livre no espaço (não-referenciada), é associada à posição que exercia dentro da câmara quando foi obtida (**Figura 8**).

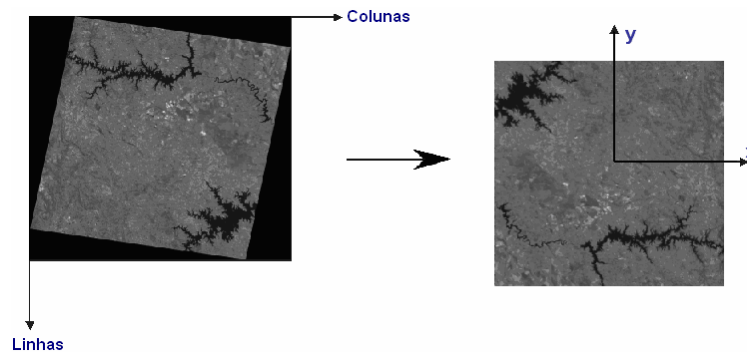


Figura 8: Esquema representativo da Orientação Interior.

O modelo matemático mais comumente utilizado para esse fim é a Transformação Afim Geral associada a um ajustamento de observações pelo Método Paramétrico e por Mínimos Quadrados, ou variações desse modelo. Esse método corrige problemas de não-ortogonalidade dos eixos, rotação, posicionamento (translação em  $x$  e  $y$ ) e diferenças de escala em  $x$  e  $y$ . A formulação para esse método pode ser encontrada em Gemael (1994).

### 2.3.2.2. Orientação Exterior

A orientação exterior consiste em relacionar o sistema de câmara (reconstruído na orientação interior) com sua posição e sua atitude em relação ao terreno imageado naquele instante, através da determinação dos seis parâmetros que regem a posição do centro de perspectiva na tomada da foto: a posição tridimensional ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) e as rotações nos três eixos ( $\omega, \phi, \kappa$ ), representados na **Figura 9**. Isso significa que essa etapa possibilita o posicionamento da imagem em relação à câmara (espaço-imagem) e em relação a um referencial terrestre (espaço-objeto).

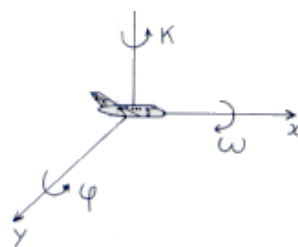


Figura 9: Ângulos de atitude  $\omega, \phi, \kappa$   
 Fonte: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

Com o conhecimento destes parâmetros, pode-se agora deduzir as coordenadas no espaço-objeto de qualquer ponto representado no espaço-imagem através das equações de colinearidade, que consideram estas coordenadas no espaço-objeto como incógnitas.

$$x = x_0 - f \cdot \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y = y_0 - f \cdot \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

Onde:

$x, y$  = coordenadas do ponto de interesse no espaço-imagem

$x_0, y_0$  = coordenadas do centro de perspectiva no espaço-imagem

$f$  = distância focal da câmera

$X, Y$  = coordenadas do ponto de interesse no espaço-objeto

$X_0, Y_0$  = coordenadas do centro de perspectiva no espaço-objeto

$$r_{ij} = \text{elementos da matriz de rotação } R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \phi \cdot \cos \kappa & -\cos \phi \cdot \cos \kappa & \sin \phi \\ \cos \phi \cdot \sin \kappa + \sin \omega \cdot \sin \phi \cdot \cos \kappa & \cos \omega \cdot \cos \kappa + \sin \omega \cdot \sin \phi \cdot \sin \kappa & -\sin \omega \cdot \cos \phi \\ \sin \phi \cdot \sin \kappa - \cos \omega \cdot \sin \phi \cdot \cos \kappa & \sin \omega \cdot \cos \kappa + \cos \omega \cdot \sin \phi \cdot \sin \kappa & \cos \omega \cdot \cos \phi \end{bmatrix}$$

A partir dessas equações de colinearidade, pode-se realizar uma série de cálculos, como a Resseção Espacial (obtem valores dos parâmetros de orientação exterior), a Interseção Espacial (obtem os valores de coordenadas tridimensionais para um par de imagens) e o Ajustamento por Feixes Perspectivos (propicia a obtenção destes valores já citados para um bloco de fotografias).

### 2.3.2.3. Orientação de Imagens de Sensoriamento Remoto

Na formação do estereomodelos compostos por imagens de sensoriamento remoto, utiliza-se uma metodologia baseada num modelo de coplanaridade adaptado (Ruy e Tommaselli, 2003). Neste caso, o modelo é tratado de forma diferente, sendo os parâmetros de orientação exterior normalizados pela restrição de coplanaridade num sistema de referência terrestre, no qual estes parâmetros foram determinados no momento da tomada das imagens pelo sistema de posicionamento do satélite. No

modelo original as fotos são orientadas uma em relação à outra, num referencial arbitrário da foto da esquerda.

### - Identificação Automática de Pontos Homólogos

Para compatibilizar os parâmetros de orientação no ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados, alguns pontos homólogos devem ser medidos no modelo. Esses pontos podem ser identificados automaticamente através do uso de técnicas de correlação (Ruy e Tommaselli, 2003). As técnicas de correlação implicam em que a medida de similaridade entre a janela de referência, contendo pixels de uma imagem, e a janela de pesquisa, contendo pixels da outra, é calculada por um fator de correlação normalizado ( $\rho$ ), definido em Kraus (1993) por:

$$\rho = \frac{\sigma_{RP}}{\sigma_R \sigma_P} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m ((g_R(x_i, y_j) - \bar{g}_R)(g_P(x_i, y_j) - \bar{g}_P))}{\sqrt{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m (g_R(x_i, y_j) - \bar{g}_R)^2 * \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m (g_P(x_i, y_j) - \bar{g}_P)^2}}$$

Onde:

$\sigma_{RP}$ : covariância entre as janelas de referência e de pesquisa;

$\sigma_R$ : desvio-padrão da janela de referência (*template*).

$\sigma_P$ : desvio-padrão da janela de pesquisa;

$(m, n)$ : dimensão das janelas de referência e pesquisa;

$g_R(x_i, y_j)$ : nível de cinza da posição  $(x_i, y_j)$ : na janela de referência;

$g_P(x_i, y_j)$ : nível de cinza da posição  $(x_i, y_j)$ , na janela de pesquisa;

$\bar{g}_R$ : média dos níveis de cinza da janela de referência;

$\bar{g}_P$ : média dos níveis de cinza da janela de pesquisa.

Este fator de correlação é determinado para cada posição da janela de pesquisa na janela de busca. O fator de correlação varia entre  $-1$  e  $1$ . Esses valores correspondem, respectivamente, aos casos de correlação inversa e de similaridade máxima, e o valor  $0$  indica que não há correlação entre as janelas.

#### 2.3.2.4. Aerotriangulação

A aerotriangulação (**Figura 10**) é uma técnica segura de cálculo de coordenadas espaciais de pontos medidos fotogrametricamente. O seu principal objetivo é fornecer coordenadas precisas para os pontos necessários à orientação absoluta de

modelos fotogramétricos, já que, para isso é comum a necessidade de levar-se em conta uma quantidade considerável de pontos. Através da aerotriangulação, pode-se necessitar das coordenadas levantadas “*in loco*” de apenas alguns poucos pontos espaçados pelo bloco para calcular, por interpolação, quantos pontos forem necessários para cada modelo. Isto é o que normalmente se denomina “adensamento” de pontos de campo.

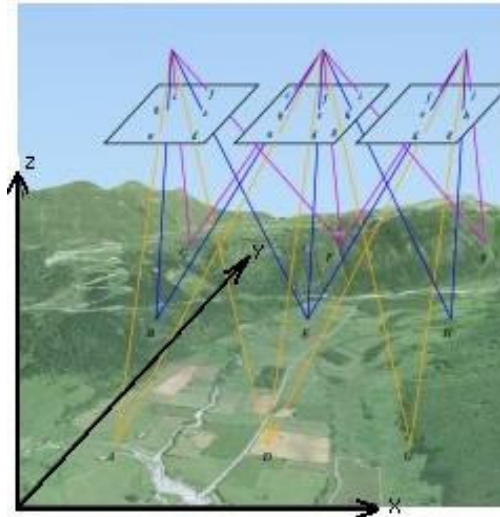


Figura 10: Interseções espaciais para três imagens.  
 Fonte: [www.tracasa.es/html/es/t\\_cartografia.html](http://www.tracasa.es/html/es/t_cartografia.html)

### 2.3.2.5. Retificação de Imagens

Retificar uma imagem consiste em projetá-la, segundo seu próprio feixe perspectivo, para um plano horizontal (Andrade, 1998). Esse processo permite modificar ou até mesmo eliminar completamente as distorções causadas pelos ângulos de atitude da câmara em relação a um dado referencial, bem como pela distância focal da imagem resultante (distorção radial).

No caso da fotogrametria aérea/orbital, ou seja, a fotogrametria com vistas ao mapeamento em larga escala, interessa transformar as imagens em perfeitamente verticais, ou seja: eliminar os ângulos de atitude  $\phi$  e  $\omega$ , gerando, então, imagens perfeitamente verticais. O objetivo primordial da retificação para a fotogrametria é gerar uma nova imagem vertical sem as distorções introduzidas pela atitude do sensor durante a tomada da imagem.

### 2.3.2.6. Normalização de Imagens

Diferentemente da retificação, que é feita imagem a imagem, a normalização é “orientada” ao par estereoscópico, porém sem restringir-se à área de

superposição das imagens. O objetivo principal da normalização é gerar um novo par de imagens digitais que se adapte à assim chamada geometria epipolar (Brito, 2002). Para isso, se faz necessário eliminar todos os ângulos de atitude da aeronave. Cabe lembrar que na retificação, apenas  $\phi$  e  $\omega$  devem ser obrigatoriamente zerados.

### 2.3.2.7. Ortorretificação de Imagens

O processo de ortorretificação (**Figura 11**) de imagens é responsável por transformar imagens com perspectiva central (com os inúmeros raios de luz advindos de diferentes pontos imageados, passando por um só ponto: o centro de perspectiva) em imagens em perspectiva ortogonal (em que raios ortogonais são projetados a partir da região imageada, sem nunca se encontrar). É através desse processo que se eliminam a distorção radial e os desvios relativos ao relevo da região imageada.

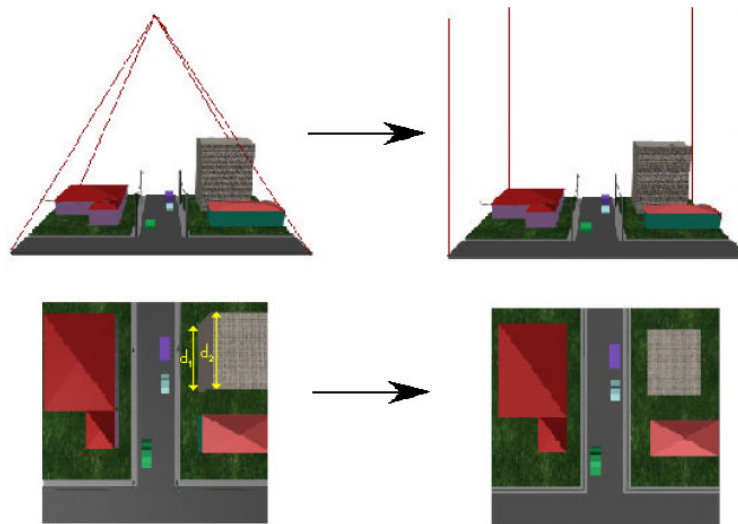


Figura 11: Esquema demonstrando os efeitos da transformação de perspectiva pelo processo de ortorretificação. *Adaptado de: BRITO, 2002.*

Uma imagem em perspectiva central 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, podendo ser empregada em qualquer atividade que demande um mapa ou carta ou fonte de dados similar (Brito, 2002).

O método matemático mais empregado na ortorretificação de imagens é a retificação diferencial (Andrade, 1998). Seu objetivo é gerar uma nova imagem digital em perspectiva ortogonal, através da reconstrução dos feixes perspectivos (**Figura 12**).

Essa “nova imagem” é feita a partir das coordenadas tridimensionais de cada pixel que vai formá-la e, por intermédio dos parâmetros da orientação exterior conhecidos, determinar as coordenadas no novo espaço-imagem para cada ponto. Através dos parâmetros da orientação interior, chega-se ao pixel correspondente, e, conseqüentemente, ao seu nível de cinza, que é reamostrado na imagem ortorretificada.

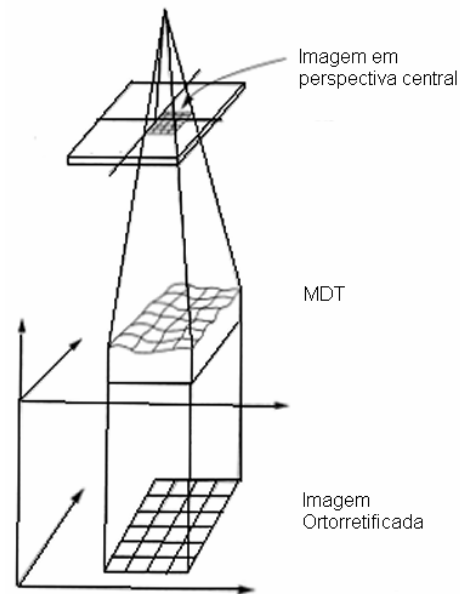


Figura 12: Esquema representativo das etapas da ortorretificação.

Fonte: [www.profc.udec.cl/~gabriel/tutoriales](http://www.profc.udec.cl/~gabriel/tutoriales)

## 2.4. Modelagem Digital de Terreno (MDT)

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado. O MDT pode ser utilizado para representar informações de ordem econômica e social (tais como a distribuição da população ou renda dos habitantes de uma região) ou acerca do meio físico (tais como dados de relevo, poluição, temperatura, geofísica, geológicos, etc.). Entre alguns usos do MDT pode-se citar (Burrough, 1986):

- Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas e perfis topográficos;
- Ortorretificação de imagens;
- Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio à análise de geomorfologia e erodibilidade;
- Determinação de intervisibilidade de pontos;
- Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Para a representação de uma superfície real no computador, é indispensável a elaboração e criação de um modelo digital, que pode estar representado por equações analíticas ou uma rede (grade) de pontos, de modo a transmitir ao usuário as características espaciais do terreno.

A criação de um MDT corresponde a uma nova maneira de enfocar o problema da elaboração e implantação de projetos. A partir dos modelos pode-se calcular diretamente volumes, áreas, desenhar perfis e secções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e aspecto, gerar fatiamentos nos intervalos desejados e perspectivas tridimensionais, etc.

No processo de modelagem numérica de terreno pode-se distinguir três fases:

- obtenção dos dados,
- geração de grades,
- elaboração de produtos representando as informações obtidas.



### 2.4.1. Obtenção de Dados

Os dados de modelo numérico de terreno estão representados pelas coordenadas XYZ, onde Z caracteriza o parâmetro a ser modelado. A aquisição destes dados é geralmente realizada por levantamentos topográficos ou geodésicos, digitalização de mapas, medidas fotogramétricas a partir de modelos estereoscópicos e dados altimétricos adquiridos por GPS, aviões ou satélites.

Os métodos de aquisição de dados podem ser, por pontos amostrados, com espaçamento irregular e regular, bem como por mapas de isolinhas.

#### 2.4.1.1. Amostragem por Pontos

De acordo com o tipo de aquisição tem-se a distribuição das amostras conforme a **Figura 13**:

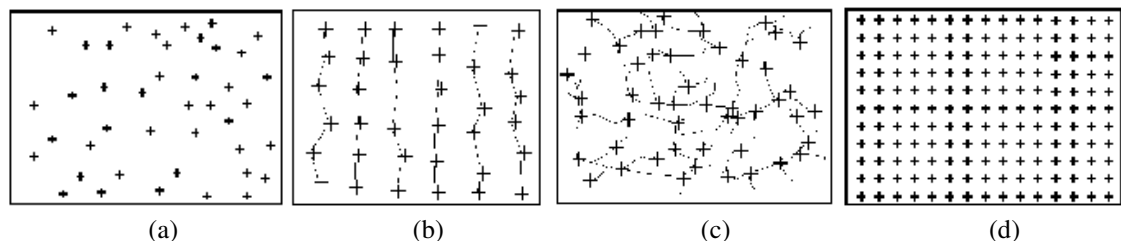


Figura 13: Distribuição dos pontos amostrais (a) irregular, (b) aerolevantamento, (c) a partir da drenagem e (d) regular. *Fonte: [www.dpi.inpe.br/spring](http://www.dpi.inpe.br/spring)*

O cuidado na escolha dos pontos e a quantidade de dados amostrados estão diretamente relacionados à qualidade do produto final de uma aplicação sobre o modelo. Para aplicações onde se requer um grau de realismo maior, a quantidade de pontos amostrados, bem como a sua distribuição espacial e a relevância de cada ponto para a representação do relevo são fatores decisivos.

#### 2.4.1.2. Amostragem por Isolinhas

Um mapa de isolinhas nada mais é do que a representação de uma superfície por meio de curvas de isovalor. O exemplo mais comum são as isolinhas altimétricas, também conhecidas como curvas de nível, existentes nos mapas topográficos. Nestes mapas ainda existem pontos amostrados irregularmente que foram obtidos por trabalhos de campo. A **Figura 14** mostra um exemplo de mapa plani-altimétrico com isolinhas e alguns pontos cotados.

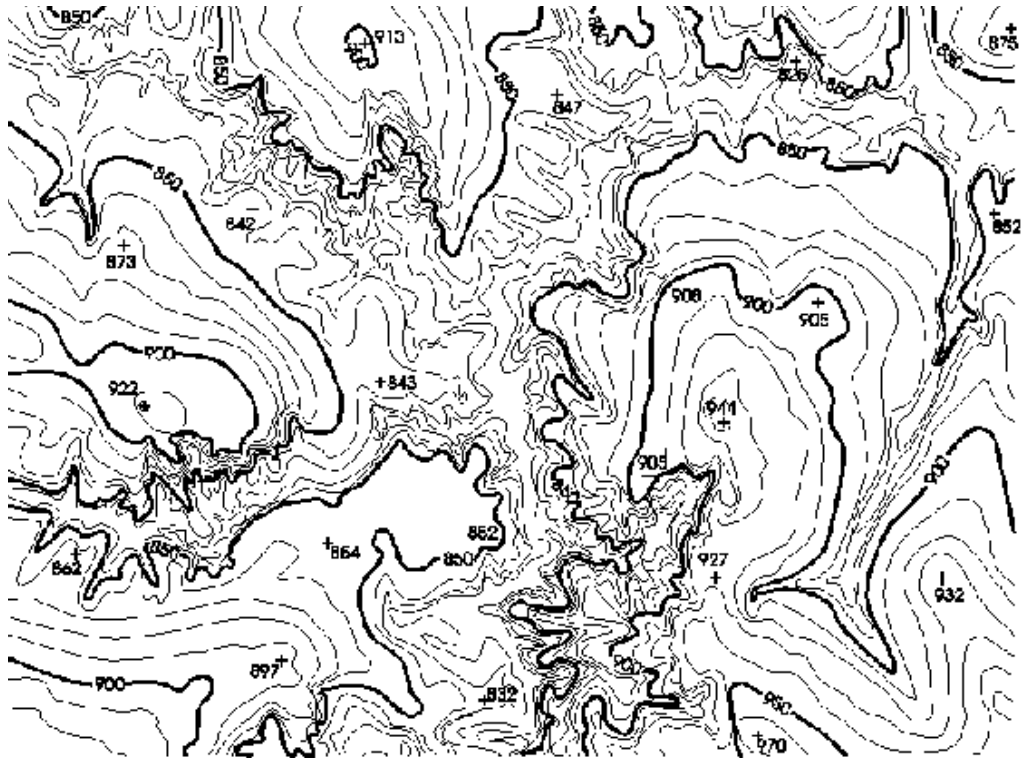


Figura 14: Mapa plani-altimétrico.

Fonte: [www.dpi.inpe.br/spring](http://www.dpi.inpe.br/spring)

A digitalização das isolinhas pode ser efetuada por meio manual, com uso de uma mesa digitalizadora, ou através de um processo automático por meio de *scanner*.

A digitalização manual consiste na operação de identificação de uma isolinha com um valor de cota, via mesa digitalizadora ou cursor, diretamente na tela.

A digitalização utilizando *scanner* resulta em uma matriz de pontos onde podem ser identificadas as isolinhas e os valores de cota. Processos de vetorização percorrem uma isolinha e transformam-na em uma seqüência de pontos com coordenadas  $x,y$  de mesmo valor em  $z$ .

#### 2.4.2. Geração de Grades

Os MDT não são elaborados diretamente sobre os dados amostrados, mas sim a partir dos modelos gerados no formato de grade regular ou irregular (**Figura 15**). Estes formatos simplificam a implementação dos algoritmos de aplicação e os tornam mais rápidos computacionalmente. As grades retangulares são geralmente utilizadas em aplicações qualitativas, por exemplo, para visualização da superfície. Enquanto o

modelo de grade irregular é utilizado quando se requer maior precisão na análise quantitativa dos dados.

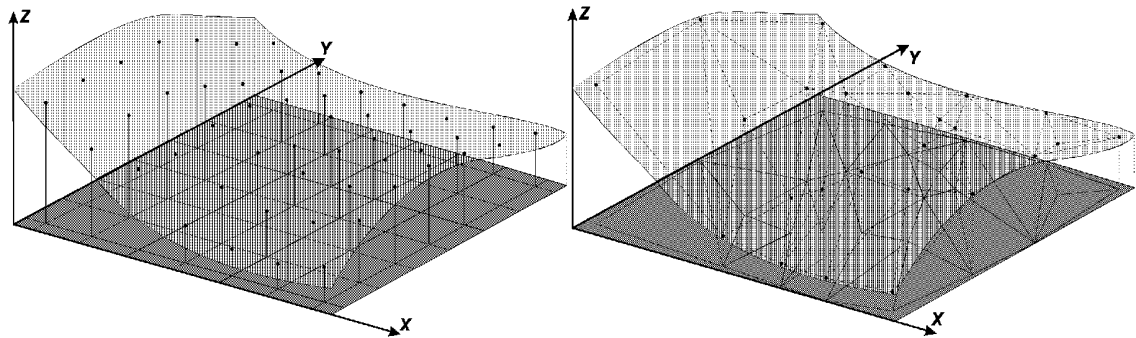


Figura 15: Exemplos de Grade Retangular Regular e Grade Triangular Irregular.

Fonte: [www.dpi.inpe.br/spring](http://www.dpi.inpe.br/spring)

#### 2.4.2.1. Geração de Grade Retangular

A grade retangular ou regular é um modelo digital que aproxima superfícies através de um poliedro de faces retangulares. Os vértices desses poliedros podem ser os próprios pontos amostrados, caso estes tenham sido adquiridos nas mesmas localizações  $x, y$  que definem a grade desejada.

A geração de grade regular ou retangular deve ser efetuada quando os dados amostrados na superfície não são obtidos com espaçamento regular. Assim, a partir das informações contidas nas isolinhas ou nos pontos amostrados, gera-se uma grade que representa de maneira mais fiel possível a superfície. Os valores iniciais a serem determinados são os espaçamentos nas direções  $x$  e  $y$  (resolução em  $x$  e  $y$ ) de forma que possam representar os valores próximos aos pontos da grade em regiões acidentadas e que, ao mesmo tempo, reduzam redundâncias em regiões mais planas.

Uma vez definida a resolução e conseqüentemente as coordenadas de cada ponto da grade, pode-se aplicar um dos métodos de interpolação para calcular o valor aproximado da elevação.

#### 2.4.2.2. Geração de Grade Triangular

Na modelagem da superfície por meio de grade irregular triangular, cada polígono que forma uma face do poliedro é um triângulo. Os vértices do triângulo são geralmente os pontos amostrados da superfície. Esta modelagem, considerando as arestas dos triângulos, permite que as informações morfológicas importantes, como as discontinuidades representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagem

(vales), sejam consideradas durante a geração da grade triangular, possibilitando assim, modelar a superfície do terreno preservando as feições geomórficas da superfície.

O número de redundâncias é bastante reduzido se comparado à grade retangular, uma vez que a malha é mais fina em regiões de grandes variações e mais espaçada em regiões quase planas. As discontinuidades da superfície podem ser modeladas através de linhas e pontos característicos.

Esta grade tem a vantagem de utilizar os próprios pontos amostrados para modelar a superfície, sem a necessidade de qualquer tipo de interpolação sobre os mesmos. A desvantagem da grade irregular é que os procedimentos para obtenção de dados derivados de grades triangulares tendem a ser mais complexos e conseqüentemente mais demorados que os da grade retangular.

#### **2.4.2.3. Interpoladores**

Interpolação é o procedimento utilizado para estimar o valor de um atributo em locais não amostrados a partir de pontos amostrados na mesma área ou região, convertendo dados de observações pontuais em campos contínuos. Alguns dos interpoladores mais comumente utilizados:

- Vizinho mais próximo:

Para cada ponto  $x,y$  da grade é atribuída a cota da amostra mais próxima ao ponto. Este interpolador deve ser usado quando se deseja manter os valores de cotas das amostras na grade sem gerar valores intermediários.

- Bilinear:

Para se calcular a superfície bilinear, para uma célula da grade aproveita-se as características de ordenação das posições dos elementos das células e otimiza-se o procedimento que implementa este interpolador.

Considera-se uma célula da grade formada pelos pontos vértices  $A, B, C$  e  $D$ , e um ponto genérico situado no interior da célula  $M$  (**Figura 16**).

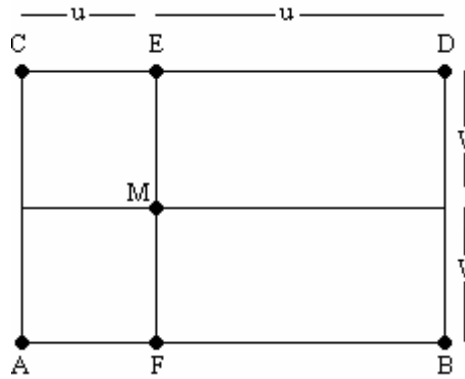


Figura 16: Exemplo ilustrativo de interpolação bilinear.

Fonte: [www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial)

O valor em  $M$  é função de  $f(u,v)$ , sendo  $(u,v)$  em  $(0,1)$ . A interpolação bilinear sobre a célula  $ABCD$  é realizada pela seguinte seqüência:

- Interpola-se linearmente os pontos  $E$  e  $F$  a partir dos pontos  $C$  e  $D$ , e  $A$  e  $B$ , respectivamente;
- Interpola-se o ponto  $M$  linearmente a partir dos pontos  $E$  e  $F$ . Assim, o valor de cota  $z_m$  é:

$$z_M = z_E \cdot (1-v) + z_F \cdot v$$

$$z_M = v \cdot (u \cdot z_B + (1-u) \cdot z_A) + (1-v) \cdot (u \cdot z_D + (1-u) \cdot z_C)$$

Com  $(u,v)$  normalizados em  $(0,1)$ .

- Médias Ponderadas e Inverso do Quadrado da Distância:

O algoritmo das Médias Ponderadas calcula estimativas de valores desconhecidos a partir dos valores amostrados vizinhos. A distância atua como o peso e o expoente usado permite ajustamentos a esse peso: maiores expoentes, aumentam a influência dos valores conhecidos mais próximos. A utilização do expoente 2 caracteriza o caso denominado Inverso do Quadrado da Distância.

$$\hat{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}}$$

Onde:

$\hat{Z}$  : valor interpolado

$d$  : distância de um dado ponto conhecido  $i$

$p$  : expoente de ponderação da distância

$n$  : número de pontos a serem incluídos na procura

$z$  : valor de  $z$  do ponto conhecido  $i$

$i$  : 1, 2, ...  $n$

- Krigagem:

A Krigagem é semelhante ao método de interpolação por Médias Ponderadas, com exceção dos pesos, que são determinados a partir de uma análise espacial, baseada no semivariograma experimental, denominada “comportamento típico de declive” (Peucker, 1980). Esta função é conhecida como autocorrelação, covariância ou variograma e as técnicas de estimação são chamadas de interpolação por autocorrelação, colocação ou krigagem, respectivamente.

Segundo Felgueiras (1987), a Krigagem é um método estatístico que utiliza as informações dos pontos vizinhos (variáveis regionalizadas), considerando além dos valores amostrados, a sua posição espacial relativa. Apesar deste processo inicialmente ter sido desenvolvido para estimativas de reservas em mineração, pode-se utilizar a krigagem para estimar o valor de  $z$  de um ponto de posição planimétrica conhecida, a partir de um conjunto de  $n$  pontos vizinhos, cujo valor de  $z$  é conhecido:

$$z_i = H^*(x_i, y_i)$$

O estimador  $H^*(x,y)$  é associado a cada posição a ser interpolada, sendo obtido através de uma combinação linear dos  $n$  pontos conhecidos :

$$H^*(x, y) = \sum_{i=1}^n p_i H(x_i, y_i)$$

Onde  $p_i$  é o ponderador obtido através dos conceitos de geoestatística, tendo como característica (Destri, 1988):

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1$$

O objetivo da Krigagem é obter os ponderadores  $p_i$  que forneçam estimativas não tendenciosas e com variâncias mínimas.

### 2.4.3. Elaboração de Produtos

Superadas as etapas de obtenção dos dados e geração das grades para cálculo das informações a serem fornecidas pelo modelo, tem-se a necessidade de elaboração de um produto final, que vai ser manuseado pelo usuário. Pode-se visualizar um MDT basicamente de três formas: gerando imagens em níveis de cinza, imagens sombreadas ou modelos tridimensionais.

#### 2.4.3.1. Geração de Imagem em Níveis de Cinza

A geração de imagem em níveis de cinza para representar um MDT (**Figura 17**), consiste em atribuir valores digitais de níveis de cinza (de 0 a 255, por exemplo) linearmente, dos mínimos aos máximos, a cada pixel, de acordo com sua cota.

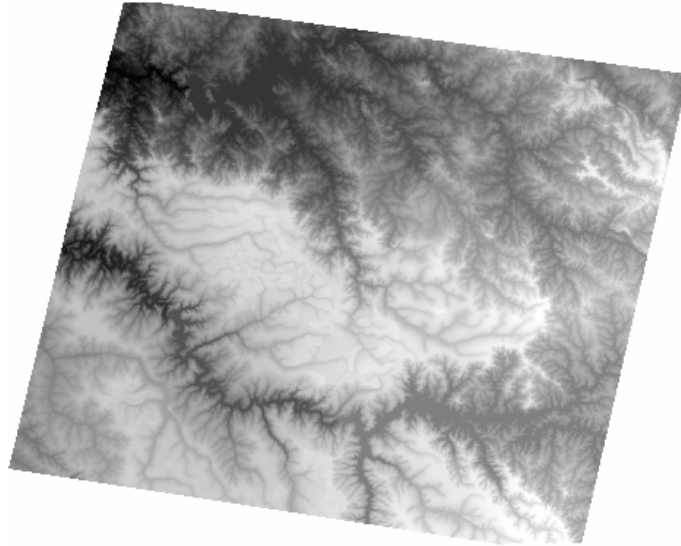


Figura 17: MDT da área de estudo representado por imagem em níveis de cinza.

#### 2.4.3.2. Geração de Imagem Sombreada

Uma imagem sombreada (**Figura 18**) é gerada a partir da aplicação de um modelo de iluminação sobre um modelo de superfície. O modelo de iluminação determina a intensidade de luz refletida em um ponto da superfície considerando o relevo, a posição da fonte de luz - que pode ser a luz ambiente - e a reflexão da superfície.

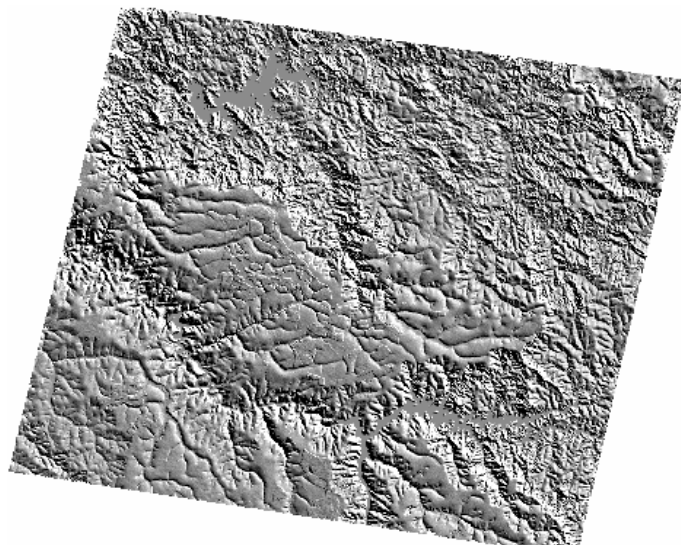


Figura 18: Imagem sombreada da mesma região do MDT representado na **Figura 17**.

### 2.4.3.3. Geração de Modelo de Visualização Tridimensional

Consiste na simulação de uma vista em perspectiva do sólido tridimensional (**Figura 19**) a partir das cotas interpoladas nas grades, representando proporcionalmente a superfície estudada. Normalmente, adota-se um fator de exagero vertical, para melhor observar as variações no relevo.

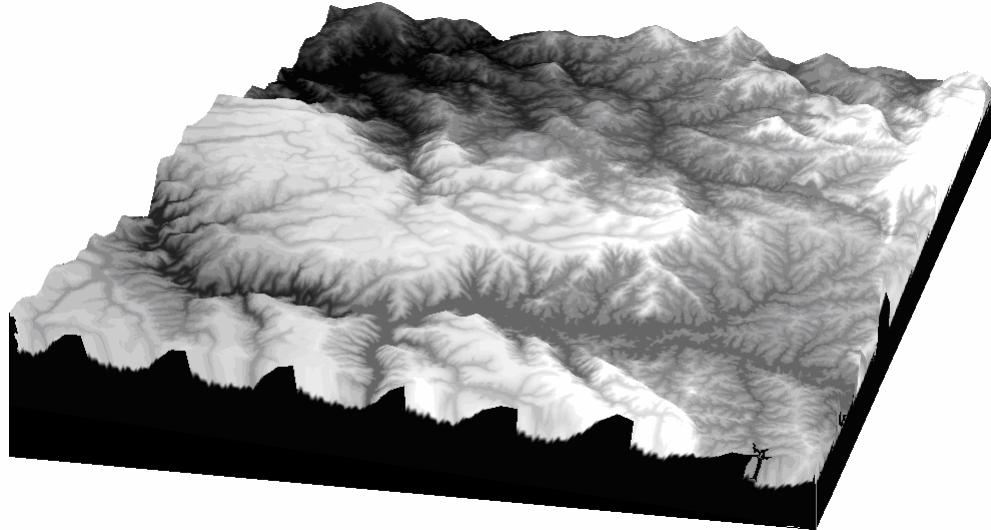


Figura 19: Visualização tridimensional do MDT da **Figura 17**.



## 2.5. SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*)

O SRTM é uma missão espacial liderada pela NASA, em parceria com as agências espaciais da Alemanha (DLR) e Itália (ASI), realizada em fevereiro de 2000. Com 11 dias de duração, seu objetivo foi gerar um modelo digital de elevação quase-global. O sensor utilizado foi um radar (SAR) a bordo do ônibus espacial *Endeavour*, que adquiriu dados sobre mais de 80% da superfície terrestre, nas bandas C e X, fazendo uso da técnica de interferometria. Nesta técnica, a altitude de pontos no terreno é obtida através da medição da diferença de fase entre duas imagens radar sobre um mesmo local na Terra. Diferente dos dados em estereoscopia do CBERS-2, o SRTM adquire os dados em uma mesma órbita, graças às duas antenas de recepção separadas por um mastro de 60 metros (**Figura 20**) a bordo da plataforma, o que melhora muito a qualidade das informações coletadas.

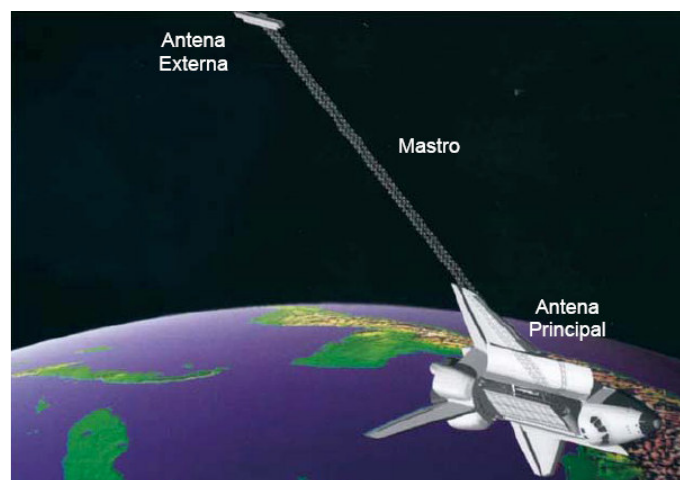


Figura 20: Esquema da aquisição de dados do SRTM

Fonte: <http://erg.usgs.gov/isb/pubs/factsheets/fs07103.html>

Os dados, adquiridos com resolução de 1 arco segundo (aproximadamente 30 metros, no equador), foram processados para a geração dos MDTs da área coberta. Os modelos relativos à banda C estão sendo distribuídos gratuitamente pela NASA para as Américas do Sul e do Norte, com resolução espacial de aproximadamente 90 metros. Há a possibilidade de se adquirir dados com resolução de 30 metros dependendo de acordos analisados individualmente pela NASA. Os dados relativos à banda X estão sendo processados e distribuídos pelo DLR – Centro Aeroespacial Alemão (JPL, 2004). Ao se iniciar a missão, esperava-se atingir precisões da ordem de 16 metros na altimetria (Duren, 1998).

Outro ponto a favor do SRTM é o uso da interferometria para o cálculo da altitude, que possui uma maior acurácia em relação à técnica da estereoscopia (CCRS, 2004). Além disso, alguns trabalhos indicam que podem ser atingidas precisões melhores do que as estimadas antes do início da missão, estimando em até 6 metros o erro vertical (Heipke, 2002). Para atingir tais metas, os dados devem ser processados a fim de se eliminar imperfeições do sistema, tais como valores espúrios próximos ao litoral e alguns vazios no continente, referentes a áreas de sombra ao sinal. Rao (2004), em experimentos de campo, encontrou erros menores que 5 metros na vertical e de 2 a 3 *pixels* na horizontal, o que chama a atenção para a necessidade de validação também para deslocamentos planimétricos.

Os MDTs gerados estão sendo disponibilizados no site <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/>, cobrindo áreas de 1° latitude por 1° de longitude no terreno. Cada arquivo tem aproximadamente uma linha e uma coluna de sobreposição com os arquivos correspondentes às áreas de sua vizinhança. O sistema de projeção utilizado é o de coordenadas geográficas (latitude e longitude) e o *datum* é o WGS84, sendo as altitudes dadas em metros.

## 2.6. Controle de Qualidade

Para uma adequada utilização dos produtos cartográficos no suporte às atividades rurais, no planejamento de obras de engenharia, no apoio à tomada de decisões da administração pública e qualquer outra finalidade em que estes possam ser aplicados, é imprescindível que o usuário conheça a qualidade das informações ali disponíveis e as limitações de utilização de cada tipo de documento. Por isso, há a necessidade de se verificar estatisticamente a qualidade dos produtos cartográficos.

A regulamentação do controle de qualidade de documentos cartográficos no Brasil funciona de acordo com as normas especificadas no Decreto Lei nº 89.817 de 20 de junho de 1984, o “Padrão de Exatidão Cartográfica” (PEC), que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. A classificação dos documentos cartográficos de acordo com a sua qualidade geométrica é detalhada nos artigos 8º e 9º do Capítulo II desse Decreto Lei. De acordo com esses artigos:

*“Art. 8º: As cartas, quanto à exatidão, devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica, segundo o critério indicado:*

*1. Noventa por cento dos pontos bem definidos em uma carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico - estabelecido.*

*2. Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico - estabelecido.*

*§1º Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos.*

*§2º A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão -  $PEC = 1,6449 EP$ .*

*§3º O Erro-Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.*

*§4º Para efeito das presentes Instruções, consideram-se equivalentes as expressões Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro-Médio-Quadrático.”*

*“Art. 9º: As cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas Classes A, B e C, segundo os critérios seguintes:*

*a. Classe A*

*1. Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 0,5 mm, na escala da carta, sendo de 0,3 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.*

*2. Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: metade da equidistância entre as curvas de nível, sendo de um terço desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.*

*b. Classe B*

*1. Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 0,8 mm na escala da carta, sendo de 0,5 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.*

*2. Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: três quintos da equidistância entre as curvas de nível, sendo de dois quintos o Erro-Padrão correspondente.*

*c. Classe C*

*1. Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 1,0 mm na escala da carta, sendo de 0,6 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.*

*2. Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: três quartos da equidistância entre as curvas de nível, sendo de metade desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.”*

Partindo das definições padronizadas pelo Decreto Lei, se necessita estabelecer os critérios estatísticos a serem utilizados nos cálculos de exatidão e acurácia das informações em estudo. Os métodos estatísticos que serão utilizados para a análise de qualidade no presente projeto são baseados, principalmente, na metodologia definida por Itame (2001) e Rocha (2002).

### 2.6.1. Precisão e Acurácia

Precisão é o tipo de medida utilizada para definir o grau de dispersão de um grupo de valores observados, ou seja, o quanto esses valores estão afastados da média do grupo. Gráficamente, pode ser observada pela amplitude da curva da função densidade de probabilidade desses valores: quanto mais “achatada”, pior é a precisão (**Figura 21**). Já a acurácia, ou exatidão, indica genericamente se os valores observados estão próximos do valor exato que se deseja encontrar. Por exemplo: divide-se aleatoriamente uma turma de 50 alunos em grupos de 10 e calcula-se a média das notas de cada grupo. O resultado mais exato é o do grupo cuja média mais se aproximar da média de todos os 50 alunos, enquanto o mais preciso é o do grupo cujos alunos tenham os valores de nota mais próximas entre si (menor variância).

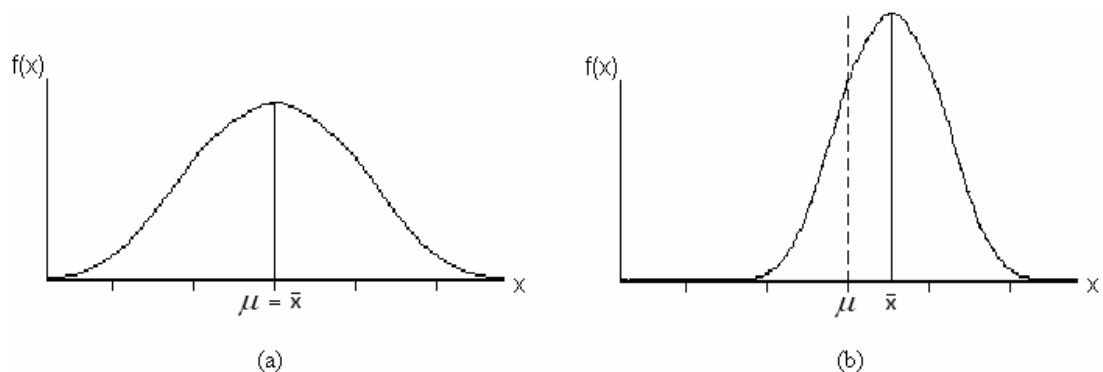


Figura 21: Os valores apresentados no gráfico (a) são mais exatos do que os em (b), enquanto estes últimos são mais precisos.

### 2.6.2. Número de Pontos Amostrais

Para análise estatística de um MDT, pode-se calcular a partir da definição do valor do intervalo de confiança e do erro amostral, o número de pontos de verificação a serem comparados com as cotas interpoladas utilizando-se a seguinte expressão:

$$n = \frac{Z^2 \cdot \gamma^2 \cdot N}{(N-1) \cdot \epsilon_r^2 + Z^2 \cdot \gamma^2}$$

Onde:

Z: Intervalo de Confiança

$\gamma = s/\bar{x}$

s: Desvio Padrão amostral

$\bar{x}$ : Média amostral

N: Tamanho da população

$\epsilon$ : Erro amostral

$\epsilon_r$ : Erro amostral Relativo ( $\epsilon_r = \epsilon/\bar{x}$ )

O valor do intervalo de confiança e o erro amostral são atribuídos em função da precisão da estimativa, finalidade da pesquisa, custo econômico e tempo disponível. O valor do erro amostral apresenta o erro máximo a ser aceito quando se utiliza uma média amostral ao invés da média populacional (Rocha, 2002).

### 2.6.3. Análise da Exatidão

Baseada na análise estatística das diferenças entre as coordenadas observadas no modelo gerado e as coordenadas  $\bar{x}$  de referência. Consiste na construção de um intervalo de confiança de 90% para a média  $\mu$  a partir da média amostral e do desvio padrão amostral  $S$ , dado por (Leal *et al*, 1999):

$$\mu = \bar{x} + (t_{\alpha}) \left( \frac{S}{\sqrt{n}} \right)$$

Onde:

$t_{\alpha}$  = valor tabelado da distribuição de *Student*

$n$  = tamanho da amostra

Em seguida, aplica-se um teste de hipótese com nível de significância de 10%, para validação da exatidão, formulando a hipótese:

$$H_0: \mu \leq x$$

$$H_1: \mu > x$$

Onde  $x$  é o erro máximo admissível (1/2 da equidistância para Classe A).

Determina-se o cálculo da estatística por:

$$t = \frac{(\bar{x} - \mu_0)}{S/\sqrt{n}}$$

Onde:

$\mu_0$  é a média populacional esperada.

$t$  é a estatística amostral para comparação com o valor  $t_{\alpha}$  tabelado da distribuição de *Student*.

### 2.6.4. Análise da Precisão

Verificação da coerência interna dos elementos do MDT. Costuma-se utilizar a distribuição do Qui-quadrado,  $\chi^2$ , que nada mais é do que a construção de um

intervalo de confiança de 90% para o desvio padrão populacional  $\sigma$  a partir do desvio padrão amostral  $s$ :

$$\sigma \leq \sqrt{\frac{(n-1).s^2}{\chi^2_{1-\alpha}}}$$

Novamente, aplica-se um teste de hipótese com nível de significância de 10%, para validação da precisão, confrontando:

$$H_0: \sigma \leq x$$

$$H_1: \sigma > x$$

Onde  $x$  são os erros máximos admissíveis em precisão (1/3 da equidistância para Classe A).

O cálculo da estatística é dado por:

$$\chi^2 = \frac{(n-1).s^2}{\sigma_0^2}$$

Verifica-se, então, se o valor está no intervalo de aceitação  $\chi^2 \leq \chi^2_{1-\alpha}$ .

### 3. Caracterização da Área de Estudo

Os únicos pares estereoscópicos do CBERS-2 disponibilizados pelo INPE são de uma área localizada próxima ao Triângulo Mineiro, na região de Estrela do Sul, entre os municípios de Catalão, no estado de Goiás, e Perdizes, em Minas Gerais (**Figura 22**). Devido a grandes dificuldades técnicas para a inclinação dos espelhos, necessária à tomada dessas imagens, não há previsão para imageamento de novos pares estereoscópicos pelo CBERS-2. Dos quatro pares tomados nessa região (imagens com visada inclinada nas órbitas 159 e 154), apenas um foi aproveitado, devido à excessiva cobertura de nuvens verificada nos demais.



Figura 22: Área abrangida pelo par estéreo, dentro da área do Projeto SP/MG/GO-50 do IBGE. Adaptado de: Maranhão, 2005.

A escolha dessa região deu-se, principalmente, devido à existência de vasto material cartográfico disponível em escalas apropriadas ao trabalho com o sensor HR-CCD (1:25000 e 1:50000), além de 4000 fotos aéreas métricas na escala de 1:35 000 e



950 pontos GPS previamente medidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para apoio fotogramétrico. Desses dados, 10 pontos de apoio fotogramétrico e 4 pontos GPS encontravam-se na área abrangida pelo par estereoscópico utilizado.

Localizada na região da Bacia Hidrográfica do Paraná, Sub-Bacia do Paranaíba, a área em estudo apresenta relevo predominantemente ondulado a montanhoso, com altitudes variando entre 600 e 1100 metros.

## 4. Materiais e Métodos

### 4.1. Material Utilizado

- Um par estereoscópico de imagens CBERS-2 do sensor HR-CCD (**Figura 23**) com recobrimento de 98,04% formado por imagens da órbita-ponto 156-121 datadas de 16 de Junho de 2004 e 1º de Julho de 2004 com inclinações de 18,6° para Leste e 17,033° para Oeste, respectivamente;



Figura 23: Composições coloridas do par estéreo utilizado - imagens de 16/6/2004 (a) e 01/7/2004 (b).

- Dezesseis cartas topográficas em escala 1:25000 da cartografia sistemática brasileira (*datum* SAD69/Imbituba), geradas pela Divisão de Serviço Geográfico (DSG), restituídas sobre fotos aéreas de 1982, gentilmente cedidas pela 5ª Divisão de Levantamento do Exército Brasileiro para fins de pesquisa;

- Coordenadas (*datum* SAD69/Imbituba) e localização de quatro pontos de controle medidos com GPS topográfico e 10 pontos de apoio fotogramétrico na área de estudo, gentilmente cedidas pelo setor de cartografia do IBGE-RJ para fins de pesquisa;

- Modelo Digital de Terreno da área de estudo gerado pela *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponível para *download* gratuitamente no endereço: <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2>;
- *Softwares* ERDAS 8.7 e LPS (*Leica Photogrammetry Suite*).
- *Software* ENVI 4.0.

#### **4.1.1. Leica Photogrammetry Suite (LPS)**

A *Leica Photogrammetry Suite* (LPS) é um conjunto de software, desenvolvido para se trabalhar com orientações fotogramétricas de imagens geoespaciais. É uma coleção de ferramentas que permitem transformar imagens brutas em camadas de dados exigidos em mapeamentos digitais, análises em sistemas de informações geográficas (SIG) e visualização 3D.

A LPS oferece aplicativos para criar todo um projeto, eliminando tarefas repetitivas com recursos como medição automática de pontos de amarração, extração automática do MDT e carregamento inteligente de várias imagens. Possibilita, também, a interoperabilidade com dados de outros softwares de fotogrametria.

A arquitetura modular da LPS permite que outros produtos sejam adicionados às suas configurações para acrescentar algumas funcionalidades. Alguns desses módulos foram utilizados no presente projeto, como o LPS TE (*Terrain Editor*), para verificação da consistência do posicionamento das imagens do par e visualização da estereoscopia; e o LPS ATE (*Automatic Terrain Extractor*), para extração dos MDTs e inserção de *breaklines*.

## **4.2. Método de Trabalho**

### **4.2.1. Processo Fotogramétrico**

A partir de um par estereoscópico de imagens coletadas pelo sensor HR-CCD do satélite CBERS-2 fez-se uso de técnicas de fotogrametria digital para a geração de dois Modelos Digitais de Terreno com diferentes resoluções: 60 e 100 metros.

Inicialmente, procedeu-se a configuração dos parâmetros do sensor utilizado. Na indicação do tipo de geometria do modelo optou-se pelo *Generic Pushbroom*, por ser o mais adequado ao sistema de varredura por sensores lineares do CBERS-2. O segundo passo foi a definição do sistema de coordenadas de referência a ser utilizado no trabalho. O *datum*

escolhido foi o atualmente utilizado no Sistema Geodésico Brasileiro, o SAD69, com os parâmetros de acordo com o listado a seguir:

- Superfície de referência: Elipsóide Internacional de 1967 (UGGI 1967)
- semi-eixo maior: 6 378 160m
- achatamento: 1/298,25
- Ponto *datum*: Vértice Chuá - 91031
- Coordenadas geodésicas:        Latitude = 19°45'41,6527" S  
    Longitude = 48°06'04,0639" W  
    Altura geométrica = 763,2819m
- Azimute (Chuá-Uberaba) 271°30'04,05".
- *Datum* Horizontal: SAD69 (*South American Datum*, 1969) - IBGE - Brasil.
- *Datum* Vertical: Imbituba-SC.
- Sistema de coordenadas plano-retangulares UTM (Universal Transversa de Mercator), zona 23 Sul.

Como já citado na seção 2.5.2.3., imagens de satélite diferem de fotografias métricas em diversos aspectos, o que resulta, evidentemente, em diferenças nos métodos de extração de informações altimétricas em cada um dos dois casos. Essas diferenças já começam a ser observadas na fase da Orientação Interior: as imagens do CBERS já vêm “pré-georreferenciadas” (mesmo que com erro horizontal de alguns quilômetros) pelas informações fornecidas pelo sistema de telemetria do satélite, e não em coordenadas de imagem (linhas,colunas).

Essa etapa do processo fotogramétrico é cumprida com o fornecimento dos parâmetros encontrados nos arquivos de metadados das imagens. Devido à diferença de inclinação do sensor na tomada de cada imagem, faz-se necessário criar no sistema um sensor para cada imagem, com as mesmas informações de distância focal (520mm), resolução espacial (19,57m - dado fornecido pela GISPLAN) e eixo cartesiano correspondente à órbita do satélite (y), diferindo apenas na informação de inclinação do sensor (-18,60° para a imagem de 16/6/2004 e +17,03° para a imagem de 1º/7/2004).

Na Orientação Exterior, foram utilizados os 4 pontos de controle de campo medidos por GPS localizados na área de recobrimento das imagens (**Figura 24-a** e **Tabela 5**) e os 10 pontos de apoio fotogramétrico (**Figura 24-b** e **Tabela 5**), além de 256 pontos de amarração (**Figura 24-c**) localizados automaticamente por correlação

entre os *pixels* de ambas as imagens do par e verificados um a um, manualmente. Esses dados foram utilizados para fornecer um georreferenciamento mais preciso às imagens e relacioná-las com suas posições e altitudes em relação ao terreno imageado.

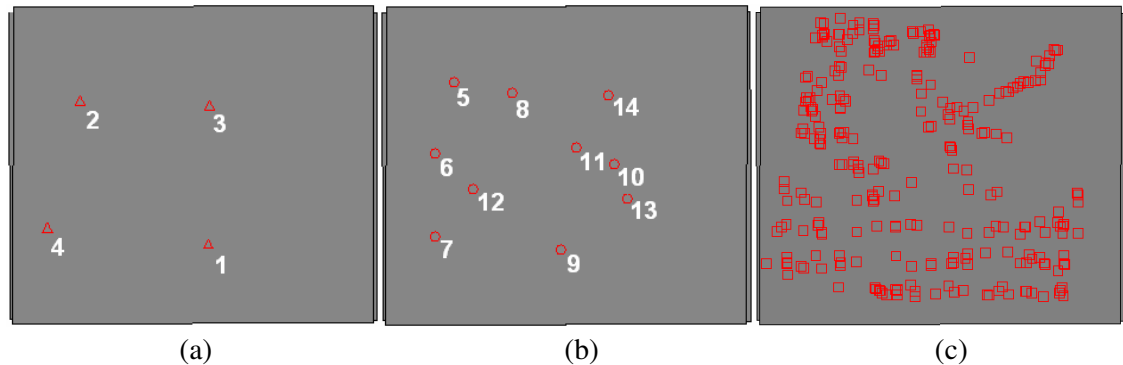


Figura 24: Distribuição dos *Control Points* (a), *Check Points* (b) e *Tie Points* (c).

Tabela 5: Coordenadas dos 4 pontos medidos com GPS e dos pontos fotogramétricos

Ponto	E	N	Z	
1	HV1750	224.598,071	7.883.260,411	821,290
2	HV1000	171.517,860	7.942.040,730	642,976
3	HV1017	225.165,899	7.940.342,686	821,050
4	HV1659	158.347,020	7.889.951,930	865,448
5	CB_1	172.609,360	7.950.347,370	563,330
6	CB_2	164.962,860	7.920.810,690	565,960
7	CB_3	164.893,270	7.886.327,240	885,200
8	CB_6	196.150,050	7.945.766,330	706,600
9	CB_8	216.606,180	7.882.171,310	828,790
10	CB_9	238.621,750	7.916.108,790	1.046,190
11	CB_10	222.943,020	7.922.910,270	1.004,620
12	CB_13	179.687,470	7.906.420,350	689,320
13	CB_16	243.356,660	7.902.197,370	1.017,040
14	CB_17	235.549,700	7.944.703,670	844,440

Por Triangulação, calculou-se as coordenadas tridimensionais desses pontos homólogos localizados automaticamente nas imagens, gerando um relatório contendo os resíduos de cada coordenada utilizada no cálculo e das coordenadas calculadas (**Anexo 1**).

A geração automática de MDT é feita através de cálculos de diferença de paralaxe entre os *pixels* homólogos nas imagens que compõem o par, apoiado nos pontos de coordenadas conhecidas fornecidos na orientação exterior (**Tabela 5**). Aos demais *pixels* são atribuídos valores de cota calculados por interpolação. O método de interpolação mais eficiente para esse tipo de trabalho é a Krigagem, mas como não é oferecida essa opção na estação fotogramétrica utilizada, gerou-se os MDTs (**Figura 25** e **Anexo 2**) utilizando-se os métodos de interpolação do Vizinho Mais Próximo e

Bilinear. Para uma posterior comparação, testou-se a geração de modelos com dois tamanhos de células (*pixels*): 60 e 100 metros de lado, valores coerentes com a precisão esperada dos valores de altitude interpolados (em torno de duas vezes a resolução espacial, ou seja, 40m) e compatíveis com a velocidade de processamento dos dados.

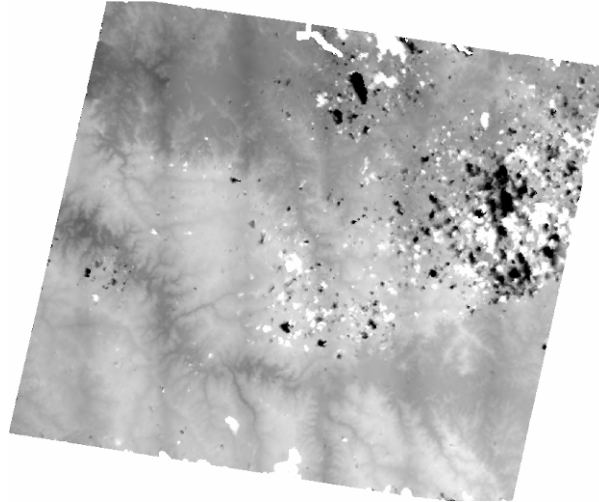


Figura 25: MDT gerado a partir de imagens CBERS-2, com células de 100 x 100 metros.

Ainda nessa etapa, optou-se pela definição de polígonos de altitude constante nos lagos das barragens abrangidas pelas imagens, fixando a altitude das superfícies desses corpos d'água para melhorar a qualidade dos MDTs. A obtenção desses dados relativos ao nível de água dos reservatórios das Usinas Hidrelétricas (UHE) nos dias em que as imagens foram coletadas pelo CBERS-2 (**Figura 26** e **Tabela 6**) foi feita junto à Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), com a intermediação do IBGE.

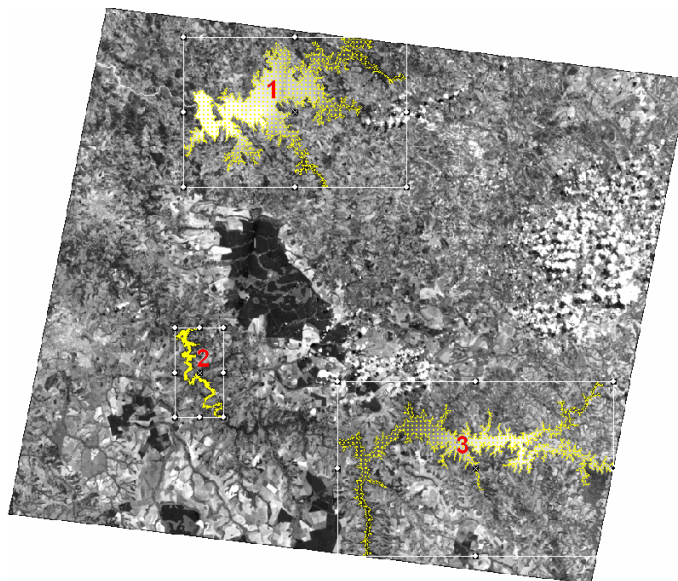


Figura 26: Lagos das UHEs Emborcação (1), Miranda (2) e Nova Ponte (3).

Tabela 6: Altitude, nas datas do imageamento, do nível de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas mostradas na Figura 33. *Fonte: CEMIG.*

Usina	Data	Nível do Reservatório (m)
1 - UHE Emborcação	16/06/2004	660,66
	01/07/2004	660,59
2 - UHE Miranda	16/06/2004	695,65
	01/07/2004	695,39
3 - UHE Nova Ponte	16/06/2004	808,97
	01/07/2004	809,18

#### 4.2.2. Análise dos MDTs Gerados

Nos procedimentos para o controle de qualidade do MDT, foi adotada uma metodologia de análise do produto cartográfico seguindo as regras e análises estatísticas apresentadas na seção 2.8. Como os MDTs gerados apresentaram os mesmos valores de cota para os dois métodos de interpolação utilizados, optou-se por aplicar os procedimentos a seguir foram aplicados somente a um MDT de cada resolução.

O ideal para esse tipo de análise é a utilização de pontos de controle de alta precisão levantados em campo, por exemplo, via posicionamento relativo GPS pós-processado. Devido à grande distância até a área em estudo, aliada à dificuldade de acesso ao local, optou-se pela utilização das cartas topográficas da DSG em escala 1:25000, que, segundo o PEC, devem apresentar exatidão altimétrica de 5 metros (metade da equidistância das curvas de nível - **Tabela 7**) em 90% dos pontos bem definidos na carta.

Tabela 7: Equidistância das curvas de nível de acordo com a escala da carta

Escala da Carta	Equidistância das Curvas de Nível (metros)
1:250 000	100
1:100 000	50
1:50 000	20
1:25 000	10

A área coberta pelas 16 cartas é de aproximadamente 2900 km<sup>2</sup>, incluindo uma parte do estereopar que continha uma considerável cobertura de nuvens. Procurou-se escolher pontos de verificação espacialmente bem distribuídos por toda essa região, evitando locais muito próximos às nuvens ou à grande área de reflorestamento de Eucalipto e *Pinus* abrangida pela imagem, já que não se dispunha de dados sobre a altura dessas árvores. Foram selecionados 20 pontos para uma análise *a priori*.

A partir dos valores de média e desvio padrão dos erros verificados nessa amostra inicial, procedeu-se o cálculo do número de pontos amostrais que seriam

necessários para a análise quantitativa da qualidade cartográfica dessas informações altimétricas. Para tanto, utilizou-se a equação apresentada na seção 2.8.2. da presente dissertação, extraída de Rocha (2002). Para garantir uma boa estimativa, adotou-se um valor de 95% para o intervalo de confiança e um erro amostral ( $\epsilon$ ) de 8 metros, o que levou a um erro relativo ( $\epsilon_r$ ) de 19%.

A etapa seguinte foi a aplicação de testes estatísticos, apresentados na seção 2.8. deste trabalho, para análise da exatidão e da precisão das informações altimétricas interpoladas nos MDTs gerados. A partir dos resultados constatados nesses testes, procurou-se classificar a utilização desses produtos cartográficos de acordo com os requisitos altimétricos do PEC.



## 5. Resultados e Discussões

### 5.1. Preparação para a Análise Estatística

A utilização de 20 pontos (**Figura 27**) para verificação inicial dos modelos gerou os resultados mostrados nas **Tabelas 8 e 9**. Para efeitos de comparação, foram também observados os valores no MDT gerado pelo SRTM. Embora esta seja uma fonte de informação não tão confiável como as cartas, é bem mais atualizada.

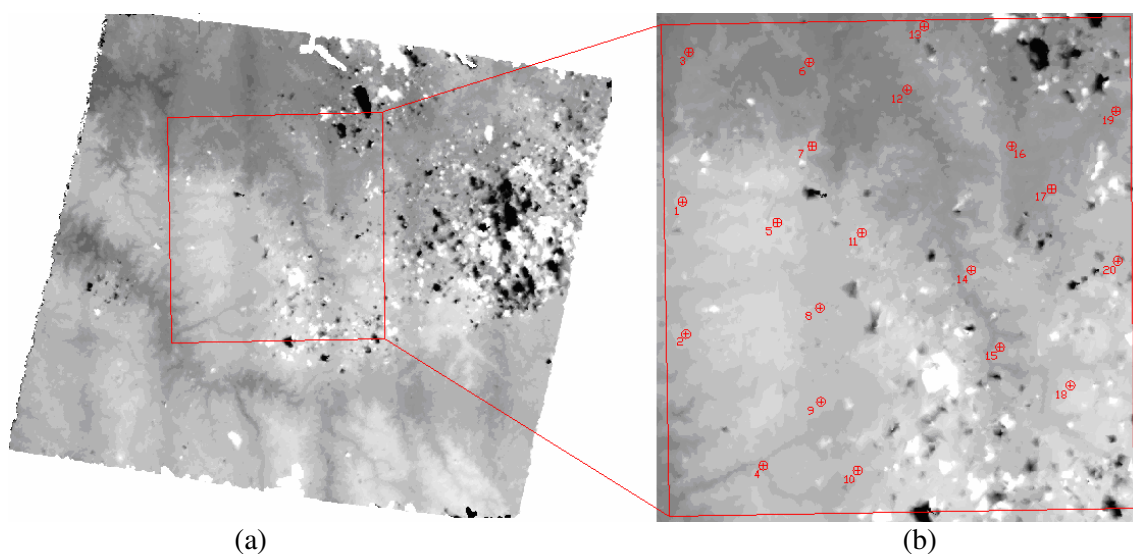


Figura 27: Área abrangida pelas cartas topográficas disponíveis (a) e distribuição dos 20 pontos da verificação inicial (b).

Tabela 8: Comparação *a priori* entre as cotas obtidas das cartas, do MDT gerado das imagens CBERS-2 (60 x 60m) e do SRTM (valores em metros)

	E	N	$Z_{carta}$	$Z_{CBERS (60)}$	$Z_{SRTM}$	$Z_{carta} - Z_{CBERS (60)}$	Resíduo CBERS (60)	$Z_{SRTM} - Z_{CBERS (60)}$
1	185925	7931717	953	979,70	960	-26,70	26,70	-19,70
2	186330	7916940	939	1008,61	956	-69,61	69,61	-52,61
3	186645	7948453	665	681,16	687	-16,16	16,16	5,84
4	194953	7902201	870	867,05	784	2,95	2,95	-83,05
5	196535	7929395	992	1074,93	1009	-82,93	82,93	-65,93
6	200100	7947320	767	774,40	765	-7,40	7,40	-9,40
7	200430	7937955	930	970,19	947	-40,19	40,19	-23,19

8	201310	7919839	968	992,74	996	-24,74	24,74	3,26	
9	201435	7909340	958	992,38	971	-34,38	34,38	-21,38	
10	205529	7901665	963	997,20	975	-34,20	34,20	-22,20	
11	206000	7928255	1003	1041,79	1006	-38,79	38,79	-35,79	
12	211041	7944245	675	717,09	677	-42,09	42,09	-40,09	
13	212980	7951350	728	782,12	724	-54,12	54,12	-58,12	
14	218237	7924066	901	957,20	924	-56,20	56,20	-33,20	
15	221435	7915464	892	910,18	908	-18,18	18,18	-2,18	
16	222728	7937955	846	815,23	842	30,77	30,77	26,77	
17	227229	7933167	810	853,90	810	-43,90	43,90	-43,90	
18	229325	7911160	1003	1097,09	1008	-94,09	94,09	-89,09	
19	234440	7941863	743	799,95	751	-56,95	56,95	-48,95	
20	234620	7925110	900	968,55	910	-68,55	68,55	-58,55	
						$\mu_{60}$	-38,77	42,15	-33,57
						$\sigma_{60}$	29,59	24,26	30,14

Tabela 9: Comparação *a priori* entre as cotas obtidas das cartas, do MDT gerado das imagens CBERS-2 (100 x 100m) e do SRTM (valores em metros)

	E	N	Z <sub>carta</sub>	Z <sub>CBERS (100)</sub>	Z <sub>SRTM</sub>	Z <sub>carta</sub> - Z <sub>CBERS (100)</sub>	Resíduo CBERS (100)	Z <sub>SRTM</sub> - Z <sub>CBERS (100)</sub>	
1	185925	7931717	953	979,10	960	-26,10	26,10	-19,10	
2	186330	7916940	939	994,94	956	-55,94	55,94	-38,94	
3	186645	7948453	665	681,97	687	-16,97	16,97	5,03	
4	194953	7902201	870	865,30	784	4,70	4,70	-81,30	
5	196535	7929395	992	1079,89	1009	-87,89	87,89	-70,89	
6	200100	7947320	767	765,71	765	1,29	1,29	-0,71	
7	200430	7937955	930	967,71	947	-37,71	37,71	-20,71	
8	201310	7919839	968	991,29	996	-23,29	23,29	4,71	
9	201435	7909340	958	1003,91	971	-45,91	45,91	-32,91	
10	205529	7901665	963	1008,86	975	-45,86	45,86	-33,86	
11	206000	7928255	1003	1041,16	1006	-38,16	38,16	-35,16	
12	211041	7944245	675	722,15	677	-47,15	47,15	-45,15	
13	212980	7951350	728	779,34	724	-51,34	51,34	-55,34	
14	218237	7924066	901	962,70	924	-61,70	61,70	-38,70	
15	221435	7915464	892	914,99	908	-22,99	22,99	-6,99	
16	222728	7937955	846	813,50	842	32,50	32,50	28,50	
17	227229	7933167	810	852,63	810	-42,63	42,63	-42,63	
18	229325	7911160	1003	1096,38	1008	-93,38	93,38	-88,38	
19	234440	7941863	743	799,81	751	-56,81	56,81	-48,81	
20	234620	7925110	900	967,38	910	-67,38	67,38	-57,38	
						$\mu_{100}$	-39,14	42,99	-33,94
						$\sigma_{100}$	30,26	24,15	30,08

A partir desses resultados ( $\mu_{60} = 42,15$  e  $\sigma_{60} = 24,26$ , portanto:  $\gamma_{60} = 57,6\%$ ;  $\mu_{100} = 42,99$  e  $\sigma_{100} = 24,15$ , portanto:  $\gamma_{100} = 56,2\%$ ) e da definição dos valores de intervalo de confiança em 95% ( $Z = 1,96$ ) e erro amostral ( $\epsilon = 8$  metros), obteve-se

número de pontos amostrais que seriam necessários para a análise quantitativa da qualidade cartográfica dessas informações altimétricas. O tamanho da população adotado foi o número de pixels abrangidos pela área das cartas, ou seja,  $N_{60} = 800000$  e  $N_{100} = 360000$ . Aplicando esses valores à devida equação, chegou-se aos valores  $n_{60} = 35,32$  e  $n_{100} = 35,01$ , o que corresponde a 36 pontos amostrais para ambos os casos.

Coletou-se, então, mais 16 pontos para verificação dos MDTs, sempre respeitando um critério de boa distribuição espacial, obtendo-se a configuração mostrada nas **Tabelas 10 e 11** e na **Figura 28**. Chama a atenção que 15 pontos apresentam erro superior a 50 metros.

Tabela 10: Relação dos 36 pontos de verificação do MDT (60 x 60m)

	E	N	Z <sub>carta</sub>	Z <sub>CBERS (60)</sub>	Z <sub>SRTM</sub>	Z <sub>carta</sub> - Z <sub>CBERS (60)</sub>	Resíduo CBERS (60)	Z <sub>SRTM</sub> - Z <sub>CBERS (60)</sub>
1	185925	7931717	953	979,70	960	-26,70	26,70	-19,70
2	186330	7916940	939	1008,61	956	-69,61	69,61	-52,61
3	186645	7948453	665	681,16	687	-16,16	16,16	5,84
4	187490	7906600	972	931,05	889	40,95	40,95	-42,05
5	188400	7946430	763	814,49	755	-51,49	51,49	-59,49
6	188426	7900760	818	874,45	824	-56,45	56,45	-50,45
7	188559	7941945	767	799,62	764	-32,62	32,62	-35,62
8	189680	7910240	885	988,67	894	-103,67	103,67	-94,67
9	194953	7902201	870	867,05	784	2,95	2,95	-83,05
10	195340	7938065	885	968,31	906	-83,31	83,31	-62,31
11	196535	7929395	992	1074,93	1009	-82,93	82,93	-65,93
12	196975	7915540	977	1083,98	1002	-106,98	106,98	-81,98
13	200100	7947320	767	774,40	765	-7,40	7,40	-9,40
14	200430	7937955	930	970,19	947	-40,19	40,19	-23,19
15	201310	7919839	968	992,74	996	-24,74	24,74	3,26
16	201435	7909340	958	992,38	971	-34,38	34,38	-21,38
17	203420	7942240	741	659,91	736	81,09	81,09	76,09
18	205434	7912268	961	992,49	977	-31,49	31,49	-15,49
19	205529	7901665	963	997,20	975	-34,20	34,20	-22,20
20	206000	7928255	1003	1041,79	1006	-38,79	38,79	-35,79
21	210240	7930359	789	836,41	779	-47,41	47,41	-57,41
22	211041	7944245	675	717,09	677	-42,09	42,09	-40,09
23	212136	7937863	753	822,51	744	-69,51	69,51	-78,51
24	212980	7951350	728	782,12	724	-54,12	54,12	-58,12
25	216990	7939570	808	862,71	808	-54,71	54,71	-54,71
26	218237	7924066	901	957,20	924	-56,20	56,20	-33,20
27	219830	7934258	802	827,46	805	-25,46	25,46	-22,46
28	221435	7915464	892	910,18	908	-18,18	18,18	-2,18
29	221480	7935710	870	872,45	867	-2,45	2,45	-5,45
30	222728	7937955	846	815,23	842	30,77	30,77	26,77
31	223533	7921962	1009	1051,24	1009	-42,24	42,24	-42,24
32	227229	7933167	810	853,90	810	-43,90	43,90	-43,90
33	228930	7939450	807	832,08	806	-25,08	25,08	-26,08

34	229325	7911160	1003	1097,09	1008	-94,09	94,09	-89,09	
35	234440	7941863	743	799,95	751	-56,95	56,95	-48,95	
36	234620	7925110	900	968,55	910	-68,55	68,55	-58,55	
						$\mu_{60}$	-38,51	47,16	-36,79
						$\sigma_{60}$	38,45	26,75	34,33

Tabela 11: Relação dos 36 pontos de verificação do MDT (100 x 100m)

	E	N	Z <sub>carta</sub>	Z <sub>CBERS (100)</sub>	Z <sub>SRTM</sub>	Z <sub>carta</sub> - Z <sub>CBERS (100)</sub>	Resíduo CBERS (100)	Z <sub>SRTM</sub> - Z <sub>CBERS (100)</sub>	
1	185925	7931717	953	979,10	960	-26,10	26,10	-19,10	
2	186330	7916940	939	994,94	956	-55,94	55,94	-38,94	
3	186645	7948453	665	681,88	687	-16,97	16,97	5,03	
4	187490	7906600	972	939,53	889	32,47	32,47	-50,53	
5	188400	7946430	763	813,23	755	-50,23	50,23	-58,23	
6	188426	7900760	818	877,30	824	-59,30	59,30	-53,30	
7	188559	7941945	767	811,32	764	-44,32	44,32	-47,32	
8	189680	7910240	885	981,19	894	-96,19	96,19	-87,19	
9	194953	7902201	870	871,09	784	4,70	4,70	-81,30	
10	195340	7938065	885	942,12	906	-88,00	88,00	-67,00	
11	196535	7929395	992	1079,89	1009	-87,89	87,89	-70,89	
12	196975	7915540	977	1083,73	1002	-106,73	106,73	-81,73	
13	200100	7947320	767	765,71	765	1,29	1,29	-0,71	
14	200430	7937955	930	967,71	947	-37,71	37,71	-20,71	
15	201310	7919839	968	992,38	996	-23,29	23,29	4,71	
16	201435	7909340	958	1003,91	971	-45,91	45,91	-32,91	
17	203420	7942240	741	670,14	736	70,86	70,86	65,86	
18	205434	7912268	961	992,65	977	-31,65	31,65	-15,65	
19	205529	7901665	963	1008,86	975	-45,86	45,86	-33,86	
20	206000	7928255	1003	1041,16	1006	-38,16	38,16	-35,16	
21	210240	7930359	789	843,68	779	-54,68	54,68	-64,68	
22	211041	7944245	675	722,15	677	-47,15	47,15	-45,15	
23	212136	7937863	753	822,17	744	-69,17	69,17	-78,17	
24	212980	7951350	728	779,34	724	-51,34	51,34	-55,34	
25	216990	7939570	808	864,52	808	-56,52	56,52	-56,52	
26	218237	7924066	901	962,70	924	-61,70	61,70	-38,70	
27	219830	7934258	802	830,12	805	-28,12	28,12	-25,12	
28	221435	7915464	892	914,99	908	-22,99	22,99	-6,99	
29	221480	7935710	870	872,45	867	-2,45	2,45	-5,45	
30	222728	7937955	846	813,50	842	32,50	32,50	28,50	
31	223533	7921962	1009	1007,20	1009	1,80	1,80	1,80	
32	227229	7933167	810	852,63	810	-42,63	42,63	-42,63	
33	228930	7939450	807	841,82	806	-34,82	34,82	-35,82	
34	229325	7911160	1003	1096,38	1008	-93,38	93,38	-88,38	
35	234440	7941863	743	799,81	751	-56,81	56,81	-48,81	
36	234620	7925110	900	967,38	910	-67,38	67,38	-57,38	
						$\mu_{100}$	-38,88	46,86	-37,16
						$\sigma_{100}$	37,82	26,95	33,94

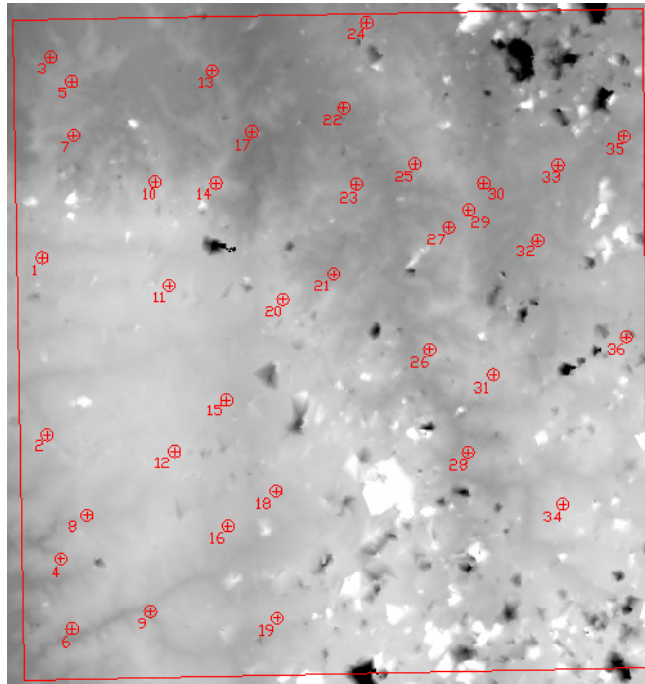


Figura 28: Distribuição dos 36 pontos de verificação utilizados na análise estatística do MDT gerado através dos pares estéreo do CBERS-2

Apesar de serem bem maiores do que os valores observados para os resíduos das cotas do SRTM, os valores de média amostral e desvio padrão amostral dos resíduos do MDT do CBERS-2 apresentaram valores compatíveis com os definidos na legislação brasileira para documentos cartográficos classe A na escala 1:250 000.

## 5.2. Controle de Qualidade

Os requisitos de altimetria do PEC para um documento cartográfico ser considerado Classe A definem os critérios de exatidão em metade da equidistância das curvas de nível e os de precisão em um terço dessa equidistância. Partindo desse princípio, testou-se a hipótese de se definir a escala máxima para trabalho com as informações altimétricas obtidas de MDTs gerados a partir de pares estereoscópicos de imagens do sensor CCD do satélite CBERS-2 em 1:250 000 (equidistância das curvas de nível: 100 metros).

### 5.2.1. Avaliação do MDT com Células de 60 metros

#### 5.2.1.1. Análise da Exatidão

Conforme procedimentos obtidos de Leal *et al*, 1999, pôde-se estimar a média populacional a partir da média amostral, construindo um intervalo de confiança de 90% e 35 graus de liberdade, aplicando-se a equação a seguir:

$$\mu \leq \bar{x} + (t_{\alpha}) \left( \frac{s}{\sqrt{n}} \right) \Rightarrow \mu \leq 52,98m$$

Onde:

$\bar{x}$  : média amostral = 47,16m

$s$  : desvio padrão amostral = 26,75

$\alpha$  : nível de significância = 10%

$t_{\alpha}$  : valor tabelado na distribuição de Student = 1,306

$n$  : tamanho da amostra = 36

Obtido esse valor, o próximo passo foi a avaliação da acurácia dessas informações de resíduos altimétricos. Essa avaliação se dá através do teste de hipótese exposto na seção 2.8.3. deste trabalho, que, nesse caso, se apresenta da seguinte forma:

$$H_0: \mu \leq 50m$$

$$H_1: \mu > 50m$$

Como o valor tabelado para 35 graus de liberdade e 10% de nível de significância,  $t_{35;0,1} = 1,306$ , é maior do que a estatística de teste calculada,  $t = -0,637$ , aceita-se a hipótese  $H_0$ . Em outras palavras: pode-se dizer com confiança de 90% que a média populacional dos erros nas informações altimétricas estudadas não deve ser maior do que 50 metros.

### 5.2.1.2. Análise da Precisão

De forma semelhante à exatidão, estimou-se também um intervalo de confiança de 90% referente ao desvio padrão populacional através da equação a seguir:

$$\sigma \leq \sqrt{\frac{(n-1).s^2}{\chi_{1-\alpha}^2}} \Rightarrow \sigma = 31,78m$$

Onde:

$s$  : desvio padrão amostral = 26,75m

$1-\alpha$  : intervalo de confiança = 90%

$\chi_{1-\alpha}^2$  : valor tabelado na distribuição Qui-quadrado = 24,797

$n$  : tamanho da amostra = 36

Outro teste de hipótese deve ser aplicado para a verificação da precisão dos dados de altimetria extraídos do MDT em estudo. A diferença é que, para esse fim, utiliza-se o desvio padrão como a grandeza a ser considerada e a distribuição Qui-quadrado como parâmetro, conforme citado na seção 2.8.4. deste trabalho.

$$H_0: \sigma \leq 33,333m$$

$$H_1: \sigma > 33,333m$$

Pelo cálculo da estatística de teste chega-se ao valor de  $\chi^2 = 22,54$ , que é inferior ao valor tabelado  $\chi_{90}^2 = 46,059$ , o que novamente leva à aceitação da hipótese  $H_0$ . Isso equivale a dizer que se tem 90% de confiança de que o desvio padrão populacional dos erros nas informações altimétricas estudadas deve ser menor ou igual a 33,333 metros.

## 5.2.2. Avaliação do MDT com células de 100 metros

### 5.2.2.1. Análise da Exatidão

Conforme os mesmos procedimentos aplicados no MDT com células de 60 metros, a partir da média amostral, estimou-se a média populacional em:

$$\mu \leq \bar{x} + (t_\alpha) \left( \frac{s}{\sqrt{n}} \right) \Rightarrow \mu \leq 51,64m$$

Onde:

$\bar{x}$  : média amostral = 45,93m

$s$  : desvio padrão amostral = 26,23m

$\alpha$  : nível de significância = 10%

$t_\alpha$  : valor tabelado na distribuição de *Student* = 1,306

$n$  : tamanho da amostra = 36

Procedeu-se, então, a avaliação da acurácia dessas informações de resíduos altimétricos, através do mesmo tipo de teste de hipótese já aplicado na seção 5.2.1.1.:

$$H_0: \mu \leq 50m$$

$$H_1: \mu > 50m$$

Como o valor tabelado para 35 graus de liberdade e 10% de nível de significância,  $t_{35;0,1} = 1,306$ , é maior do que a estatística de teste calculada,  $t = -0,931$ , aceita-se a hipótese  $H_0$ . Em outras palavras: pode-se dizer com confiança de 90% que a média populacional dos erros nas informações altimétricas estudadas deve ser menor ou igual a 50 metros.

### 5.2.2.2. Análise da Precisão

Estimou-se também um intervalo de confiança de 90% do desvio padrão populacional relativo às amostras lidas no MDT de células de 100 metros através da equação:

$$\sigma \leq \sqrt{\frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{1-\alpha}}} \Rightarrow \sigma = 31,16m$$

Onde:

$s$  : desvio padrão amostral = 26,23m

$1-\alpha$  : intervalo de confiança = 90%

$\chi^2_{1-\alpha}$  : valor tabelado na distribuição Qui-quadrado = 24,797

$n$  : tamanho da amostra = 36

Mais um teste de hipótese foi aplicado para a verificação da precisão dos dados de altimetria extraídos desse MDT. Como no teste apresentado na seção 5.2.1.2.:

$$H_0: \sigma \leq 33,333m$$

$$H_1: \sigma > 33,333m$$

Pelo cálculo da estatística de teste chega-se ao valor de  $\chi^2 = 21,673$ , que é inferior ao valor tabelado  $\chi^2_{90} = 46,059$ , o que novamente leva à aceitação da hipótese  $H_0$ . Logo, pode-se ter 90% de confiança de que o desvio padrão populacional dos erros nas informações altimétricas estudadas deve ser menor ou igual a 33,333 metros.

### 5.2.3. Análise de Tendência

Ao observar as colunas “ $Z_{carta} - Z_{CBERS}$ ” nas **Tabelas 10 e 11** da seção 5.1., constatou-se que os valores de cota calculados a partir das imagens CBERS-2 são quase sempre bem superiores aos medidos nas cartas. Surgiu, assim, uma indicação de que possivelmente haja um erro sistemático nessas cotas.

Formulou-se, então, a hipótese de que esse erro seria igual ao valor da média observada (38m) e procedeu-se o teste a seguir, também com nível de significância de 10%:

$$H_0: \mu = 38m$$

$$H_1: \mu \neq 38m$$



Sendo a estatística de teste definida por:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s / \sqrt{n}}$$

Após o cálculo da estatística de teste chegou-se aos valores de  $t = 0,034$  e  $t = 0,086$ , ambos menores do que o valor tabelado  $t_{n;\alpha/2} = t_{35;0,05} = 1,690$ , levando à aceitação da hipótese  $H_0$ . Portanto, com confiança de 90%, pode haver um erro sistemático de 38 metros nas cotas extraídas dos pares estereoscópicos do CBERS-2.

Embora não haja outros pares estereoscópicos de imagens CBERS-2 para que se realize a mesma análise mais vezes e, assim, se possa ter certeza de que esse erro seja realmente sistemático, pode-se inferir que existe a possibilidade de um melhoramento das cotas desses MDTs subtraindo-se delas 38 metros, conforme as **Tabelas 12 e 13**.

Tabela 12: Análise dos pontos de verificação do MDT (60 x 60m) subtraído de 38m

	$Z_{carta}$	$Z_{CBERS (60) - 38m}$	$Z_{SRTM}$	$Z_{carta} - (Z_{CBERS (60) - 38})$	Resíduo CBERS (60) - 38	$Z_{SRTM} - Z_{CBERS (60)}$
1	953	941,70	960	11,30	11,30	18,30
2	939	970,61	956	-31,61	31,61	-14,61
3	665	643,16	687	21,84	21,84	43,84
4	972	893,05	889	78,95	78,95	-4,05
5	763	776,49	755	-13,49	13,49	-21,49
6	818	836,45	824	-18,45	18,45	-12,45
7	767	761,62	764	5,38	5,38	2,38
8	885	950,67	894	-65,67	65,67	-56,67
9	870	829,05	784	40,95	40,95	-45,05
10	885	930,31	906	-45,31	45,31	-24,31
11	992	1036,93	1009	-44,93	44,93	-27,93
12	977	1045,98	1002	-68,98	68,98	-43,98
13	767	736,40	765	30,60	30,60	28,60
14	930	932,19	947	-2,19	2,19	14,81
15	968	954,74	996	13,26	13,26	41,26
16	958	954,38	971	3,62	3,62	16,62
17	741	621,91	736	119,09	119,09	114,09
18	961	954,49	977	6,51	6,51	22,51
19	963	959,20	975	3,80	3,80	15,80
20	1003	1003,79	1006	-0,79	0,79	2,21
21	789	798,41	779	-9,41	9,41	-19,41
22	675	679,09	677	-4,09	4,09	-2,09
23	753	784,51	744	-31,51	31,51	-40,51
24	728	744,12	724	-16,12	16,12	-20,12
25	808	824,71	808	-16,71	16,71	-16,71
26	901	919,20	924	-18,20	18,20	4,80
27	802	789,46	805	12,54	12,54	15,54
28	892	872,18	908	19,82	19,82	35,82

29	870	834,45	867	35,55	35,55	32,55
30	846	777,23	842	68,77	68,77	64,77
31	1009	1013,24	1009	-4,24	4,24	-4,24
32	810	815,90	810	-5,90	5,90	-5,90
33	807	794,08	806	12,92	12,92	11,92
34	1003	1059,09	1008	-56,09	56,09	-51,09
35	743	761,95	751	-18,95	18,95	-10,95
36	900	930,55	910	-30,55	30,55	-20,55
			$\mu_{60}$	-0,51	27,45	1,21
			$\sigma_{60}$	38,45	26,53	34,33

Tabela 13: Análise dos pontos de verificação do MDT (100 x 100m) subtraído de 38m

	$Z_{carta}$	$Z_{CBERS (100) - 38m}$	$Z_{SRTM}$	$Z_{carta} - (Z_{CBERS (100)} - 38)$	Resíduo CBERS (100) - 38	$Z_{SRTM} - Z_{CBERS (100)}$
1	953	941,10	960	11,90	11,90	18,90
2	939	956,94	956	-17,94	17,94	-0,94
3	665	643,88	687	21,12	21,12	43,12
4	972	901,53	889	70,47	70,47	-12,53
5	763	775,23	755	-12,23	12,23	-20,23
6	818	839,30	824	-21,30	21,30	-15,30
7	767	773,32	764	-6,32	6,32	-9,32
8	885	943,19	894	-58,19	58,19	-49,19
9	870	833,09	784	36,91	36,91	-49,09
10	885	904,12	906	-19,12	19,12	1,88
11	992	1041,89	1009	-49,89	49,89	-32,89
12	977	1045,73	1002	-68,73	68,73	-43,73
13	767	727,71	765	39,29	39,29	37,29
14	930	929,71	947	0,29	0,29	17,29
15	968	954,38	996	13,62	13,62	41,62
16	958	965,91	971	-7,91	7,91	5,09
17	741	632,14	736	108,86	108,86	103,86
18	961	954,65	977	6,35	6,35	22,35
19	963	970,86	975	-7,86	7,86	4,14
20	1003	1003,16	1006	-0,16	0,16	2,84
21	789	805,68	779	-16,68	16,68	-26,68
22	675	684,15	677	-9,15	9,15	-7,15
23	753	784,17	744	-31,17	31,17	-40,17
24	728	741,34	724	-13,34	13,34	-17,34
25	808	826,52	808	-18,52	18,52	-18,52
26	901	924,70	924	-23,70	23,70	-0,70
27	802	792,12	805	9,88	9,88	12,88
28	892	876,99	908	15,01	15,01	31,01
29	870	834,45	867	35,55	35,55	32,55
30	846	775,50	842	70,50	70,50	66,50
31	1009	969,20	1009	39,80	39,80	39,80
32	810	814,63	810	-4,63	4,63	-4,63
33	807	803,82	806	3,18	3,18	2,18
34	1003	1058,38	1008	-55,38	55,38	-50,38

35	743	761,81	751	-18,81	18,81	-10,81
36	900	929,38	910	-29,38	29,38	-19,38
			$\mu_{100}$	-0,21	27,03	1,51
			$\sigma_{100}$	36,82	24,59	33,76

### 5.3. Definição da Escala Máxima para Utilização

Partindo das conclusões a que levam os resultados dos testes de hipótese acima, pode-se utilizar informações altimétricas obtidas dos MDTs extraídos de pares estereoscópicos do CBERS-2 na geração de documentos cartográficos Classe A em escalas até 1:250 000.

## 6. Considerações Finais

### 6.1. Geração dos Modelos

A utilização de técnicas de fotogrametria digital se mostrou satisfatória no processo de geração de MDTs utilizando as imagens do CBERS-2. É possível afirmar que a triangulação deve apresentar melhores resultados a partir do uso de mais pontos de controle. Apenas algumas questões de *software* apresentaram certa dificuldade, como a não observação de nenhuma diferença nos valores de cotas ao se utilizar os diferentes métodos de interpolação disponíveis no sistema (Vizinho Mais Próximo e Bilinear).

Considerando a grande cobertura de nuvens, os MDTs gerados apresentaram uma boa coerência visual quando comparados ao MDT do SRTM, permitindo uma boa visualização para identificação de feições, principalmente as redes de drenagem.

Quanto ao sistema de aquisição de pares estereoscópicos pelo CBERS-2, embora essa seja economicamente menos acessível, é sabido que há maiores vantagens em sistemas de aquisição de pares *along-track*, ou seja, tomados na mesma passagem do satélite, com a utilização de pelo menos dois sensores (um em nadir e outro com inclinação para trás ou para frente), como é feito em sensores como o ASTER (Plataforma TERRA) e o PRISM (*Panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo Mapping*, na Plataforma ALOS-2) (**Figura 29**), por exemplo. Além de eliminar o problema de mudanças nas condições atmosféricas, iluminação e paisagem entre uma passagem e outra (o CBERS-2 adquire os pares com uma diferença em torno de 15 dias); desgaste do equipamento e dificuldades técnicas para movimentação do espelho; etc., esse tipo de sistema ainda traz a vantagem de imagear sempre com estereoscopia e com pouquíssimo tempo entre a aquisição de cada imagem do par, pois tem sensores funcionando simultaneamente para esse fim.

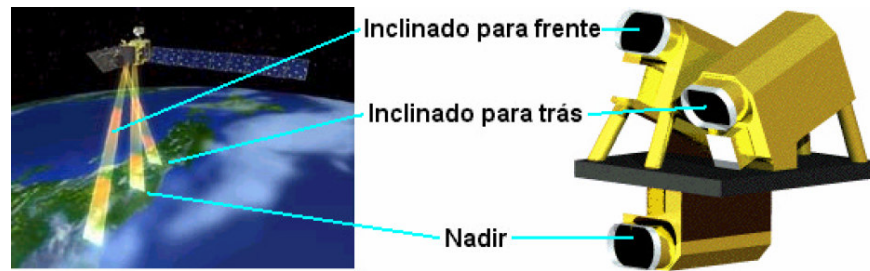


Figura 29: Sensor PRISM, do satélite ALOS-2.  
 Fonte: NASDA – National Agency for Space Development of Japan.

## 6.2. Controle de Qualidade

Inicialmente, deve-se registrar que a distância e as dificuldades de acesso à área de estudo abrangida pelos pares estereoscópicos disponíveis inviabilizaram a coleta de pontos de controle *in loco*. Esse procedimento proporcionaria uma melhor precisão desses pontos de controle, garantindo um controle de qualidade bem mais confiável do que a coleta em cartas topográficas de escala 1:25 000.

Outro grande obstáculo para a realização do trabalho foi a excessiva cobertura de nuvens existente nas imagens, o que prejudicou muito a qualidade dos dados do Modelo Digital do Terreno. O quadrante nordeste do MDT gerado, por exemplo, ficou praticamente inutilizável devido a esse problema. No entanto, foi de fundamental importância a utilização do único par gerado pelo CBERS-2 em território brasileiro.

Inicialmente, observaram-se valores de erro dentro do esperado, em torno de 40 metros, tanto para o MDT gerado com células de 60 quanto para o de 100 metros de lado. Esse resultado remete a escalas de até 1:250 000 para documento Classe A de acordo com o PEC, já que nessa escala a equidistância das curvas de nível é de 100 metros. Apesar da existência de valores de erro muito elevados, traduzida por um desvio padrão bastante alto, os testes formulados para analisar as hipóteses de que estes valores apresentavam acurácia e precisão adequadas apontaram para um resultado positivo.

Pode-se afirmar que, para a região em estudo, a utilização da resolução de 60 metros para o MDT não trouxe melhora significativa em relação à de 100 metros. Com isso, conclui-se que a definição das células do MDT em 100 metros já pode ser suficiente para a obtenção resultados satisfatórios na geração de altimetria para escala 1:250 000 em áreas de relevo não muito acidentado, pois também cumpre os requisitos

planimétricos para essa escala. Além disso, o tempo de processamento é bem menor com essa resolução para o MDT.

Da mesma forma, verificou-se que a utilização de polígonos de quebra de relevo nos reservatórios das usinas hidrelétricas, apesar de ser uma etapa bastante trabalhosa, não apresentou mudanças nos valores de altimetria dos MDTs gerados, a não ser por pequenas variações em *pixels* bem próximos aos lagos.

Outra observação importante foi a verificação do que pode ser um erro sistemático nos valores de cota interpolados a partir dos pares estereoscópicos. Quase todas as observações apresentaram valores mais elevados no MDT do que os lidos nas cartas, com exceção dos pontos 4, 9, 17, 29, 30 e 31 (**Figura 30**). Testou-se a hipótese dessa tendência ser igual a 38 metros, valor aproximado da média observada, e obteve-se resultado afirmativo.

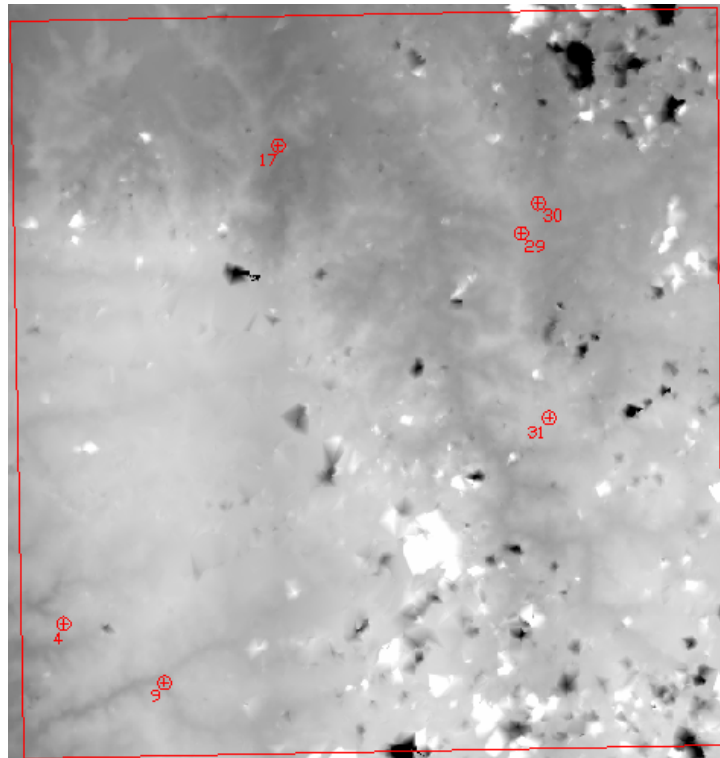


Figura 30: Pontos onde não se verificou valores mais altos no MDT do CBERS-2 em relação às cartas topográficas.

Após a subtração desse valor das cotas lidas no MDT gerado pelas imagens CBERS-2, o resultado mostrou-se mais compatível com os valores das cartas (média dos resíduos em 27,03 metros, com desvio padrão de 24,59 metros) e do SRTM. Seria aconselhável um estudo mais detalhado, utilizando outros pares de imagens CBERS-2, a fim de verificar a real existência desse erro sistemático.

Cabe lembrar que outro requisito constante no PEC para classificação de um documento cartográfico como Classe A é que “*Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico - estabelecido*”. Essa característica não foi observada nas primeiras verificações (somente 55,5% dos valores de erro eram inferiores a 50 metros). A partir da subtração de 38 metros dos valores de cota do MDT, chegou-se a uma proporção de 85% das observações com erro inferior a 50 metros.

Os valores de cota extraídos do MDT do SRTM, dados mais atuais do que as cartas e de reconhecida qualidade, com resolução espacial semelhante às aqui utilizadas para geração dos MDTs do CBERS-2, apresentaram valores muito bons em relação às cartas 1:25 000, superando a qualidade dos valores extraídos das imagens (Figura 31). A média dos erros encontrados foi de 13,83 metros, com desvio padrão de 19,01 metros. Esses valores remetem a escalas em torno de 1:50 000, mas não se fez um estudo mais detalhado da qualidade destes dados para não fugir do escopo do trabalho, sendo eles utilizados apenas para uma comparação com os valores obtidos pelo CBERS-2.

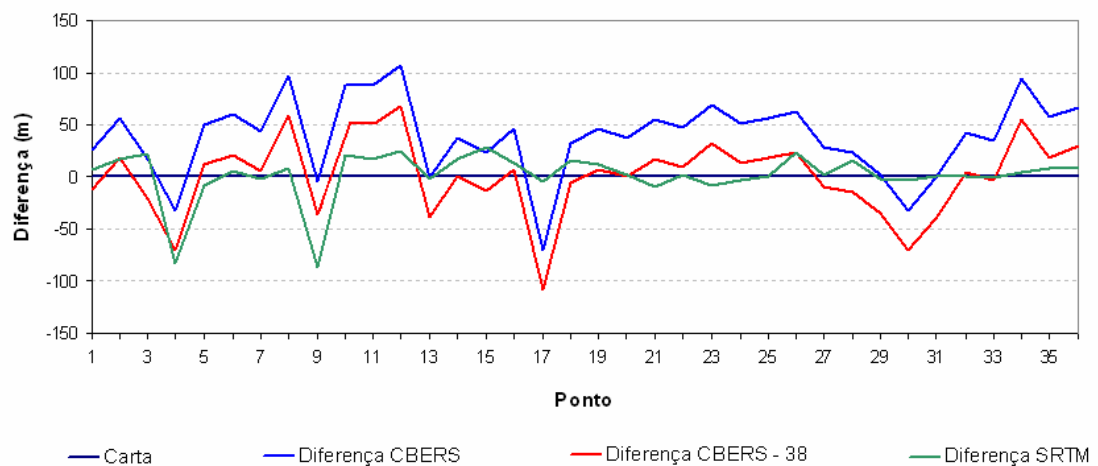


Figura 31: Gráfico das diferenças entre as cotas dos MDTs e das cartas topográficas.

Considerando a precisão das cartas utilizadas como verdade de campo e até mesmo algum eventual erro em decorrência da idade dessas cartas (a restituição foi feita sobre fotografias tiradas há mais de 20 anos), conclui-se que pode ser possível a utilização de pares estéreo de imagens CBERS-2 para extração de informações altimétricas compatíveis com escalas menores ou iguais a 1:250 000, obedecendo aos requisitos para documento Classe A do PEC. Apesar disso, já existem outras fontes

gratuitas de dados para trabalhar nessa escala com melhor qualidade, o que leva à necessidade de melhorias no sistema de aquisição de pares estereoscópicos nos próximos satélites CBERS para que seus produtos possam entrar no mercado de forma realmente competitiva.

Mais uma vez, ressalta-se a importância de mais estudos envolvendo altimetria e até ortoimagens do satélite CBERS-2, principalmente utilizando outros pares estereoscópicos de imagens de diferentes regiões. Como isso não será possível, devido à proximidade da desativação do satélite, espera-se que esse trabalho estimule pesquisas do mesmo tipo nos próximos satélites sino-brasileiros que estão para ser lançados.



## 7. Referências Bibliográficas

ALVES, A.R. **Visão Estéreo - Princípios da Estereoscopia e Fotogrametria**. Florianópolis: UFSC, 1999. Disponível em: [www.inf.ufsc.br/~visao/1999/aline/index.html](http://www.inf.ufsc.br/~visao/1999/aline/index.html). Acesso em: 20 de out. 2005.

ANDRADE, J.B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998. 258 p.

ARANA, J. Associação do GPS/Nivelamento ao Geóide gravimétrico do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2002.

BARROS, R.S.; CRUZ, C.B.M., REIS, R.B.; COSTA Jr., N.A. Avaliação do modelo digital de elevação do SRTM na ortorretificação de imagens Landsat 7 – Área de aplicação: Angra dos Reis – RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...**Goiânia: INPE, 2005. p. 3997-4004.

BERBERAN, A. **Elementos de Fotogrametria Digital**. Universidade de Coimbra, 2001. Disponível em: [www.mat.uc.pt/~engeo/cadeiras/ano4/Fotogrametria](http://www.mat.uc.pt/~engeo/cadeiras/ano4/Fotogrametria). Acesso em: 13 de jan. 2006.

BRASIL. **Decreto Lei 89.817, de 20 de Junho de 1984**. Estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. Brasília, 1984. Disponível em: <http://www.presidencia.gov.br/CCIVIL/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em: 20 de out. 2005.

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

BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Monographs on Resources Survey n° 2. Oxford Science Publications. Oxford: Clarendon Press, 1986. 194 p.

CCRS - Canada Center for Remote Sensing [**Informações**]. Disponível em: [www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs). Acesso em: 22 de out. 2005.

COLLIER, P. A., CROFT, M. J. Heights from GPS in an engineering environment. **Survey Review**, Surrey, v. 263, 1997.

CRÓSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: IG-UNICAMP, 1993. 170p.

DESTRI, A.R. **Tratamento de Modelos Numéricos do Terreno (DTM) Obtidos por Processos Fotogramétricos**. 1987. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1987.

DODSON, A. H. GPS for height Determination. **Survey Reviews**, New York, v. 33, n. 256. 1995

DUREN, R.; WONG, E.; BRECKENRIDGE, B; SHAFFER, S; DUNCAN, C.; TUBBS, E.; SALOMON, P. Metrology, Attitude and Orbit Determination for Spaceborne Interferometric Synthetic Aperture Radar. In: SPIE AEROSENSE CONFERENCE ON ACQUISITION, TRACKING AND POINTING, 12, 1998, Orlando. **Anais...** Orlando, 1998.

FEATHERSTONE, W. E., DENTITH, M. C. and KIRBY, J. F. Strategies for the accurate determination of orthometric heights from GPS. **Survey Review**, New York, v. 34, n. 267. 1998.

FELGUEIRAS, C.A. **Desenvolvimento de Um Sistema de Modelagem Digital de Terreno para Microcomputadores**. 1987. 92 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada). Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1987.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. Curitiba: Editora da UFPR, 1999. 304p.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações - Aplicações Geodésicas**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319 p.

GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E. **Processamento de Imagens Digitais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher. 1992. 509p.

HEIPKE, C.; KOCH, A.; LOHNANN, P. Analysis of SRTM DTM – Methodology and Practical Results. In: ISPRS COMMISSION – SYMPOSIUM, 4., 2002, Ottawa. 2002. **Anais...**Ottawa, 2002.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **O Programa CBERS**. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br>. Acesso em 16 de maio 2005.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **SPRING: Tutorial de Geoprocessamento**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring>. Acessado em 29 de maio 2005.

ITAME, O.Y. **Controle de Qualidade Aplicado na Modelagem Digital de Terreno**. 2001. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Departamento de Cartografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2001.

JPL - Jet Propulsion Laboratory. **Shuttle Radar Topography Mission**. Disponível em: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/dataprod.htm>. Acesso em: 16 de maio 2005.

KRAUS, K. **Photogrammetry – Fundamentals and Standard Processes**. Bonn: Dümmmler Verlag, v.1, 1993. 397p.

KRONBERG, P. **Fernerkundung der Erde - Grundlagen und Methoden der remote sensing in der Geologie**. Stuttgart: Enke Verlag. 1985. 394p.

LEAL, E.; DALMOLIN, Q. Análise da Qualidade Posicional em Bases Cartográficas Geradas em CAD. In: GIS BRASIL 99, 5., 1999. Salvador. **Anais...** Salvador, 1999.

LI, Y. C. e SIDERIS, M. G. Minimization and estimation of geoid undulation errors. **Bulletin Géodésique**. Paris: Springer Verlag. v. 68, 1994.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 4<sup>th</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, 2000. 724p.

LIN, D.; CUI, S.; **CCD Camera for CBERS**, 1999. Disponível em: [www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1999/ts7/ts7201pf.htm](http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1999/ts7/ts7201pf.htm). Acesso em: 23 de maio 2005.

LOCH, C.; CORDINI, J. **Topografia Contemporânea**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2000. 321p.

MARANHÃO, M.R.A.; RAIVEL, J.P.C. Análise de pares estereoscópicos obtidos pelo CBERS II - Primeiros testes utilizando fotogrametria digital. 2005. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Editora da Unesp, 2000. 1<sup>a</sup> Edição. 287p.

PEUCKER, T.K. The Impact of Different Mathematical Approaches to Contouring. **Cartographica**, Toronto, v.17(2), p.73-95, 1983.

RAO, K. S. **Validation of Digital Elevation Model Derived from Shuttle Radar Topography Mission using GPS Field measurements**, 2004. Disponível em: [www.gisdevelopment.net/tecnology/gps/ma03033abs.htm](http://www.gisdevelopment.net/tecnology/gps/ma03033abs.htm). Acesso em: 20 de out. 2005.

RICART, C.P.; GARCÍA, J.L.L. Sensores Hiperespectrales Aerotransportados. Eliminación del Defecto de Deriva. **Mapping Interactivo - Revista Internacional de Ciencias de la Tierra**. Espanha v. 87, p. 14-18, 2003.

RICHARDS, J.A.; **Remote Sensing Digital Image Analysis - An Introduction**. 2 ed. Berlin: Springer Verlag, 1993.

ROCHA, R.S. **Exatidão Cartográfica Para as Cartas Digitais Urbanas**. 2002. 126 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

RUY, R.S.; TOMMASELLI, A.M.G. Geração Automática de Estereomodelos a Partir de Imagens Digitais Georreferenciadas. 2003. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21, 2003. Belo Horizonte. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 2003.

SANTOS, M.F.S.; MACHADO, A. **Relatório Sobre o Ângulo do Espelho no Instrumento CCD do Satélite CBERS-2**. INPE: São José dos Campos, 2004. 28p.

SCHOVEMBERDT, R.A. **Remote Sensing - Models and methods for Image Processing**. New York :Academic Press, 1997. 522p.

SCHOVEMBERDT, R.A. **Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing**. New York: Academic Press, 1983.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlin: Walter de Gruyter, 1993. 589p.

SIMÕES, M.G. **Modeladores Digitais de Terreno em Sistemas de Informação Geográfica**. 1993. 158 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1993.

TEMBA, P.C. **Fundamentos da Fotogrametria**. Belo Horizonte: UFMG, 2000. 26p.

VANICEK, P.; KRAKIWSKY, E. J. **Geodesy: The concepts**. Amsterdam, New York, Oxford. University of New Brunswick. Canadá, 1982.

VIALI, L. **Notas de Aula da Disciplina de Probabilidade e Estatística**. Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica. UFRGS, Porto Alegre, 1999. 184p.

## **8. ANEXOS**

## **Anexo 1**

Relatório da Triangulação

## Triangulation Report With OrthoBASE

Output image units: pixels

Output ground units: meters

Output angular units: radians

Points excluded with gross errors:

image	pid	image_x	image_y	residual_x	residual_y
1	231	3417.1414	2435.2042	0.5141	0.0116
2	231	3492.0383	2479.9063	-0.5042	-0.0285

Normal weighted iterative adjustment:

No.	Total_RMSE	Max_Residual	at image	pid
1	0.280023	-1.0569	1	177
2	0.070209	0.1270	2	143
3	0.042797	0.0551	2	143
4	0.032811	0.0440	2	143
5	0.027239	0.0339	2	143

Image parameter value:

image id 1:

X: -2.45289113e+004 -1.54069213e+003 -1.82127587e-002

y: 7.96385078e+006 1.86094075e+002 7.14318509e-003

z: 7.58433097e+005 1.88963427e+000 5.15692128e-002

omega: -6.42536738e-002

Phi: -3.09783838e-001

Kappa: 1.36926055e+000 -3.04742135e-006

image id 2:

X: 4.37451659e+005 -1.50073336e+003 -1.59396407e-002

y: 7.86949126e+006 2.41914515e+002 -1.44446714e-003

z: 7.65818982e+005 7.35963288e+000 -5.58335799e-002

omega: 6.04206115e-002

Phi: 2.78337032e-001

Kappa: 1.34236532e+000 4.93722146e-008

Ground point value:

point id	8:	224597.8010	7883260.4294	821.2808
point id	9:	171517.4852	7942040.7322	642.9572
point id	10:	225166.2385	7940342.6597	821.0727
point id	11:	158347.3231	7889951.9267	865.4479
point id	17:	165036.8904	7920774.0232	512.9852
point id	18:	164909.0076	7886352.9423	907.4779
point id	19:	179733.6471	7906385.8269	726.4319
point id	20:	222970.8525	7922886.1261	982.1561
point id	22:	216616.7434	7882206.7483	900.3885
point id	23:	238634.1134	7916092.0886	1056.6232
point id	24:	243320.9228	7902208.9079	1030.7440
point id	28:	196190.6419	7945746.0203	727.2359
point id	30:	235538.2415	7944640.6256	920.1055
point id	33:	172666.2219	7950318.6200	607.6578
point id	34:	168865.3359	7974562.4579	723.9583
point id	35:	170309.7461	7974340.5053	722.0378
point id	36:	177127.2263	7976357.0124	757.5402
point id	37:	182411.0327	7973584.3660	752.4098
point id	38:	184952.2146	7974389.9892	732.5040
point id	39:	190559.7946	7974241.6425	741.8835
point id	40:	191025.4596	7973495.4422	753.3180
point id	41:	169562.7290	7969502.2489	683.0367
point id	42:	176468.7546	7969741.4521	712.7585
point id	43:	184999.3791	7971488.8838	750.0726
point id	45:	206893.8795	7970966.1268	747.5280
point id	46:	207047.6565	7970258.7596	761.1079
point id	47:	210200.4772	7970750.2468	673.1282
point id	48:	166794.0696	7968277.3113	743.4681
point id	49:	176660.3329	7964663.7618	693.5099
point id	50:	180043.6736	7967618.1886	748.1005
point id	51:	191348.7601	7966292.0528	733.7357
point id	52:	192661.7899	7964928.8948	759.1917
point id	53:	192419.6283	7963670.8988	724.3769
point id	54:	197933.4951	7967294.8730	774.1629
point id	55:	199115.8878	7965249.5980	700.9645
point id	56:	214739.1150	7966613.2723	704.3763
point id	57:	212670.0311	7965214.7839	749.5656
point id	58:	212764.9382	7964298.4211	758.8060
point id	59:	265199.1317	7963542.2382	775.3115
point id	60:	266783.4006	7963303.3235	774.9240
point id	61:	211583.9481	7962432.6252	715.4019
point id	62:	230191.8807	7960324.9588	759.9407

point id	63:	177362.9515	7956197.8995	707.1723
point id	67:	261501.4287	7956867.6132	804.7603
point id	68:	259748.2215	7954083.8560	841.5948
point id	70:	169467.0304	7950038.1105	744.5923
point id	71:	176458.0847	7952722.1271	716.5720
point id	73:	208772.1149	7952453.4658	770.6106
point id	74:	252761.6174	7950466.6206	805.3807
point id	75:	251147.8671	7949664.2253	805.1935
point id	76:	259641.1332	7950861.4979	853.1343
point id	77:	257413.5348	7950795.3133	853.2949
point id	78:	163185.5736	7943627.9457	857.4367
point id	79:	245498.6179	7946291.6010	791.5374
point id	80:	242604.5048	7945633.5457	865.8214
point id	81:	162655.0020	7942034.7011	913.3918
point id	82:	163866.4338	7942277.5177	908.9017
point id	83:	164841.4680	7939853.9918	912.3077
point id	85:	219429.6078	7941715.1619	896.8606
point id	86:	222389.3208	7939436.9101	815.8031
point id	87:	227934.6346	7938040.6285	784.2019
point id	88:	238279.5263	7942500.5446	852.1678
point id	90:	222208.7079	7934982.4711	816.6847
point id	91:	160923.8278	7929182.6596	862.2321
point id	92:	162283.1770	7929032.5577	900.1224
point id	93:	168288.0621	7931659.8506	1015.7909
point id	94:	168959.6281	7928871.9930	979.6738
point id	96:	214565.5310	7932055.1090	810.2608
point id	97:	229903.9359	7930774.9464	905.6198
point id	98:	241380.2250	7928822.0685	804.1717
point id	99:	245878.6097	7927277.4082	866.1527
point id	100:	168512.2610	7926605.3723	866.7267
point id	103:	176729.5552	7916036.6188	877.3879
point id	104:	184376.8936	7915931.5329	901.4821
point id	105:	184519.9349	7914517.6808	918.5911
point id	106:	190743.0249	7914197.4090	1082.1032
point id	107:	223682.1456	7914504.8788	933.7189
point id	109:	160884.4575	7904587.3527	975.9694
point id	110:	192848.0538	7905122.0052	1024.3584
point id	111:	190442.9083	7903142.2477	1004.8914
point id	112:	199451.3616	7903231.1538	981.0621
point id	113:	229829.1249	7905885.5153	1009.0842
point id	114:	239119.0241	7903545.5671	991.7235
point id	115:	274642.0397	7904393.0951	968.1294
point id	116:	274972.5457	7903528.3529	976.5220
point id	117:	155267.6021	7901302.2506	914.1835
point id	118:	167162.7145	7900671.1157	990.8902
point id	119:	183850.9254	7901380.1330	663.9589
point id	120:	190936.7198	7901767.8033	909.3887
point id	121:	275102.0709	7900782.5646	974.0550
point id	122:	206166.1406	7891694.5084	996.5035
point id	123:	259454.3160	7892603.0999	1019.5088
point id	124:	150871.0707	7888493.3403	932.8598
point id	125:	154897.2129	7891590.1288	912.4999
point id	126:	161833.5042	7889054.7486	912.7664
point id	127:	167908.2613	7891108.9549	1023.8975
point id	128:	169363.1488	7888207.9381	1063.4713
point id	129:	199855.2238	7890429.7389	938.2316
point id	130:	208711.3490	7891163.6080	992.3410
point id	131:	221818.5060	7890488.8161	1004.5416
point id	132:	253073.1846	7890607.3307	1053.9559
point id	133:	261425.7301	7888347.9802	848.0013
point id	134:	268719.1290	7890819.3974	926.6351
point id	135:	267883.8272	7890662.0108	917.2885
point id	136:	275210.0040	7887936.6600	1006.7366
point id	137:	183717.0671	7876269.3024	908.8536
point id	138:	200017.2685	7878503.5143	981.1116
point id	139:	228643.8251	7877486.6242	1000.5817
point id	140:	237017.9361	7879752.5777	1007.2633
point id	141:	246017.2698	7880104.0425	826.8700
point id	142:	269134.3738	7878745.9917	928.9355
point id	143:	146592.5637	7875454.4707	868.7921
point id	144:	155249.0645	7875807.6489	967.4150
point id	145:	160797.2011	7874284.9925	923.1271
point id	146:	177277.0906	7875704.6572	1033.0906
point id	147:	214518.8295	7875283.6201	1106.5863
point id	148:	223093.4848	7875467.0403	794.5045
point id	149:	229526.2816	7875080.9599	1102.4742
point id	150:	251226.9044	7875595.5412	974.7903



point id	151:	261226.2899	7875572.6245	947.4671
point id	152:	269307.8673	7875305.4246	961.9278
point id	153:	206226.9645	7866514.7639	918.1818
point id	154:	221664.7412	7866290.5995	917.9705
point id	155:	191697.8503	7864917.6754	1043.0566
point id	156:	193218.4809	7864329.6939	1042.7605
point id	157:	199968.0665	7864873.2912	1007.0429
point id	158:	200437.9676	7864726.7363	982.5006
point id	159:	200527.2719	7862463.1478	1018.3016
point id	160:	207986.8984	7863869.1687	1023.8227
point id	161:	207779.0942	7861788.0830	991.5998
point id	162:	216340.9162	7862776.6783	1134.6648
point id	163:	237747.5122	7862476.8898	1013.8200
point id	164:	238362.9833	7862394.3392	1017.0642
point id	165:	242437.5950	7864182.3249	1034.2568
point id	166:	253308.9898	7864099.5997	1091.0905
point id	167:	256048.8746	7863231.4016	1235.7392
point id	168:	268488.7524	7865365.2093	1007.5358
point id	169:	267772.0332	7864251.1044	987.2157
point id	170:	269068.0659	7862231.2949	1061.4067
point id	171:	170286.8296	7970212.4008	694.5675
point id	172:	170546.0942	7969798.5251	707.6724
point id	173:	169647.6917	7968480.1514	728.6840
point id	174:	176781.5222	7969830.8788	714.7546
point id	175:	182193.2131	7970181.9849	739.8202
point id	176:	190540.7128	7972063.7894	729.4408
point id	177:	213416.6711	7971753.2099	707.2374
point id	178:	214356.3220	7969364.9877	765.8074
point id	179:	213923.4516	7968915.4177	774.8038
point id	182:	171431.2296	7966726.3969	761.6435
point id	183:	191155.6651	7967134.4198	710.9076
point id	184:	197354.6388	7966917.2786	750.7361
point id	185:	196369.5435	7965193.6572	733.8178
point id	186:	213606.3894	7963407.8763	760.7316
point id	187:	265801.5857	7963274.6118	781.5021
point id	188:	177338.4141	7962780.5405	702.8013
point id	189:	191311.3713	7962860.9544	725.4133
point id	190:	193427.2134	7962608.1900	780.8893
point id	191:	190994.2661	7962243.3191	761.6508
point id	192:	212490.3572	7962355.4070	744.2361
point id	193:	214074.0433	7962344.4231	758.5399
point id	194:	257924.8077	7958828.5109	823.3840
point id	195:	263384.6538	7960790.5905	747.6634
point id	196:	261704.5268	7958046.7134	797.8930
point id	197:	176812.0859	7956727.2607	678.1316
point id	198:	174880.9659	7954779.9480	712.2714
point id	199:	188724.4115	7955065.0550	703.0732
point id	200:	208619.2945	7953044.6195	755.6282
point id	201:	263009.4097	7957708.5700	780.8521
point id	202:	162841.3950	7951974.7697	820.4665
point id	203:	163695.9495	7952573.8447	700.8935
point id	204:	208541.7853	7951224.4761	776.2928
point id	205:	214323.6220	7948991.6419	829.4769
point id	206:	250207.3657	7948274.4259	862.8050
point id	207:	254463.5011	7950062.7133	858.2203
point id	208:	167511.1942	7946532.0347	816.7504
point id	209:	164456.7304	7943577.1507	828.1537
point id	210:	176893.0761	7944312.3759	859.6725
point id	211:	178590.8420	7943113.9946	815.0849
point id	212:	173575.0714	7942831.3531	872.9059
point id	213:	210611.2629	7945343.3726	803.0322
point id	214:	248158.8527	7947613.8360	846.7456
point id	215:	246550.2628	7946083.6195	775.7266
point id	216:	162034.2911	7938401.8362	925.5487
point id	217:	165801.8013	7938855.9504	882.4640
point id	218:	165427.8636	7938237.8556	910.5510
point id	219:	177090.1841	7939426.1567	905.1759
point id	220:	177075.8439	7939067.2298	928.4703
point id	221:	210292.0197	7937973.6498	822.9710
point id	222:	225126.4109	7939816.1826	798.4288
point id	223:	231843.3104	7939669.0516	788.9229
point id	224:	166805.6049	7935909.0751	904.7380
point id	225:	221426.5044	7936822.0558	852.0134
point id	226:	229782.2594	7933779.3542	843.9808
point id	227:	229693.0296	7932483.0385	853.6033
point id	228:	161780.1343	7930904.7898	831.2402
point id	229:	177137.3276	7929548.7814	1028.5344

point id	230:	178672.3031	7929362.5006	967.6366
point id	232:	235353.1219	7928972.6383	978.9158
point id	233:	236645.3137	7929386.0063	933.4808
point id	234:	166235.9349	7926849.1947	837.7230
point id	235:	168479.0520	7925046.3041	936.5456
point id	236:	168984.8444	7924395.8619	982.2678
point id	237:	177744.0598	7927153.9858	944.4218
point id	238:	182440.8311	7926771.7580	961.0647
point id	239:	222203.4181	7923643.1248	981.9386
point id	240:	222466.7337	7923268.9315	972.6530
point id	241:	182633.3597	7917417.3639	898.5343
point id	242:	193083.8049	7917680.7389	1078.9456
point id	244:	177954.2226	7916091.3345	915.4715
point id	245:	182486.8537	7916100.0125	894.7477
point id	246:	184798.1661	7912942.3102	885.1210
point id	247:	194101.6237	7916814.0269	1080.7330
point id	248:	195186.0691	7916506.6633	1086.6658
point id	249:	229153.5228	7913975.5774	973.3218
point id	250:	154068.9696	7909268.5478	944.9045
point id	251:	206595.8123	7908936.2001	991.0003
point id	253:	190346.3903	7903752.7211	987.8418
point id	254:	241600.3070	7904982.6052	965.3863
point id	255:	162370.3160	7901708.0764	889.7951
point id	256:	190750.9720	7901202.8202	854.2091
point id	257:	267135.2968	7896583.8381	920.0408
point id	258:	168168.5000	7892382.5368	968.7588
point id	259:	266779.6340	7892351.9142	906.1136
point id	260:	269204.0190	7891688.6505	907.9760
point id	261:	152869.0736	7890402.0992	956.6783
point id	262:	169563.2666	7887457.5292	1058.2451
point id	263:	183886.3156	7888405.9050	822.8833
point id	264:	192255.4993	7890737.6513	853.9208
point id	266:	229431.9843	7887918.3939	1014.7861
point id	267:	238359.4190	7888349.1496	912.4631
point id	268:	241161.2023	7890877.6996	900.1086
point id	269:	244314.4082	7890378.0800	894.6382
point id	270:	253491.9069	7890533.7835	1018.7105
point id	271:	251353.2348	7887496.4181	951.8227
point id	272:	268678.2045	7887823.2709	890.9658
point id	273:	155068.3539	7878035.9669	993.1092
point id	274:	167006.3373	7878701.5998	926.3359
point id	275:	176781.1540	7878778.7365	1001.2884
point id	276:	223748.1643	7877938.3167	911.0884
point id	277:	229676.4225	7879412.9194	1092.1433
point id	278:	254806.8144	7879070.2239	887.5429
point id	279:	256161.7051	7877436.6656	903.9704
point id	280:	259292.8601	7878013.0031	862.0427
point id	281:	154944.0878	7875272.1125	936.5511
point id	282:	161884.2691	7873558.0241	899.8183
point id	283:	169509.3676	7873398.6815	985.9976
point id	284:	177142.1871	7874492.0532	1032.3914
point id	285:	206533.0980	7874434.4645	990.3831
point id	286:	214675.4020	7874715.3934	1110.4264
point id	287:	223806.5878	7875865.6221	924.0030
point id	288:	253944.2163	7875908.7889	982.3301
point id	289:	261429.3498	7875137.0984	883.5487
point id	290:	269632.2304	7875026.8159	930.1327
point id	291:	266826.6415	7872393.6362	969.2337
point id	292:	155471.5193	7870835.5981	959.7720
point id	293:	244039.8618	7865909.3737	1044.4490
point id	294:	176318.5789	7865677.0920	1017.6830
point id	295:	191262.4679	7865398.3894	1039.3826
point id	296:	193705.0753	7864228.2382	1059.2857
point id	297:	194457.0551	7863370.9266	1045.2404
point id	298:	196228.7872	7862423.4872	1041.3375
point id	299:	200634.1490	7864377.2593	970.7956
point id	300:	224156.1132	7863567.4697	901.6587
point id	301:	227723.1539	7864389.2909	1083.8665
point id	302:	246363.8122	7862761.0924	1120.8772
point id	303:	253842.0712	7864108.6799	1130.1348
point id	304:	260820.2125	7861713.5551	1192.2805
point id	305:	267506.8500	7863281.7369	1002.6960

Control and check point residuals in meters:

type	pid	residual_x	residual_y	residual_z
gcp	8	-0.27274550	0.11320476	2.30340711
gcp	9	-0.43499457	-0.04865976	2.92165429

gcp	10	0.40520841	0.04577829	-2.96574675
gcp	11	0.33290286	-0.14066367	-2.98471400
chk	17	74.00539898	-36.65905228	-52.50416062
chk	18	15.79810277	25.49075382	18.06445722
chk	19	46.11999486	-34.45605473	39.82286076
chk	20	27.85316398	-24.14552892	-22.84433921
chk	22	10.62967907	35.36505470	70.22888380
chk	23	12.38799101	-16.70578895	9.95780815
chk	24	-35.71907852	11.52883493	13.34247071
chk	28	40.04127826	-20.12645000	18.36587443
chk	30	-11.44100443	-63.03623797	75.33343928
chk	33	56.77484320	-28.85413798	48.17222424

Image points and their residuals:

image	pid	image_x	image_y	residual_x	residual_y
1	8	4058.3839	4764.8578	1.2589	-0.0172
1	9	1433.9519	1828.1572	1.8269	-0.2178
1	10	4091.5639	1907.8088	-1.5611	-0.0662
1	11	781.4123	4436.6198	-1.4627	1.2448
1	18	1106.4026	4616.2885	0.0276	0.4135
1	19	1838.8939	3611.5653	0.0189	-0.3097
1	20	3983.9568	2782.2442	-0.1682	0.3692
1	22	3664.5240	4818.7530	-0.1010	0.3780
1	23	4759.6682	3121.0612	-0.2068	0.6862
1	24	4989.8970	3815.5870	0.0220	-0.2880
1	28	2656.5175	1640.2034	0.1425	-0.1716
1	30	4606.9251	1691.7536	0.3001	-0.1214
1	33	1490.9151	1413.7962	0.2901	-0.0788
1	34	1306.5958	201.1153	-0.0280	-0.1047
1	35	1378.0319	212.0518	-0.0088	-0.1802
1	36	1716.1648	110.3065	-0.0293	-0.1877
1	37	1977.3561	248.4633	-0.0426	-0.0814
1	38	2102.8732	207.8570	-0.0081	-0.1755
1	39	2380.5389	214.6347	-0.0378	-0.0572
1	40	2403.7047	251.9252	-0.0287	-0.1258
1	41	1340.0525	454.2724	-0.0180	0.0153
1	42	1682.3218	441.4941	-0.0294	-0.0066
1	43	2105.2449	353.0465	-0.0290	-0.1142
1	45	3188.7605	376.7660	-0.0342	-0.0356
1	46	3196.5262	412.1517	-0.0612	0.0500
1	47	3351.2112	387.2475	0.0013	0.0353
1	48	1203.8893	515.8971	-0.0761	0.1064
1	49	1691.0837	695.5838	-0.0460	0.1973
1	50	1859.6303	547.3429	-0.0662	0.0855
1	51	2418.7886	612.4364	-0.0437	0.0648
1	52	2484.0592	680.5185	-0.0692	0.1252
1	53	2471.4185	743.5059	-0.0314	0.0791
1	54	2745.4003	561.5076	-0.0694	0.0599
1	55	2802.5863	663.7544	-0.0199	0.0805
1	56	3575.9805	593.8205	-0.0254	0.1026
1	57	3474.1715	664.0331	-0.0275	-0.0095
1	58	3478.9354	709.8918	-0.0397	0.0288
1	59	6074.2992	742.5512	-0.1290	0.4095
1	60	6152.6850	754.3677	-0.1377	0.4504
1	61	3419.6379	803.4085	0.0119	-0.0487
1	62	4341.1083	906.9892	-0.0182	0.0011
1	63	1725.3780	1119.1735	0.0264	0.3030
1	67	5891.1317	1077.0414	-0.0139	-0.0846
1	68	5804.6818	1216.5761	-0.0545	0.0567
1	70	1334.7070	1428.3486	0.1131	0.0641
1	71	1680.4599	1293.2219	0.1430	0.1313
1	73	3280.4837	1303.2187	0.1087	-0.0636
1	74	5457.9843	1398.3079	0.0200	0.0338
1	75	5378.0380	1438.6294	0.0571	-0.0349
1	76	5799.2648	1377.9175	-0.0457	0.1290
1	77	5689.0085	1381.4389	-0.0198	0.0434
1	78	1025.1860	1750.0273	-0.1715	-0.0566
1	79	5097.9192	1607.9914	0.1467	0.0522
1	80	4955.7847	1641.2788	0.1568	0.0292
1	81	999.6986	1829.9285	-0.1267	-0.2725
1	82	1059.5948	1817.6312	-0.1733	-0.0927
1	83	1107.6959	1938.8272	-0.1504	-0.0956
1	85	3809.0498	1839.8017	0.1199	-0.2385
1	86	3953.9708	1953.4182	0.0812	-0.4356
1	87	4227.7963	2022.7104	0.1220	-0.3379
1	88	4741.2343	1798.5306	0.2401	-0.0588
1	90	3944.6519	2176.4081	-0.0827	-0.2530

1	91	912.1424	2473.2112	-0.0329	-0.1806
1	92	979.9987	2480.6788	0.0385	-0.4611
1	93	1279.2119	2348.8258	-0.0414	-0.1454
1	94	1311.6289	2488.2063	-0.0413	-0.1060
1	96	3566.0393	2323.6894	-0.0886	-0.4102
1	97	4326.5684	2386.4468	-0.0855	-0.1974
1	98	4892.7117	2482.8745	-0.0105	-0.4211
1	99	5116.1564	2559.8938	-0.0931	-0.1748
1	100	1287.5008	2601.3881	-0.0234	-0.1979
1	103	1693.3262	3129.4747	-0.1000	-0.1154
1	104	2072.1843	3134.0408	-0.0679	0.0596
1	105	2079.4104	3204.8491	-0.0911	0.1643
1	106	2389.9081	3220.8076	-0.0682	0.1421
1	107	4017.6205	3201.6027	-0.1702	0.4709
1	109	909.9300	3704.5111	-0.0532	-0.0866
1	110	2492.3557	3674.6928	-0.1115	0.2207
1	111	2372.8602	3773.9554	-0.1378	0.2711
1	112	2818.2666	3768.5034	-0.1357	0.2595
1	113	4322.2175	3632.7451	-0.1248	0.3244
1	114	4781.4638	3748.9249	-0.0318	-0.0707
1	115	6539.1299	3703.0914	-0.1109	0.0402
1	116	6555.5328	3746.3784	-0.1093	0.0132
1	117	630.7715	3869.2126	-0.1295	0.1571
1	118	1220.4801	3899.9373	-0.1597	0.2779
1	119	2041.1912	3861.3427	-0.1393	0.0673
1	120	2395.6185	3842.2847	-0.2048	0.1782
1	121	6561.6464	3883.8106	0.0214	-0.5644
1	122	3149.7475	4345.3779	-0.2339	0.2392
1	123	5787.2349	4294.8999	-0.0488	-0.1245
1	124	412.4687	4510.7110	0.1003	0.5982
1	125	611.6136	4355.2426	-0.0533	0.5492
1	126	954.5317	4481.4159	-0.0750	0.3163
1	127	1257.0625	4378.6043	-0.2055	0.4671
1	128	1329.4102	4523.8651	-0.1559	0.5229
1	129	2836.3855	4409.0037	-0.2851	0.1565
1	130	3275.5815	4371.6835	-0.2424	0.2562
1	131	3924.3112	4404.2464	-0.1968	0.1052
1	132	5471.7876	4395.5584	-0.0767	-0.1003
1	133	5881.7472	4506.9429	-0.0457	-0.2358
1	134	6244.1007	4382.9223	-0.0536	-0.2555
1	135	6202.6068	4390.8365	-0.0636	-0.2016
1	136	6566.2664	4526.9707	-0.1487	-0.0532
1	137	2036.1881	5119.0879	0.2202	-0.3066
1	138	2843.9958	5006.1215	0.0110	0.3075
1	139	4260.7399	5054.3850	-0.0950	-0.1457
1	140	4675.4442	4940.2030	-0.2174	-0.2032
1	141	5118.1492	4920.8386	0.0047	-0.3010
1	142	6263.5619	4987.1861	-0.1124	0.0303
1	143	198.6985	5163.1511	0.2185	-0.6209
1	144	628.5503	5145.2805	0.1619	-0.0603
1	145	902.1898	5220.6554	0.1907	-0.5785
1	146	1719.4302	5148.7187	0.2239	-0.1627
1	147	3563.2717	5166.6289	0.0491	0.1264
1	148	3982.8629	5154.8515	0.2806	-0.3545
1	149	4305.8174	5175.3057	-0.0136	-0.0966
1	150	5377.7385	5146.7682	-0.0510	-0.0951
1	151	5872.1804	5146.8381	-0.0379	0.5286
1	152	6272.3168	5159.5404	-0.0509	0.2049
1	153	3149.2898	5605.1630	-0.0012	0.0732
1	154	3913.1660	5614.9249	0.0656	-0.1386
1	155	2432.1559	5687.2877	0.0377	-0.1493
1	156	2507.3388	5716.5697	0.0551	-0.2545
1	157	2840.7443	5688.4705	-0.0665	0.0394
1	158	2863.6249	5695.6027	-0.0601	0.0846
1	159	2868.3660	5809.1165	-0.1179	0.2454
1	160	3237.6819	5738.0743	-0.1372	0.3815
1	161	3226.7458	5842.0412	-0.0899	0.2165
1	162	3652.7081	5792.7059	0.0421	-0.1510
1	163	4710.0647	5804.8759	-0.0135	-0.0801
1	164	4740.5611	5808.9700	-0.0185	-0.0637
1	165	4942.6098	5719.1993	-0.0206	0.0157
1	166	5481.5100	5722.6787	0.0398	0.1255
1	167	5619.2211	5766.7812	-0.0157	0.3910
1	168	6231.5234	5657.3853	0.0449	0.1480
1	169	6195.6519	5713.0928	0.0547	0.0655
1	170	6260.6884	5814.5119	-0.0396	0.1702
1	171	1376.1279	418.6488	-0.0220	-0.0061

1	172	1389.1328	439.3288	-0.0232	-0.0358
1	173	1344.8966	505.4103	-0.0609	0.0852
1	174	1697.8397	436.9822	-0.0402	0.0361
1	175	1966.0936	418.7816	-0.0469	0.0013
1	176	2379.2138	323.6478	-0.0250	-0.0619
1	177	3511.0187	336.6842	0.0069	-0.0938
1	178	3558.2491	456.1022	-0.0475	-0.0060
1	179	3536.9288	478.6498	-0.0587	0.0202
1	182	1433.5412	592.9718	-0.1001	0.1957
1	183	2408.9416	570.2987	-0.0042	-0.0550
1	184	2716.3487	580.4746	-0.0464	0.0293
1	185	2667.1811	666.8555	-0.0440	0.0881
1	186	3520.5336	754.3801	-0.0213	-0.0456
1	187	6104.1916	755.8919	-0.1478	0.4754
1	188	1724.6341	789.7529	-0.0319	0.1596
1	189	2416.5186	784.1662	-0.0701	0.2625
1	190	2522.0867	796.5942	-0.0967	0.2301
1	191	2401.3444	815.1222	-0.0716	0.1828
1	192	3464.9467	807.1798	-0.0069	-0.0466
1	193	3543.5516	807.5633	-0.0350	0.0378
1	194	5714.5837	979.2033	-0.0394	-0.0589
1	195	5983.7988	880.4799	-0.0455	0.1577
1	196	5901.1842	1017.9927	-0.0077	-0.1118
1	197	1697.7046	1092.7237	0.0216	0.3362
1	198	1602.5123	1190.4143	0.0969	0.1750
1	199	2287.4379	1174.5981	-0.0057	0.2316
1	200	3272.7367	1273.6347	0.1222	-0.1379
1	201	5965.4682	1034.8014	0.0039	-0.1088
1	202	1008.2479	1332.2824	0.1017	0.2688
1	203	1048.6362	1302.0596	0.1329	0.2875
1	204	3269.0672	1364.7632	0.1499	-0.1066
1	205	3555.8511	1475.9736	0.1548	-0.0618
1	206	5332.2664	1508.3325	0.0345	0.0840
1	207	5543.0099	1418.3961	-0.0409	0.1768
1	208	1238.7549	1604.1220	-0.1331	0.0390
1	209	1087.6137	1752.3754	-0.1556	-0.0876
1	210	1703.6104	1714.2521	-0.1084	-0.0339
1	211	1786.7441	1773.9594	-0.1649	-0.0905
1	212	1539.5017	1788.7667	-0.1737	-0.0221
1	213	3371.3931	1658.9499	0.2058	-0.2163
1	214	5230.5667	1541.5883	0.0433	0.1584
1	215	5149.7016	1618.2886	0.1728	0.0009
1	216	968.8737	2011.8477	-0.0859	-0.2377
1	217	1154.6550	1988.6115	-0.1446	-0.0927
1	218	1136.5497	2019.6466	-0.1361	-0.0784
1	219	1713.6811	1958.8765	-0.1450	-0.2044
1	220	1713.3153	1976.8890	-0.1281	-0.2493
1	221	3355.2612	2027.9008	-0.0867	-0.4384
1	222	4089.1941	1934.1345	0.1443	-0.2972
1	223	4421.4576	1940.8212	0.2184	-0.2731
1	224	1204.4378	2136.0374	-0.0798	-0.2043
1	225	3906.6509	2084.4631	-0.0815	-0.2900
1	226	4319.7828	2235.9296	-0.0824	-0.3062
1	227	4315.3995	2300.8467	-0.1137	-0.2586
1	228	954.0967	2386.8415	-0.0761	-0.3477
1	229	1717.1373	2453.5733	-0.0268	-0.1806
1	230	1792.1077	2462.5766	-0.0583	-0.0938
1	17	1109.4403	2892.4460	0.0653	-0.6790
1	232	4597.2584	2476.2960	-0.1190	0.0150
1	233	4660.5187	2455.3776	-0.0692	-0.1971
1	234	1174.3553	2589.3350	-0.0610	-0.3312
1	235	1286.8359	2679.6214	-0.0197	-0.1591
1	236	1312.5353	2712.2579	-0.0166	-0.1469
1	237	1745.6127	2573.1608	-0.0414	-0.1205
1	238	1978.2644	2591.8395	-0.0878	0.0643
1	239	3946.0436	2744.4224	-0.1266	0.1909
1	240	3958.8923	2763.1050	-0.1217	0.1756
1	241	1985.9890	3059.8448	-0.0626	0.0354
1	242	2506.0037	3046.1681	-0.0827	0.1969
1	244	1754.6018	3126.7539	-0.0520	0.0047
1	245	1978.5660	3125.7802	-0.0757	0.0905
1	246	2092.4489	3283.5365	-0.1485	0.0961
1	247	2556.3213	3089.4594	-0.0828	0.2006
1	248	2610.0517	3104.7546	-0.0702	0.1496
1	249	4288.9665	3227.6897	-0.1395	0.3790
1	250	572.6053	3470.8105	-0.0470	-0.0518
1	251	3172.4759	3482.2511	-0.0973	0.2013

1	253	2367.8713	3743.3370	-0.1197	0.2015
1	254	4903.9778	3676.6525	0.0197	-0.2815
1	255	981.7948	3848.0592	-0.1911	0.0931
1	256	2385.5503	3870.3499	-0.2015	0.2610
1	257	6166.1542	4094.5080	-0.0289	-0.2591
1	258	1269.1949	4314.5574	-0.1946	0.3748
1	259	6147.9496	4306.3066	-0.0382	-0.2545
1	260	6267.8990	4339.2911	-0.0585	-0.1669
1	261	511.8497	4415.1254	-0.0222	0.6127
1	262	1339.1663	4561.3770	-0.1222	0.5171
1	263	2044.3201	4511.2714	-0.0669	0.1308
1	264	2459.1011	4393.9273	-0.2021	0.1651
1	266	4300.9904	4532.2302	-0.1468	-0.1678
1	267	4741.2028	4509.3226	-0.1131	-0.3566
1	268	4879.8999	4382.4448	-0.0791	-0.3354
1	269	5035.8174	4407.1310	-0.0469	-0.4418
1	270	5491.9531	4399.0422	-0.0732	-0.1355
1	271	5384.7456	4550.9655	-0.1231	-0.2996
1	272	6241.2855	4532.7368	-0.0509	-0.1529
1	273	620.1886	5033.9469	0.1816	0.1959
1	274	1209.8172	4999.0732	0.1382	0.1650
1	275	1694.6724	4994.7236	0.2026	0.0806
1	276	4017.1974	5031.7581	0.0328	-0.2365
1	277	4313.4927	4958.3766	-0.1811	-0.0424
1	278	5553.9269	4972.0710	-0.0609	-0.0652
1	279	5621.0714	5053.7861	-0.0331	0.2016
1	280	5775.4577	5024.4363	0.0036	0.1096
1	281	612.8743	5171.8999	0.1237	-0.2983
1	282	955.5739	5256.7851	0.1952	-0.6417
1	283	1334.1807	5264.5826	0.2273	-0.4808
1	284	1712.6390	5209.4174	0.2225	-0.2720
1	285	3166.1922	5209.2075	0.0160	0.3057
1	286	3571.0260	5195.0810	0.0623	0.1440
1	287	4020.0941	5135.5579	0.1037	-0.2077
1	288	5512.3519	5130.8753	-0.0802	-0.0129
1	289	5881.2438	5168.2785	0.0715	0.2761
1	290	6287.8726	5173.2882	0.0049	0.1056
1	291	6149.3601	5305.5456	0.0506	0.2467
1	292	639.0240	5394.0121	0.2350	-0.9537
1	293	5022.2077	5632.6650	0.0036	-0.0040
1	294	1670.8979	5650.5704	0.2077	-1.0599
1	295	2410.6004	5663.2450	0.0445	-0.1695
1	296	2531.6568	5721.7114	0.0142	-0.0391
1	297	2568.5749	5764.4551	0.0058	-0.0132
1	298	2656.0955	5811.6800	-0.0065	0.0404
1	299	2873.1310	5712.9989	-0.0631	0.1331
1	300	4035.9672	5750.8666	0.0558	-0.1407
1	301	4215.3109	5710.5658	0.0448	-0.0469
1	302	5138.1474	5790.5271	0.0214	0.0853
1	303	5508.4870	5722.4160	0.0324	0.1772
1	304	5854.5313	5842.0413	0.0089	0.2000
1	305	6182.6649	5761.7267	0.0434	0.0035
2	8	4063.3316	4906.8127	0.9566	0.1877
2	9	1383.6885	1958.2623	1.2415	0.2656
2	10	4084.9156	2047.0883	-1.2626	-0.1712
2	11	723.6559	4565.1088	-0.9691	-1.2662
2	18	1054.1494	4745.9950	0.0244	-0.3800
2	19	1801.1152	3744.4567	-0.0098	0.3317
2	20	3974.1047	2920.9932	0.2297	-0.3818
2	22	3660.1977	4958.7779	0.0727	-0.3471
2	23	4763.1563	3262.4325	0.2813	-0.6925
2	24	5001.3775	3958.6711	0.0025	0.2961
2	28	2625.3811	1774.5037	-0.2439	0.1287
2	30	4605.6372	1831.9503	-0.2378	0.0753
2	33	1440.9925	1543.9242	-0.3825	0.0492
2	34	1244.8867	328.4990	0.0299	0.1120
2	35	1317.7247	339.7606	0.0135	0.1881
2	36	1660.4798	239.0879	-0.0380	0.1793
2	37	1927.2248	378.5121	0.0450	0.0901
2	38	2055.4392	338.4841	0.0148	0.1840
2	39	2337.9131	346.3195	0.0398	0.0649
2	40	2361.3221	383.6742	0.0335	0.1348
2	41	1281.1921	582.3171	0.0044	-0.0112
2	42	1628.7760	570.7767	0.0204	0.0127
2	43	2057.9445	483.7363	0.0302	0.1231
2	45	3161.3568	511.6789	0.0331	0.0423
2	46	3169.0160	547.0503	0.0565	-0.0432

2	47	3328.9782	523.2070	-0.0086	-0.0339
2	48	1141.0377	643.0860	0.0563	-0.0993
2	49	1639.3139	825.2865	0.0159	-0.1911
2	50	1808.7217	677.2590	0.0516	-0.0775
2	51	2378.7555	744.7361	0.0306	-0.0573
2	52	2444.7562	812.9947	0.0524	-0.1160
2	53	2433.1650	876.2011	0.0117	-0.0702
2	54	2709.9221	694.7836	0.0613	-0.0510
2	55	2770.7138	797.7827	0.0058	-0.0753
2	56	3557.7950	730.6264	0.0145	-0.0997
2	57	3453.1097	800.2769	0.0215	0.0169
2	58	3457.8835	846.1454	0.0317	-0.0207
2	59	6100.1434	887.1655	0.1043	-0.4124
2	60	6180.0172	899.2205	0.1110	-0.4540
2	61	3399.1666	939.7975	-0.0217	0.0566
2	62	4336.5506	1046.4658	0.0120	0.0073
2	63	1675.5972	1249.3794	-0.1119	-0.2856
2	67	5914.2005	1221.3510	0.0223	0.0916
2	68	5825.6944	1360.5734	0.0631	-0.0439
2	70	1277.9913	1557.0507	-0.1818	-0.0888
2	71	1630.3110	1423.3680	-0.2437	-0.1377
2	73	3257.9718	1439.2742	-0.1580	0.0902
2	74	5474.5138	1541.6763	-0.0111	-0.0096
2	75	5393.2889	1581.7948	-0.0451	0.0625
2	76	5820.5265	1522.0193	0.0597	-0.1076
2	77	5708.2735	1525.2106	0.0357	-0.0191
2	78	960.6464	1877.0717	0.1426	0.0419
2	79	5109.1883	1750.5344	-0.1267	-0.0385
2	80	4962.4388	1782.9506	-0.1115	-0.0386
2	81	933.3192	1956.6075	0.1208	0.2527
2	82	994.3976	1944.5747	0.1596	0.0766
2	83	1043.7862	2066.0720	0.1502	0.0789
2	85	3794.5571	1977.5199	-0.0902	0.2009
2	86	3945.1628	2092.2883	-0.0452	0.3962
2	87	4225.1951	2162.8035	-0.0769	0.2910
2	88	4745.0478	1939.7421	-0.1729	0.0068
2	90	3936.5950	2315.4613	0.1221	0.2206
2	91	848.4362	2600.4774	0.0451	0.1842
2	92	916.4099	2608.0022	-0.0271	0.4639
2	93	1217.0142	2476.5467	0.0547	0.1437
2	94	1251.7198	2616.4134	0.0538	0.1075
2	96	3551.8932	2461.5553	0.1254	0.3810
2	97	4323.5986	2526.4936	0.1606	0.1582
2	98	4903.5971	2625.6117	0.1045	0.3646
2	99	5129.6278	2703.0919	0.2065	0.1183
2	100	1231.0827	2730.2950	0.0345	0.2015
2	103	1646.3430	3260.4570	0.0439	0.1133
2	104	2031.3564	3266.3739	0.0818	-0.0487
2	105	2038.4952	3337.1683	0.1072	-0.1510
2	106	2349.7487	3353.3492	0.0829	-0.1328
2	107	4011.6721	3341.1889	0.2123	-0.4671
2	109	847.9340	3832.2061	0.0889	0.1219
2	110	2457.7898	3808.3911	0.1336	-0.1970
2	111	2337.1283	3907.3934	0.1639	-0.2396
2	112	2791.3973	3903.8180	0.1583	-0.2311
2	113	4321.3905	3773.3902	0.1575	-0.3112
2	114	4790.0478	3891.4463	0.0605	0.0801
2	115	6580.3821	3851.6904	0.1931	-0.0496
2	116	6597.0221	3895.0370	0.1881	-0.0204
2	117	566.2347	3996.2854	0.1943	-0.1018
2	118	1164.5714	4028.9727	0.2117	-0.2261
2	119	2010.1885	3995.6602	0.1476	-0.0330
2	120	2363.6529	3976.4918	0.2347	-0.1391
2	121	6603.9046	4032.6901	0.0296	0.5651
2	122	3130.9684	4482.3833	0.2464	-0.1851
2	123	5815.6582	4441.3937	0.0869	0.1408
2	124	346.0778	4637.3190	-0.0084	-0.5565
2	125	548.8519	4482.6621	0.1331	-0.5078
2	126	898.7595	4610.3672	0.1370	-0.2798
2	127	1202.8689	4507.9832	0.2662	-0.4225
2	128	1275.9595	4653.4096	0.2150	-0.4815
2	129	2814.0587	4545.2416	0.2967	-0.1119
2	130	3259.3461	4509.2225	0.2521	-0.2042
2	131	3919.7029	4544.2060	0.2056	-0.0508
2	132	5493.8521	4540.8490	0.1070	0.1268
2	133	5918.0010	4655.1137	0.0742	0.2460
2	134	6284.1071	4531.7033	0.1012	0.2634

2	135	6242.1666	4539.5437	0.1119	0.2093
2	136	6610.3947	4676.5457	0.2125	0.0623
2	137	2003.1104	5252.9209	-0.2441	0.2929
2	138	2823.0301	5142.6183	-0.1098	-0.2967
2	139	4265.2908	5196.2870	-0.0256	0.1615
2	140	4686.8632	5083.5107	0.1079	0.2167
2	141	5142.9108	5066.8828	-0.0545	0.3160
2	142	6306.4382	5136.8198	0.1072	-0.0250
2	143	133.1944	5289.8207	-0.1701	0.5663
2	144	567.8085	5273.0674	-0.1073	0.0112
2	145	848.2951	5349.9114	-0.1660	0.5189
2	146	1676.7797	5280.5155	-0.2243	0.1473
2	147	3552.2554	5305.2723	-0.0947	-0.0934
2	148	3988.8961	5297.0520	-0.3702	0.3674
2	149	4308.5314	5316.8393	-0.0428	0.1308
2	150	5403.8594	5293.1218	0.0039	0.1209
2	151	5908.0896	5295.1651	0.0071	-0.5063
2	152	6315.1232	5309.2328	0.0290	-0.1915
2	153	3138.4123	5743.7614	-0.0020	-0.1014
2	154	3916.2901	5756.5403	-0.0996	0.0989
2	155	2404.6319	5822.3020	-0.0400	0.1292
2	156	2481.3311	5851.9104	-0.0629	0.2341
2	157	2821.8933	5825.3608	-0.0029	-0.0743
2	158	2846.0233	5832.7538	0.0705	-0.1012
2	159	2850.2059	5946.1465	0.0562	-0.2685
2	160	3225.8081	5876.4812	0.0745	-0.4109
2	161	3216.1511	5980.7048	0.1057	-0.2234
2	162	3645.1957	5932.0871	-0.0640	0.1227
2	163	4725.7218	5949.1950	-0.0106	0.0529
2	164	4756.6959	5953.3915	-0.0048	0.0370
2	165	4961.5318	5864.1971	-0.0190	-0.0480
2	166	5508.3810	5869.3405	-0.1093	-0.1536
2	167	5644.3612	5913.0879	-0.0412	-0.4111
2	168	6274.3844	5807.3194	-0.1317	-0.1664
2	169	6238.6962	5863.0952	-0.1319	-0.0928
2	170	6303.0936	5964.4181	-0.0880	-0.2123
2	171	1317.4409	546.7388	0.0115	0.0108
2	172	1330.3856	567.4204	0.0131	0.0417
2	173	1285.0030	633.2674	0.0435	-0.0788
2	174	1644.4996	566.3122	0.0300	-0.0304
2	175	1916.8318	549.0406	0.0408	0.0062
2	176	2337.3809	455.5154	0.0247	0.0689
2	177	3490.4866	472.9725	-0.0068	0.0981
2	178	3537.3697	592.3402	0.0450	0.0130
2	179	3515.4937	614.7813	0.0552	-0.0129
2	182	1374.6626	721.1043	0.0755	-0.1872
2	183	2369.2195	702.6494	-0.0039	0.0618
2	184	2681.1045	713.7959	0.0379	-0.0213
2	185	2631.8969	800.1755	0.0297	-0.0807
2	186	3500.3702	890.8186	0.0152	0.0551
2	187	6130.4558	900.5701	0.1204	-0.4786
2	188	1673.5958	919.6386	-0.0054	-0.1498
2	189	2377.4047	916.6824	0.0421	-0.2544
2	190	2483.3283	929.2102	0.0712	-0.2180
2	191	2361.0255	947.3988	0.0440	-0.1704
2	192	3444.4748	943.5677	-0.0018	0.0562
2	193	3524.0951	944.1521	0.0245	-0.0285
2	194	5733.4814	1122.7626	0.0444	0.0662
2	195	6009.4530	1025.1838	0.1019	-0.1428
2	196	5924.3860	1162.3028	0.0154	0.1176
2	197	1648.1150	1222.9487	-0.1457	-0.3298
2	198	1550.6382	1320.1623	-0.1970	-0.1662
2	199	2248.3081	1307.1431	-0.1170	-0.2198
2	200	3250.3965	1409.7205	-0.1697	0.1655
2	201	5990.4082	1179.4219	0.0034	0.1134
2	202	942.7721	1459.0447	-0.1809	-0.2944
2	203	987.4492	1429.6914	-0.2289	-0.3054
2	204	3246.4410	1500.8039	-0.2002	0.1246
2	205	3537.3670	1612.8600	-0.1828	0.0605
2	206	5345.2985	1651.0867	-0.0159	-0.0544
2	207	5559.6305	1561.7337	0.0509	-0.1503
2	208	1178.8263	1732.1672	0.0089	-0.0713
2	209	1025.1213	1879.8608	0.1228	0.0726
2	210	1651.2643	1844.0364	0.0713	0.0176
2	211	1737.6656	1904.4388	0.1362	0.0782
2	212	1484.0652	1917.8777	0.1443	0.0084
2	213	3351.0931	1795.4994	-0.2136	0.1831



2	214	5242.3573	1684.1532	-0.0284	-0.1314
2	215	5162.4186	1761.1050	-0.1493	0.0103
2	216	902.3244	2138.5082	0.0952	0.2235
2	217	1092.7270	2116.2825	0.1443	0.0767
2	218	1073.5630	2147.1023	0.1427	0.0630
2	219	1661.1659	2088.6633	0.1407	0.1864
2	220	1660.1582	2106.5492	0.1303	0.2299
2	221	3335.6456	2164.6313	0.1036	0.4137
2	222	4083.2758	2073.5670	-0.1072	0.2526
2	223	4421.8986	2081.4740	-0.1654	0.2186
2	224	1143.3639	2263.9238	0.0898	0.1930
2	225	3896.4786	2223.0792	0.1221	0.2592
2	226	4318.0173	2376.2034	0.1452	0.2674
2	227	4313.5490	2441.1135	0.1794	0.2209
2	228	891.8851	2514.4167	0.0940	0.3520
2	229	1663.0168	2583.0895	0.0402	0.1789
2	230	1741.2596	2592.7755	0.0722	0.0912
2	17	1061.8120	3023.0619	-0.0630	0.6869
2	232	4597.3755	2616.9167	0.2158	-0.0565
2	233	4663.0857	2596.4786	0.1667	0.1507
2	234	1116.8340	2717.9730	0.0781	0.3385
2	235	1228.6033	2808.1715	0.0315	0.1644
2	236	1253.5144	2840.6632	0.0285	0.1525
2	237	1695.0935	2703.4191	0.0538	0.1210
2	238	1931.5763	2722.9408	0.1027	-0.0641
2	239	3935.3431	2882.9988	0.1834	-0.2041
2	240	3948.7903	2901.8042	0.1773	-0.1882
2	241	1943.3543	3191.7882	0.0760	-0.0258
2	242	2467.3171	3179.0247	0.0981	-0.1899
2	244	1707.4952	3257.7310	0.0661	0.0069
2	245	1936.1934	3257.7766	0.0903	-0.0789
2	246	2053.2719	3416.2128	0.1708	-0.0782
2	247	2518.6867	3222.5388	0.0983	-0.1931
2	248	2573.2847	3238.0188	0.0850	-0.1426
2	249	4286.8733	3368.0327	0.1839	-0.3767
2	250	504.3620	3597.1013	0.0798	0.0820
2	251	3150.5477	3618.6034	0.1166	-0.1871
2	253	2332.4376	3876.8348	0.1434	-0.1727
2	254	4915.2871	3819.6967	0.0078	0.2873
2	255	924.5154	3976.7315	0.2455	-0.0422
2	256	2355.1368	4004.8692	0.2279	-0.2177
2	257	6203.7047	4242.6915	0.0788	0.2623
2	258	1216.6381	4444.2732	0.2494	-0.3308
2	259	6186.4819	4454.7864	0.0845	0.2610
2	260	6308.6973	4488.2103	0.1108	0.1712
2	261	446.1522	4541.9150	0.1123	-0.5689
2	262	1286.2165	4691.0234	0.1792	-0.4766
2	263	2011.2552	4645.1506	0.0142	-0.1160
2	264	2432.2779	4529.1790	0.2068	-0.1315
2	266	4303.5026	4673.6609	0.1472	0.2214
2	267	4754.8273	4653.0169	0.1154	0.3987
2	268	4895.8679	4526.5857	0.0920	0.3675
2	269	5054.8903	4551.8959	0.0587	0.4706
2	270	5515.4773	4544.6327	0.1028	0.1610
2	271	5409.1109	4696.7970	0.1426	0.3336
2	272	6282.8968	4681.9180	0.1140	0.1612
2	273	558.0256	5161.4546	-0.1133	-0.2378
2	274	1160.5413	5129.3866	-0.1068	-0.1866
2	275	1651.8749	5126.4981	-0.1922	-0.0683
2	276	4019.9097	5173.2681	-0.0894	0.2627
2	277	4315.7190	5099.7891	0.1477	0.0767
2	278	5585.0577	5119.3976	0.0270	0.0807
2	279	5653.2905	5201.3537	-0.0054	-0.1829
2	280	5811.5868	5172.7851	-0.0397	-0.0968
2	281	553.0510	5299.8648	-0.0755	0.2456
2	282	903.5001	5386.4228	-0.1786	0.5829
2	283	1286.3879	5395.2087	-0.2199	0.4245
2	284	1670.1480	5341.2385	-0.2281	0.2395
2	285	3151.7232	5347.0850	-0.1340	-0.3217
2	286	3560.1577	5333.7560	-0.1101	-0.1127
2	287	4022.9273	5277.0995	-0.1684	0.2342
2	288	5540.6315	5277.6586	0.0402	0.0380
2	289	5919.2819	5317.0579	-0.1180	-0.2590
2	290	6331.9515	5323.2505	-0.0343	-0.0947
2	291	6190.3455	5454.9459	-0.0959	-0.2260
2	292	579.7815	5522.0796	-0.2209	0.9122
2	293	5041.8237	5777.7925	-0.1528	-0.0396

2	294	1630.0038	5782.6524	-0.2338	1.0284
2	295	2382.6887	5798.1770	-0.0476	0.1467
2	296	2505.6111	5857.0499	-0.0129	0.0226
2	297	2543.8234	5900.0637	-0.0038	0.0007
2	298	2633.2751	5947.7018	0.0099	-0.0497
2	299	2856.1220	5850.2725	0.0751	-0.1469
2	300	4042.3965	5893.1898	-0.0771	0.1151
2	301	4219.2754	5852.3977	-0.0840	0.0105
2	302	5158.1523	5935.7712	-0.0694	-0.1160
2	303	5534.6525	5868.9289	-0.1029	-0.2019
2	304	5885.6070	5989.6077	-0.0658	-0.2248
2	305	6225.2282	5911.6507	-0.1136	-0.0324

Image accuracy for control and check points for each scene:

image id 1:

pid	type	image_x	image_y	residual_x	residual_y
8	gcp	4057.1250	4764.8750	1.2589	-0.0172
9	gcp	1432.1250	1828.3750	1.8269	-0.2178
10	gcp	4093.1250	1907.8750	-1.5611	-0.0662
11	gcp	782.8750	4435.3750	-1.4627	1.2448
18	chk	1106.3750	4615.8750	0.0276	0.4135
19	chk	1838.8750	3611.8750	0.0189	-0.3097
20	chk	3984.1250	2781.8750	-0.1682	0.3692
22	chk	3664.6250	4818.3750	-0.1010	0.3780
23	chk	4759.8750	3120.3750	-0.2068	0.6862
24	chk	4989.8750	3815.8750	0.0220	-0.2880
28	chk	2656.3750	1640.3750	0.1425	-0.1716
30	chk	4606.6250	1691.8750	0.3001	-0.1214
33	chk	1490.6250	1413.8750	0.2901	-0.0788
17	chk	1109.3750	2893.1250	0.0653	-0.6790

RMS Errors for 4 GCPs: x: 1.5410  
y: 0.6328  
total: 1.6659

RMS Errors for 10 CHKs: x: 0.1678  
y: 0.4014  
total: 0.4351

image id 2:

pid	type	image_x	image_y	residual_x	residual_y
8	gcp	4062.3750	4906.6250	0.9566	0.1877
9	gcp	1382.4470	1957.9967	1.2415	0.2656
10	gcp	4086.1781	2047.2595	-1.2626	-0.1712
11	gcp	724.6250	4566.3750	-0.9691	-1.2662
18	chk	1054.1250	4746.3750	0.0244	-0.3800
19	chk	1801.1250	3744.1250	-0.0098	0.3317
20	chk	3973.8750	2921.3750	0.2297	-0.3818
22	chk	3660.1250	4959.1250	0.0727	-0.3471
23	chk	4762.8750	3263.1250	0.2813	-0.6925
24	chk	5001.3750	3958.3750	0.0025	0.2961
28	chk	2625.6250	1774.3750	-0.2439	0.1287
30	chk	4605.8750	1831.8750	-0.2378	0.0753
33	chk	1441.3750	1543.8750	-0.3825	0.0492
17	chk	1061.8750	3022.3750	-0.0630	0.6869

RMS Errors for 4 GCPs: x: 1.1169  
y: 0.6592  
total: 1.2969

RMS Errors for 10 CHKs: x: 0.2010  
y: 0.3980  
total: 0.4459

Summary RMSE for GCPs and CHKs (number of observations in parenthesis):

	Control	Check
Ground X:	0.3669566 (4)	38.8961678 (10)
Ground Y:	0.0962614 (4)	32.6156082 (10)
Ground Z:	2.8082876 (4)	43.2816429 (10)
Image X:	0.6558455 (8)	0.4113992 (20)
Image Y:	1.3298090 (8)	0.1533370 (20)

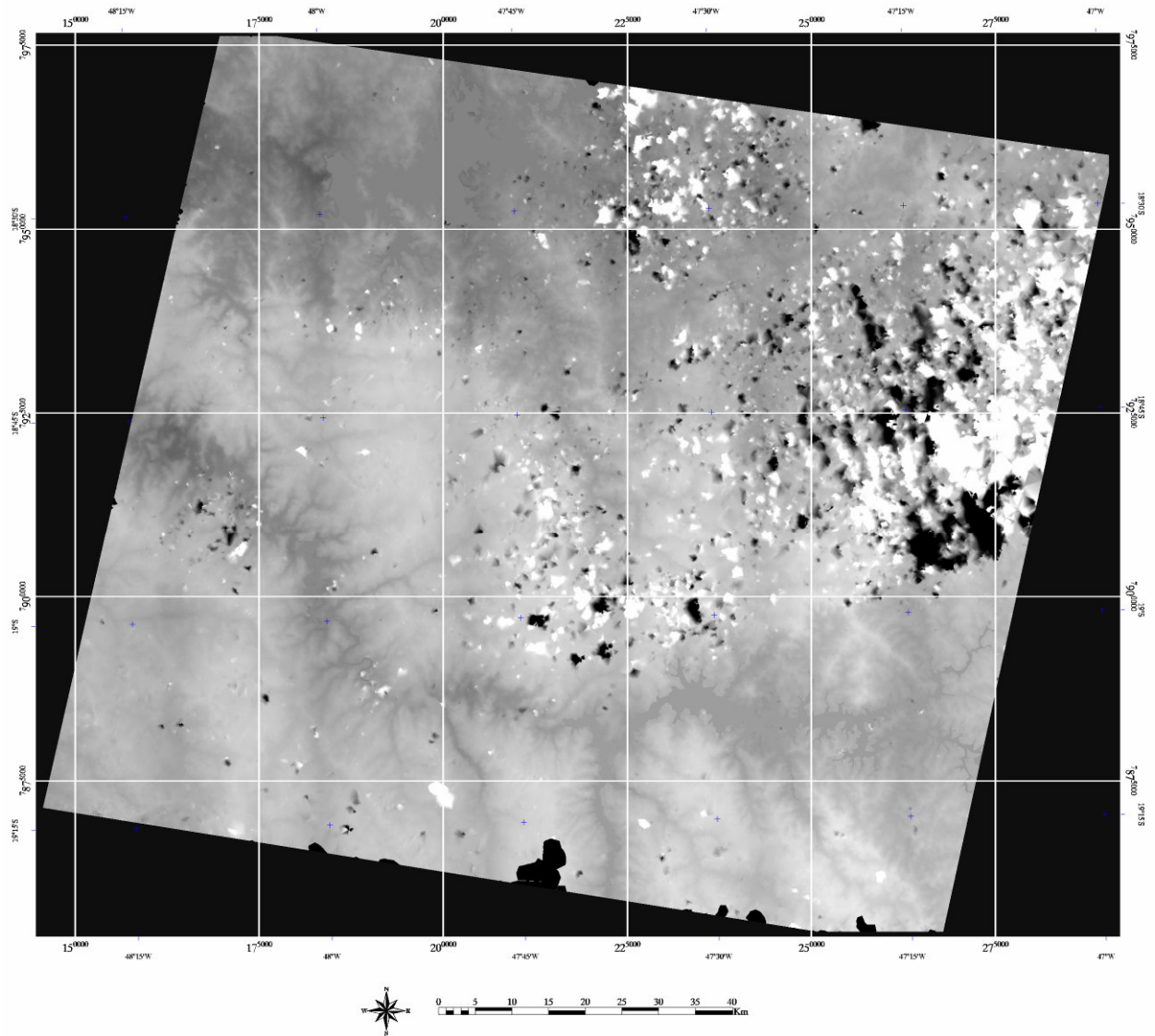
---

## **Anexo 2**

Modelos Digitais de Terreno

# Modelo Digital de Terreno da Região de Estrela do Sul, MG

## Células de 60 x 60 metros

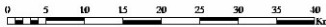
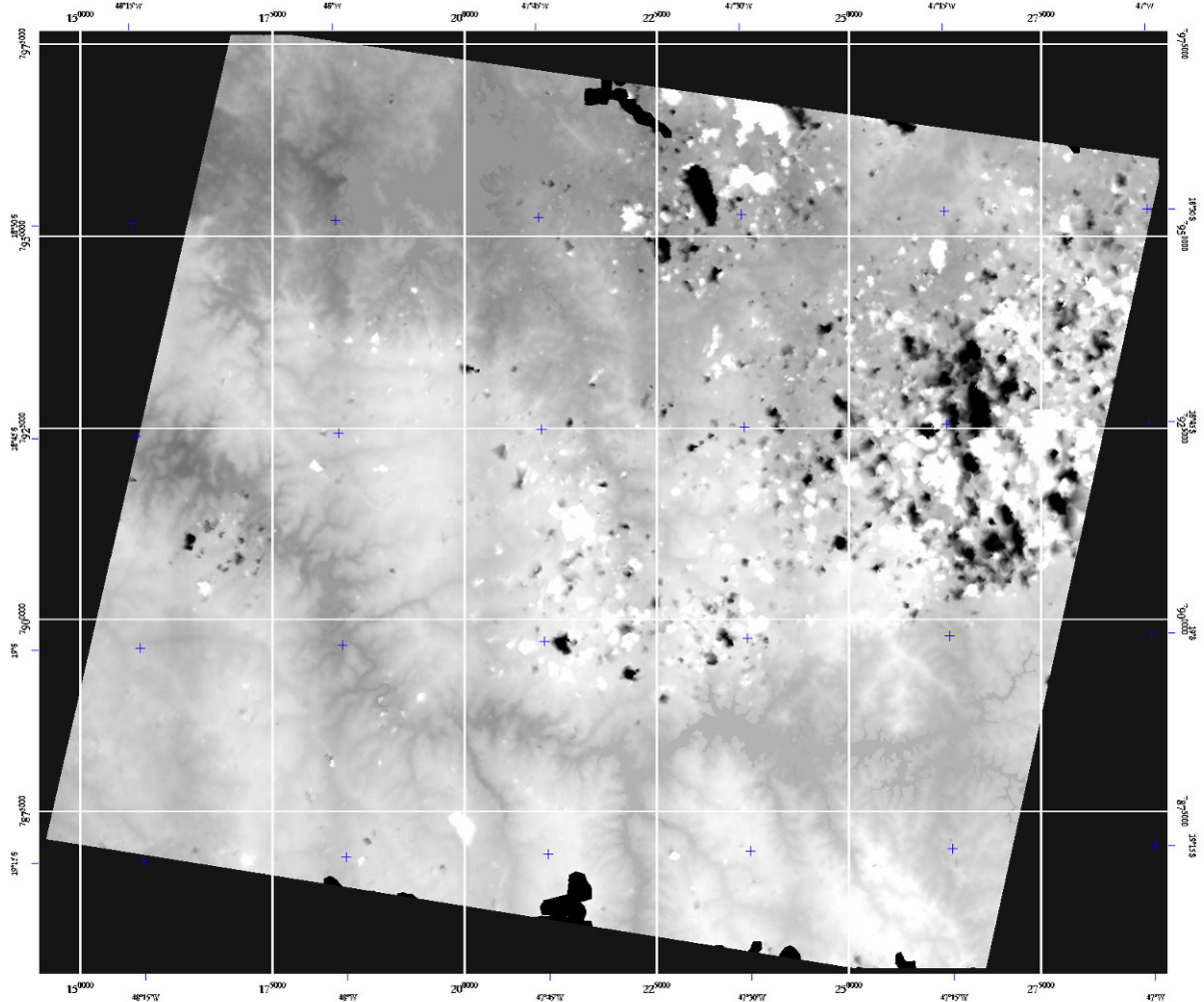


Resolução do MDT: 60 metros  
Gerado a partir de par estereoscópico do satélite CBERS-2

Dissertação para obtenção de título de Mestre  
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto  
CEPSRM - UFRGS

# Modelo Digital de Terreno da Região de Estrela do Sul, MG

## Células de 100 x 100 metros

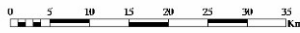
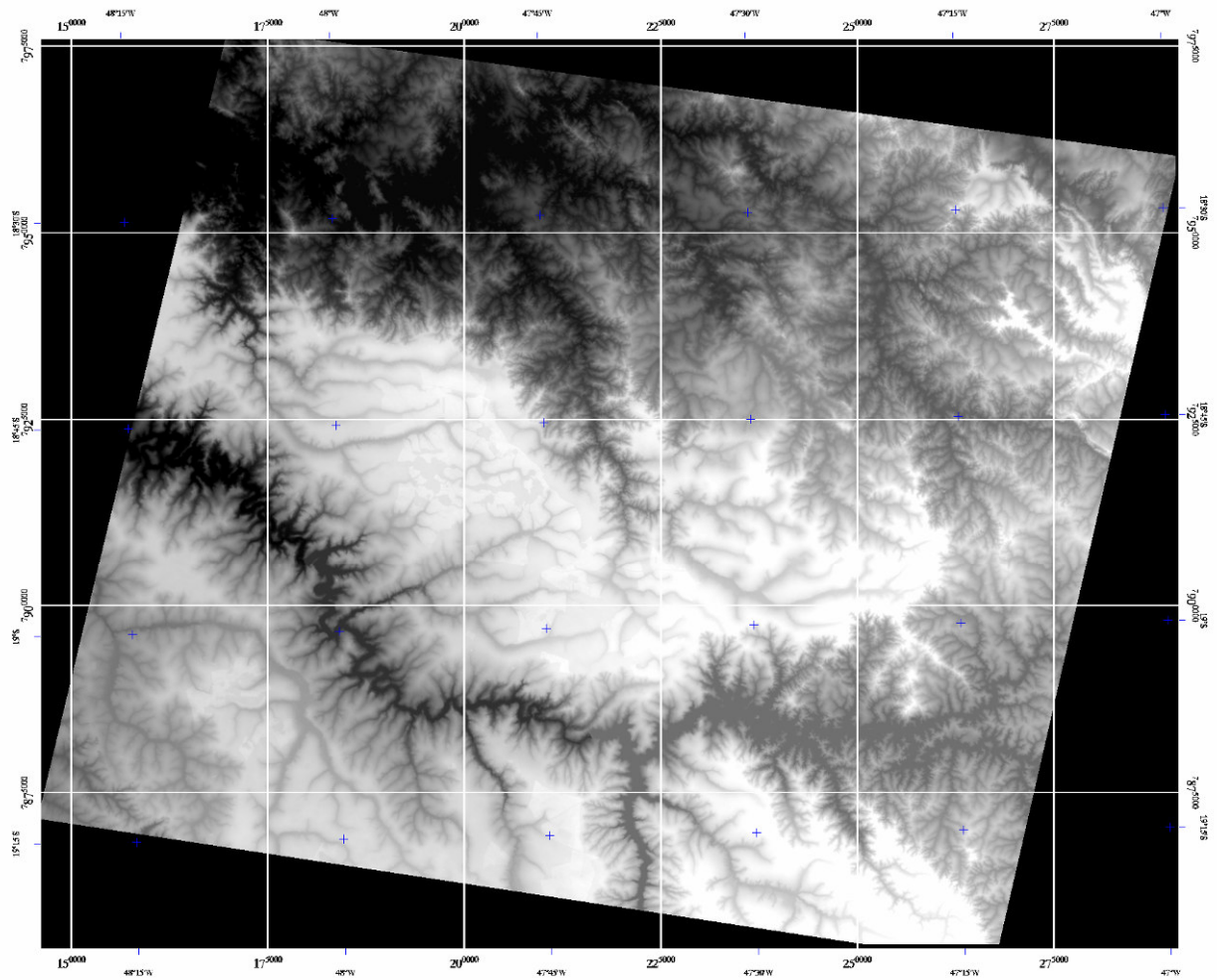


Resolução do MDT: 100 metros  
Gerado a partir de par estereoscópico do satélite CBERS-2

Dissertação para obtenção do título de Mestre  
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto  
CEPSRM - UFRGS

# Modelo Digital de Terreno da Região de Estrela do Sul, MG

## Células de 90 x 90 metros (SRTM)



Resolução do MDT: 100 metros  
Gerado pela Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

Dissertação para obtenção do título de Mestre  
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto  
CEPSRM - UFRGS