

Geração de Modelo Digital de Elevação a partir de Imagens Reference Stereo do Satélite IKONOS

Silvia Luiz ¹
Anderson Rodrigo Souza Santos ¹
Thomas Lafayette Brenner ²

Geoambiente Sensoriamento Remoto S/C Ltda
Avenida Shishima Hifumi, 2911 – 12244-000 - São José dos Campos - SP, Brasil
{ silvia, andersonsantos }@geoambiente.com.br

Votorantim Metais ²
Praça Ramos de Azevedo, 254 - 01037-912 - São Paulo – SP, Brasil
thomas.brenner@vmetais.com.br

Abstract. This article presents the result of the generation of Digital Elevation Model, based in high resolution data from the region of Mato Grosso state using the APEX (PCI) software.

Palavras-chave: digital elevation model, imagery IKONOS, modelo digital de elevação, imagens IKONOS.

1. Introdução

O Modelo Digital de Elevação (Digital Elevation Model - DEM) é um dos dados mais importantes para análises geospaciais e geração de orto-imagens.

A geração de DEM, a partir de estereopares de imagens de sensores remotos orbitais atuantes no espectro óptico, baseia-se em elementos presentes nos modelos matemáticos da aerofotogrametria tradicional.

Este trabalho tem por finalidade apresentar os resultados obtidos na geração de um DEM a partir de estereopares de imagens do satélite IKONOS (Reference Stereo).

A área de estudo está localizada no município de Aripuanã (MT) e compreende, aproximadamente, 178 km² (**Figura 1**). Sua topografia é caracterizada por um relevo com elevação variando de 100 a 400 metros.



Figura 1 - Localização da área de estudo (polígono vermelho).

2. Fundamentação

2.1 Modelo Digital de Elevação

O DEM é uma representação digital de uma seção da superfície, dada por uma matriz de pixels com coordenadas planimétricas (x,y) e um valor de intensidade do pixel, correspondente à elevação.

A partir de estereopares de imagens obtidas pelos sensores remotos atuantes no espectro óptico, é possível gerar um DEM pelo princípio da Estereoscopia.

A estereoscopia permite obter dados tridimensionais, por meio da observação de um par de imagens planas (estereopares) de uma mesma cena, com ângulos de incidência distintos (Santos et al.,1999).

Entre os sensores remotos orbitais ópticos de média e alta resolução espacial que possuem capacidade de gerar DEMs, destacam-se: ASTER, SPOT-5/HRS, IKONOS-2 e QuickBird (Toutin e Gray, 2000).

A paralaxe de qualquer ponto, numa mesma imagem, está diretamente relacionada à elevação desse ponto e é maior para pontos com altitudes mais elevadas. A partir de medidas fotogramétricas, a elevação (H) e as coordenadas (E e N) de um ponto podem ser determinadas no terreno e calculadas a partir de sua paralaxe (Wolf e Dewitt, 2000).

2.2 Imagens IKONOS

As imagens estéreo do satélite IKONOS consistem em duas cenas tomadas do mesmo local, porém com perspectivas diferentes, na mesma passagem.

O satélite IKONOS possui dois sensores capazes de coletar imagens pancromática com 1 metro de resolução espacial e multiespectrais (4 bandas) com 4 metros de resolução espacial (**Tabela 1**).

Tabela 1 – Características espectrais e espaciais do satélite IKONOS (Fonte: Space Imaging, 2006)

Bandas	Intervalo Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)
B&W (pancromática)	0,45 – 0,90	1
1 (azul)	0,45 - 0,52	4
2 (verde)	0,51 - 0,60	4
3 (vermelho)	0,63 - 0,70	4
4 (infravermelho próximo)	0,76 – 0,85	4

O ângulo de convergência entre esses estereopares é de 30° a 45° e os ângulos de elevação são acima de 60° e 72°, ângulos esses satisfatórios para geração de um DEM.

As imagens IKONOS Stereo possuem 11 km de largura e 11 km a 400 km de comprimento. Suas precisões são apresentadas na **Tabela 2**.

Tabela 2 - Precisão das imagens IKONOS Stereo (Fonte: Space Imaging, 2006)

Tipos de Imagens	Precisões Horizontal (CE90)	Precisões Vertical (LE90)	Escalas
Reference Stereo	25 m	22 m	1:50.000
Precision Stereo	4 m	5 m	1:4.800

3. Material

Foram utilizados os seguintes dados:

- Um par de imagens pancromáticas IKONOS-2 (Reference Stereo), com 1 metro de resolução espacial (**Tabela 3**);

Tabela 3 - Características das imagens IKONOS-2 utilizadas

IMAGEM	173214-0	173214-1
DATA	24/07/2005	24/07/2005
AZIMUTE DO SENSOR	12°04'44,4"	191°48'49,68"
ELEVAÇÃO DO SENSOR	65°56'22,344"	83°50'45,132"
AZIMUTE SOLAR	38°46'19,2"	38°32'05,28"
ELEVAÇÃO SOLAR	51°48'56,628"	51°56'31,812"

- Dados planialtimétricos coletados em campo com par de GPS Geodésico L1 Stratus (Sokkia ®);
- *Software* de Processamento de dados GPS Spectrum Survey 3.3 (Sokkia ®);
- *Software* PCI APEX 7.0 ®.

4. Procedimentos

O trabalho foi dividido em duas etapas:

- Determinação dos pontos de campo;
- Geração do DEM.

4.1. Determinação dos pontos de campo

Para a determinação dos pontos de campo, foi utilizada a técnica de posicionamento GPS relativo. Neste caso, as coordenadas são determinadas em relação a um referencial materializado por um ou mais vértices de coordenadas conhecidas (Monico, 2000). A referência utilizada neste levantamento foi o marco planimétrico de código 91216, homologado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

Segundo Monico (2000), o objeto a ser posicionado pode estar em repouso ou em movimento. No primeiro caso, trata-se do posicionamento estático, enquanto no segundo, trata-se do posicionamento cinemático.

No planejamento de campo foram selecionados 145 pontos na imagem, distribuídos por toda a área de estudo.

Em campo, foram rastreados 35 pontos estáticos e trajetórias no modo cinemático.

Os dados coletados foram processados e analisados, obtendo-se assim as suas coordenadas Geodésicas (latitude, longitude e altura geométrica (h)) e Plano Retangulares na projeção UTM, zona 21 sul, *Datum* SAD69/96.

Com a utilização do *software* MAPGEO 2004, disponibilizado pelo IBGE, foram obtidas as ondulações geoidais (N) de cada ponto, isto é, o afastamento entre o elipsóide de referência e o geóide, contado sobre a normal ao elipsóide que passa pelo ponto.

Assim, calculou-se para os pontos as alturas ortométricas (H), a partir da diferença entre as alturas geométricas e as ondulações geoidais.

4.2. Geração do Modelo Digital de Elevação

O DEM, proveniente do estereopar IKONOS (Reference Stereo), foi gerado com a utilização do *software Aerial Photo Elevation Extraction (APEX)*. Esse *software* permite a extração de informação geoespacial, a partir da visualização de estereopares em três dimensões e comporta tanto o sistema de visualização ativo como o passivo, permitindo a calibração de câmeras métricas e não métricas. Essa calibração é muito útil em se tratando de imagem orbitais.

De acordo com Zeroual e Liazid (2003), devido à geometria de aquisição das imagens de satélite de alta resolução, os modelos matemáticos de retificação de fotos (equação da colinearidade) não podem ser empregados na retificação das imagens de satélite, pois o sistema de varredura eletrônica destas corresponde a um arranjo linear de sensores, ou seja, os sensores são dispostos perpendicularmente à linha de deslocamento da plataforma. Assim, é empregada a Transformação Linear Direta (*Direct Linear Transformation - DLT*), que permite a calibração de câmeras não métricas, possibilitando, neste caso, a eliminação das orientações interna e externa na calibração, o que é muito útil em se tratando de imagens orbitais. Esta transformação foi introduzida por Abdel-Aziz e Karara (1971) e é derivada do princípio da colinearidade. Ela considera parâmetros de escala diferenciados para os eixos x e y, além das coordenadas ajustadas do centro perspectivo, tendo como resultado final um conjunto de 11 parâmetros.

Dos 35 pontos coletados, 30 foram utilizados como pontos de controle (*Ground Control Points - GCPs*) para a geração do DEM. A distribuição destes pontos é apresentada na **Figura 2**.

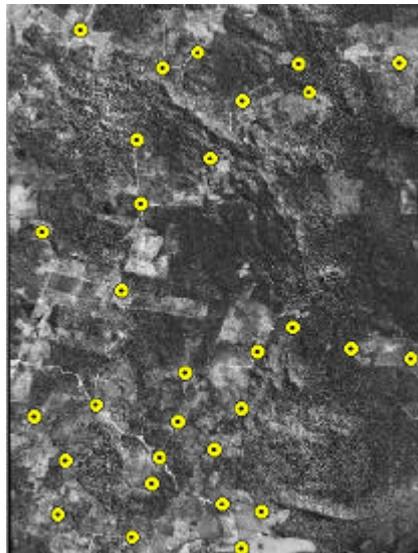


Figura 2- Distribuição dos 30 GCPs na imagem IKONOS 173214-0.

Para a geração do DEM, seguiu-se as etapas apresentadas na **Figura 3**.

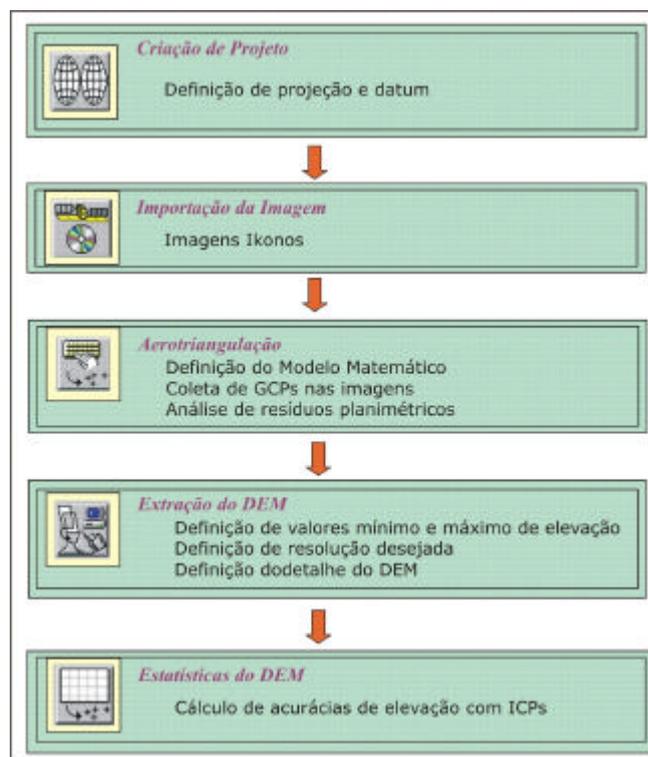


Figura 3- Diagrama de fluxo de trabalho contendo as etapas para a geração do DEM.

Na verificação da qualidade do DEM utilizou-se os valores do erro médio quadrático (RMSE - *Root Mean Square Error*), da análise de tendência e do Erro Linear com 90% de nível de confiança (LE90). Detalhes sobre os cálculos utilizados e suas fórmulas podem ser vistos em Oliveira (2005).

5. Resultados

As imagens IKONOS trianguladas com 30 GCPs apresentaram os seguintes RMSE, conforme apresentado na **Tabela 4**.

Tabela 4 - Valores dos RMSE resultantes da triangulação das imagens

Imagens	RMSE Total (pixel)	RMSE em X (metros)	RMSE em Y (metros)
173214-0	0,623533	0,452	0,043
173214-1	0,637421	0,461	0,440

Com a formação do par estereoscópico foi gerado um DEM IKONOS com resolução de 4 metros.

Para a realização da validação e controle de qualidade do DEM, foram utilizados 974 pontos de checagem (ICPs - *Independent Check Points*) obtidos em campo pelo método de posicionamento cinemático. A **Figura 4** apresenta a distribuição destes pontos sobre o DEM.

A **Tabela 5** apresenta os valores do RMSE e as análises de tendência e precisão que foram calculados a partir dos ICPs.

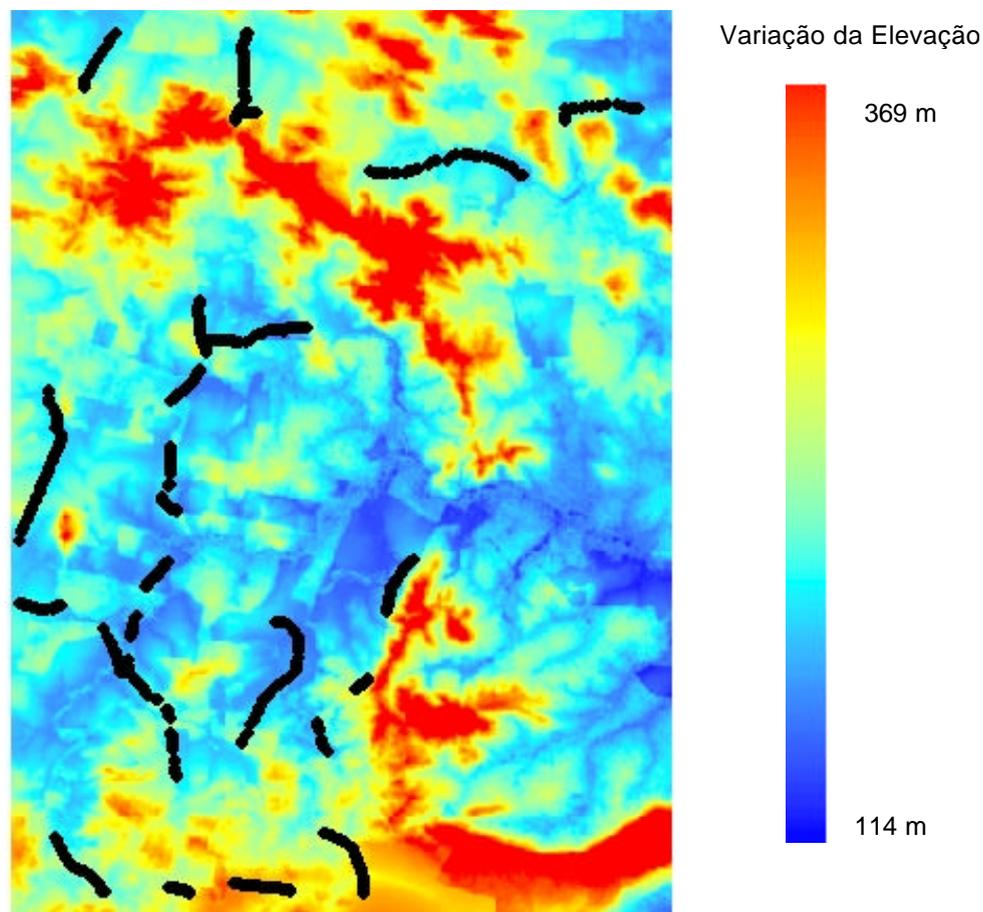


Figura 4 - Distribuição dos pontos de validação sobre o DEM.

Tabela 5 - Análises de Tendência e Precisão do DEM gerado com o par de imagens IKONOS

Desvio Padrão	0,515 m
MÉDIA (BIAS)	0,021 m
ERRO MÁXIMO	1,000 m
ERRO MÍNIMO	-0,997 m
t (amostral)	1,267
t (n-1,5%)	1,646
SEM TENDÊNCIA	VERDADEIRO
Qui-quadrado (n-1,10%)	1029,940
RMSE	0,515 m
LE90	0,847 m

n=974

6. Conclusão

A partir dos resultados alcançados na validação do DEM gerado a partir das imagens IKONOS (Reference Stereo), conclui-se que este produto atende aos requisitos do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) altimétrico compatível à classe A, escala 1:10.000.

Referências

- Abdel-Aziz, Y.I.; Karara, H. M. **Direct Linear Transform From Comparator Coordinates Into Object Space Coordinates**, In Close-Range Photogrammetry, 1971, Illinois. **Proceedings...Illinois: ASP/UI Symposium of Close-Range Photogrammetry**, pp. 1-18, 1971.
- Monico, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações** – São Paulo, Editora UNESP, 287p, 2000.
- Oliveira, C. G. de **Avaliação de Modelos Digitais de Elevação gerados a partir de sensores remotos orbitais óptico (Aster) e radar (Radarsat-1, SRTM: um estudo para a região da Serra dos Carajás (PA)**. 2005. 184 p. (INPE-13168-TDI/1027). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.
- Santos, A. R.; Paradella, W. R.; Veneziani, P; Morais, M. C. A estereoscopia com imagens RADARSAT-1: uma avaliação geológica na Província Mineral de Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 29, n. 4, p. 627-632, 1999.
- Space Imaging. Disponível em: (<http://www.spaceimaging.com/products/ikonos/stereo.htm>). Acesso em 05 out. 2006.
- Toutin, T.; Gray, A. L. **State-of-the-art of extraction of elevation data using satellite SAR data**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 55, n. 1, p. 13-33, 2000.
- Wolf, P. R.; Dewitt, B. A. **Elements of Photogrammetry: With Applications in GIS**. 3rd ed. McGraw-Hill, 608p., 2000.
- Zeroual, I.; Liazid, A. **Use of DLT in Photogrammetric Metrology**. In Fig Working Week, 2003, Paris. **Proceedings...Paris: École Nationale des Sciences Géographiques (ENSG)**, 2003. On-line ISBN 87-90907-27-2. Disponível em: http://www.fig.net/pub/fig_2003/TS_22/PP22_4_Zeroual_Liazid.pdf .Acesso em 05 out. 2006.