

Avaliação da Acurácia de Modelos Digitais de Superfícies Gerados a partir de um Estereopar de imagens IKONOS

Lívia Rodrigues Tomás¹
Cleber Gonzales de Oliveira¹
Leila Maria Garcia Fonseca¹
Cláudia Maria de Almeida¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{livia, cleber, almeida}@dsr.inpe.br; leila@dpi.inpe.br

Abstract. Digital terrain models have rendered the modeling of the earth surface available. With the use of interpolated samples and depending on their location, different digital models can be created. Digital Elevation Models are built upon basis of samples referring to points located on the terrain, while Digital Surface Models account for the elevation of natural and artificial features located above ground. The sources for the acquisition of elevation data are manifold, and the selection of the most appropriate ones for a given study will always rely on the specific goals at issue. In this paper, a 1m stereo pair of IKONOS 2 images covering part of Mairiporã municipality, São Paulo State, was used. The aim of this research is to evaluate the vertical accuracy of DSMs obtained from a stereo pair of IKONOS images and their respective rational polynomial coefficients (RPCs), with different combinations of ground control points (GCPs). Five DSMs were generated with five different sets of GCPs: 9, 12, 15, 18, and 21. Each DSM was evaluated by means of the root mean square error (RMSE) and the linear error with a 90% confidence interval (LE90), using 21 independent check points (ICPs) surveyed on field. All the DSMs were up to the altimetry standards required for scales at 1:10,000. Accuracy showed to stabilize with the use of 21 GCPs in the adopted mathematical model.

Palavras-chave: remote sensing, digital surface model, stereoscopy, sensoriamento remoto, modelo digital de superfície, estereoscopia.

1. Introdução

Através das técnicas de modelagem digital do terreno, é possível modelar superfícies contínuas, como a superfície terrestre, de forma discreta através de amostras. Essas amostras (pontos planialtimétricos) são interpoladas para se obter uma grade regular ou triangular.

O modelo digital será formado por uma grade com valores de elevação (z) regularmente espaçada (em x e y), referenciada a um datum (horizontal e vertical) e a um sistema de coordenadas.

Quando a elevação da grade provém apenas de pontos localizados na superfície nua do terreno, temos um Modelo Digital de Elevação (MDE); quando incorpora valores de elevação das feições naturais e artificiais situadas acima da superfície nua do terreno, tem-se um Modelo Digital de Superfície (MDS) (MAUNE et al., 2006).

A elevação pode ser obtida a partir de: levantamento de campo, por estereoscópico de fotografias aéreas, por estereoscópico de sensores orbitais, perfilamento a laser, interferometria e radargrametria. Assim, a escolha da forma de aquisição deve ser feita tal que melhor se encaixe no objetivo do estudo, principalmente quanto ao nível de detalhamento (escala) e orçamento disponível.

O MDS pode ser utilizado para várias aplicações, tal como ortorretificação de imagens de satélite, ou em aplicações urbanas, tornando-se uma importante ferramenta do planejamento urbano.

Neste trabalho, utilizou-se um par de imagens estereoscópicas de alta resolução espacial, obtidas pelo sensor a bordo do satélite IKONOS-2, e pontos de controle de campo (*Ground Control Points* - GCPs), coletados com equipamentos GPS geodésicos, para gerar o MDS da área.

A partir de imagens de um mesmo local, obtidas em diferentes ângulos, é possível gerar um modelo tridimensional da superfície, a cujo procedimento se dá o nome de estereoscopia. O objetivo principal é reconstruir um espaço tridimensional (espaço-objeto) a partir de imagens bidimensionais (espaço-imagem) (BRITO e COELHO, 2002).

As imagens estereoscópicas IKONOS estão disponíveis em dois tipos de produto: *Reference* e *Precision*, com resolução espacial de 1 m (*pan-sharpened*) e 11 bits de resolução radiométrica. O par de imagens é adquirido na mesma passagem orbital, com apenas alguns segundos de diferença, facilitando o processo de identificação de feições homólogas nas imagens. Além das imagens, também são fornecidos os Coeficientes Polinomiais Racionais (Racional Polinomial Coefficient - RPC) de cada imagem, que expressa a relação entre o espaço-objeto e o espaço-imagem. A acurácia geométrica das imagens estéreo depende da disponibilidade e uso de GCPs, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Acurácia geométrica dos produtos IKONOS *Stereo*.

Tipo de Produto	Acurácia Horizontal CE90	Acurácia Vertical LE90
Par estéreo sem GCPs	25 m	22 m
Par estéreo com GCPs	2 m	3 m

Fonte: Dial (2000).

Os RPCs fornecidos com as imagens IKONOS garantem uma representação da geometria entre o terreno e a imagem, permitindo que o usuário realize o processo fotogramétrico, criando modelos digitais de terrenos e medidas tridimensional por meio dos pacotes de programas de processamento de imagens, sem ter acesso ao modelo físico da câmera (LUTES, 2004).

Segundo Grodecki (2001), a utilização do modelo físico do IKONOS seria complicada, por se tratar de um sensor de varredura eletrônica, em que cada linha da imagem é adquirida em tempos diferentes, e, portanto cada linha possui um centro de projeção, com projeção e orientação diferentes. Apesar de não representar a realidade geométrica do sensor, a utilização dos RPCs facilita o processamento.

Apesar das funções racionais já serem aceitas pela comunidade fotogramétrica, ainda são muitas vezes chamadas de ‘modelo aproximado’, sugerindo que elas apresentam menos acurácia que os modelos físicos (LUTES, 2004). Entretanto, Grodecki (2001) demonstrou que o modelo RPC do IKONOS difere em precisão, de no máximo 0,04 pixel, em comparação ao modelo físico, com Erro Médio Quadrático (EMQ) ou RMSE (*Root Mean Square Error*) abaixo de 0,01 pixel.

O objetivo deste trabalho é avaliar a acurácia vertical de MDS, gerados a partir de um par estereoscópico de imagens IKONOS e respectivos RPCs, com diferentes quantidades de pontos de controle de campo (GCPs).

2. Área de Estudo

A área de estudo localiza-se no município de Mairiporã (SP) e está compreendida no retângulo envolvente de coordenadas: 46° 38’ 06” W; 23° 19’ 45” S; e 46° 33’ 03” W; 23° 17’ 22” S.

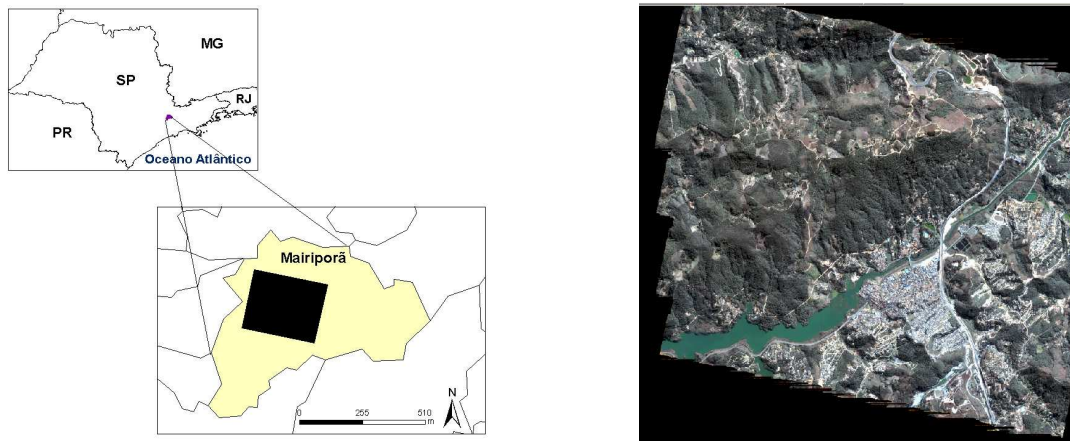


Figura 1: Localização da área de estudo.

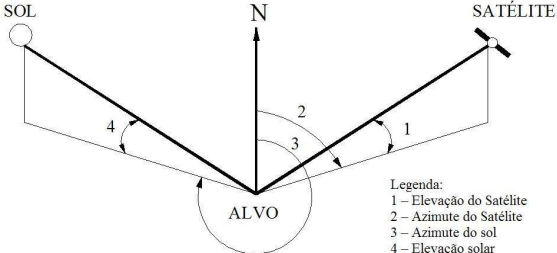
3. Material e Metodologia de Trabalho

O material utilizado neste trabalho foi:

1) um par de imagens estereoscópicas IKONOS-2 cedidas pela empresa *Space Imaging do Brasil*, com 1 m de resolução espacial, apresentando as bandas multiespectrais fusionadas com a banda pancromática (*pan-sharpened*), e com geometria de aquisição descrita na Tabela 2:

Tabela 2: Características das imagens IKONOS utilizadas.

Imagem	0030020100	0020030100
Data de aquisição	09/07/2000	09/07/2000
Posição estéreo	esquerda	direita
Elevação do sensor (1)	88,48°	60,44°
Azimute do sensor (2)	240,95°	10,47°
Azimute Solar (3)	36,58°	36,77°
Elevação solar (4)	34,93°	34,81°



Legenda:

1 – Elevação do Satélite

2 – Azimute do Satélite

3 – Azimute do sol

4 – Elevação solar

2) 42 pontos de campo coletados em outubro de 2007, com equipamentos GPS Geodésicos no modo estático;

3) módulo *OrthoEngine* do programa computacional *PCI Geomatica V10.1*.

A metodologia de trabalho pode ser resumida nas seguintes etapas:

- a) coleta dos pontos de campo;
- b) processamento e avaliação dos pontos de campo;
- c) escolha dos pontos de controle e verificação;
- d) leitura das imagens;
- e) identificação dos GCPs nas imagens;
- f) cálculo da modelagem matemática (utilizando os RPCs);
- g) geração das imagens epipolares;
- h) geração e geocodificação dos MDS;
- i) avaliação estatística dos MDS.

O planejamento do levantamento de campo foi realizado a partir das imagens IKONOS-2, selecionando pontos notáveis e bem distribuídos na área das imagens para serem coletados em campo. Foram coletados 42 pontos de campo e a escolha dos pontos que seriam de controle e verificação seguiu a premissa de utilização de 21 pontos para verificação (*Independent Check Points* - ICPs), pois, segundo Merchant (1982), deve-se utilizar no mínimo 20. Restaram, então, outros 21 pontos para ser utilizados como controle na geração dos MDSs.

Foi estipulado inicialmente um número de nove GCPs, bem distribuídos em área e altimetria na região do estudo para geração do primeiro MDS. Como o número máximo de GCPs foi fixado em 21, optou-se por gerar cinco MDS, utilizando cinco configurações de GCPs: 9, 12, 15, 18 e 21. A Figura 2 mostra a localização dos GCPs.

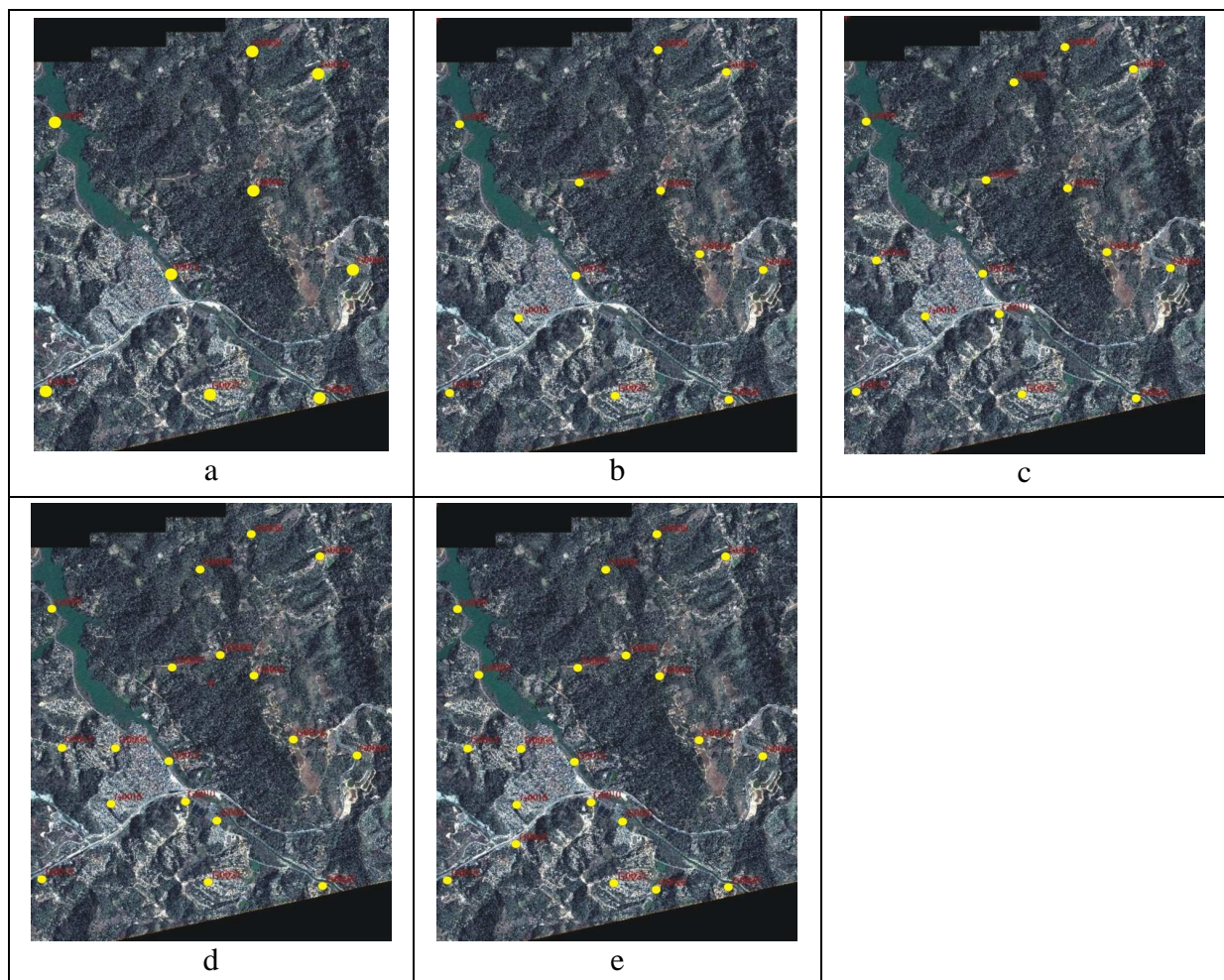


Figura 2: Localização dos: (a) 9GCPs; (b) 12 GCPs; (c) 15 GCPs; (d) 18 GCPs; (e) 21 GCPs utilizados na geração dos vários MDS.

Os pontos de controle foram inseridos nas duas imagens do par estereoscópico, tomando como base os croquis de campo, resultando em erro posicional entre as imagens inferior a 1 pixel (um metro). Após essa etapa, foi calculado o modelo matemático para cada MDS, foram geradas as imagens epipolares correspondentes a cada MDS, e os cinco MDS foram gerados e geocodificados com 8 m de resolução espacial.

Por fim, a avaliação de cada MDS foi realizada com base nos 21 ICPs, mostrados na Figura 3. A partir das coordenadas UTM (E, N) de cada ICP, foram obtidos os valores altimétricos de cada ponto sobre os MDS gerados e em seguida os valores do EMQ

altimétrico e do LE90 (erro linear com 90% de probabilidade) de cada MDS foi calculado, através das Equações 1 e 2 (SANTOS, 2003).

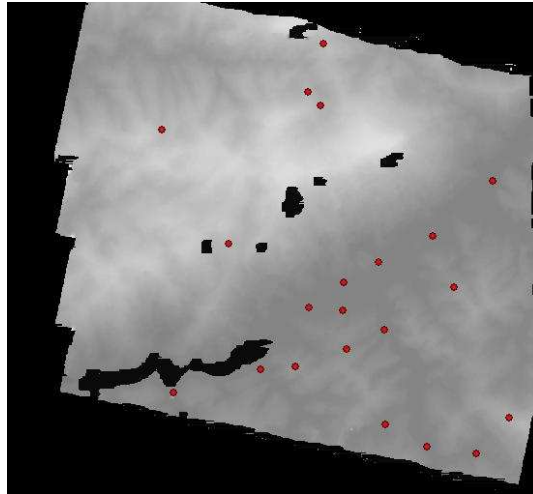


Figura 3: ICPs sobre MDS.

$$EMQ = \sqrt{\frac{\sum (Z_i - Z_t)^2}{n-1}}, \quad (1)$$

onde:

Z_i = valor do MDS;

Z_t = Valor do ponto de controle, levantado no campo;

n = número de pontos na amostra. Assim:

$$LE90 = RMSE \times 1,6459. \quad (2)$$

3. Resultados e Considerações Finais

Todos os MDS gerados apresentaram algumas regiões com baixa correlação de feições homólogas. Essas regiões se encontram em áreas com presença de corpos d'água e em algumas áreas de mata fechada. Nas regiões de mata, foram coletados pontos de amarração (*tie points*) para tentar corrigir esse tipo de problema. Entretanto, o erro no ajuste do modelo aumentou significativamente, não viabilizando a utilização desse recurso.

Como pode ser observado na Figura 4, os cinco MDS gerados apresentaram visualmente resultados semelhantes, porém possuem algumas variações estatísticas como mostra a Tabela 3. A cota máxima obtida em cada MDS foi de: 1.298,0 m (21 GCPs); 1.278,39 m (18 GCPs); 1.281,64 m (15 GCPs); 1.278,39 m (12 GCPs) e 1.290,10 m (9 GCPs).

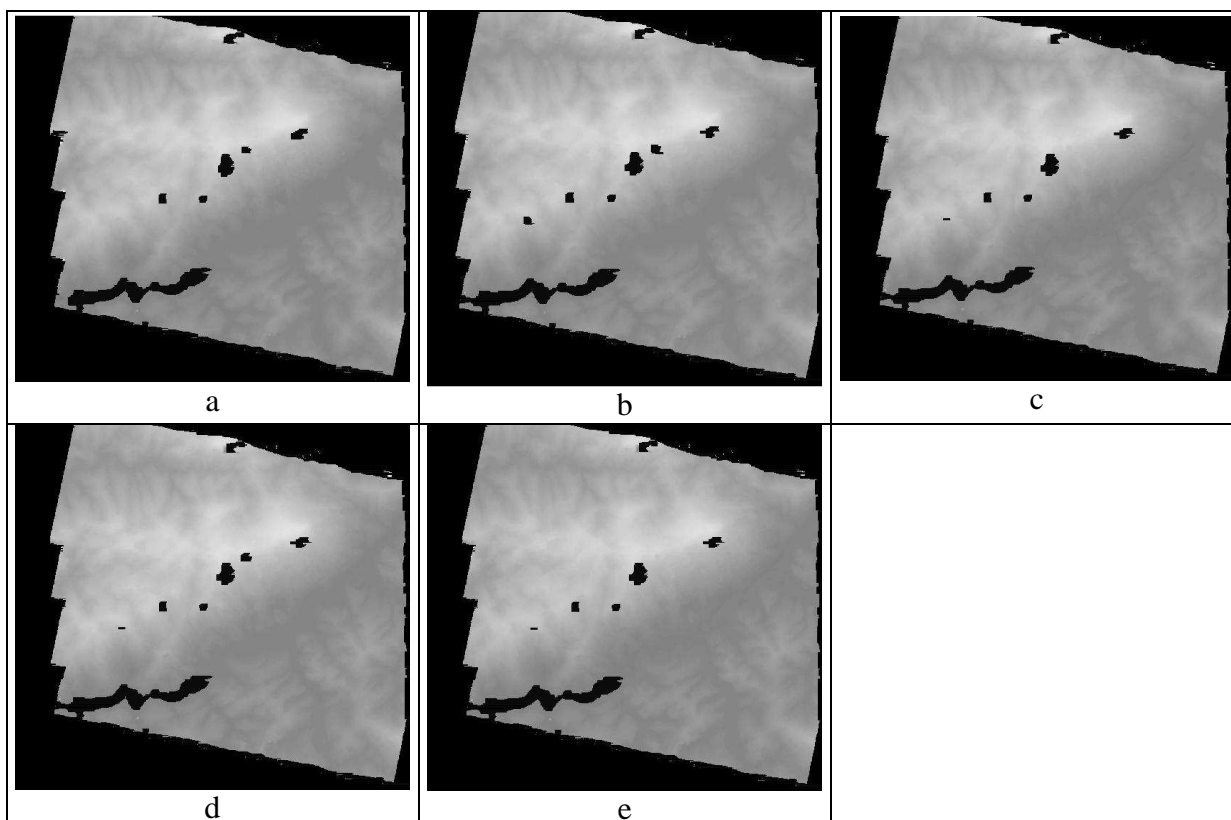


Figura 4: Modelos Digitais de Superfície gerados com (a) 9 GCPs; (b) 12 GCPs; (c) 15 GCPs; (d) 18 GCPs; (e) 21 GCPs.

Tabela 3: Estatística dos Modelos Digitais de Superfície gerados.

	MDS 9 GCPs	MDS 12 GCPs	MDS 15 GCPs	MDS 18 GCPs	MDS 21 GCPs
EMQ	1,03	1,08	1,12	1,05	1,05
LE90	1,69	1,786	1,85	1,74	1,73

Todos os MDS apresentaram RMSE abaixo de 1,667 e, portanto, atendem aos requisitos altimétricos para cartas de escala 1:10.000 (Classe A), segundo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).

Vale destacar ainda que os valores do EMQ tiveram uma pequena variação em altitude, de um MDS para outro, apresentando melhor resultado o MDS gerado com nove GCPs, e o pior resultado foi obtido no MDS gerado com 15 GCPs.

Observando-se a variação da acurácia nos cinco MDSs gerados, pode-se concluir que a acurácia mantém-se estável a partir da utilização de 21 GCPs na modelagem matemática utilizada.

Agradecimentos

À *Space Imaging* do Brasil, pela doação das imagens IKONOS; à CAPES, pelo apoio financeiro; ao INPE, pelo levantamento de campo, fornecimento dos equipamentos e programas computacionais utilizados; ao Eng. Cartógrafo Paulo Cesar Gurgel de Albuquerque, pela execução do trabalho de campo para coleta de pontos GPS; à colega Izabel

Cristina dos Reis, pela ajuda nos ajustes finais do trabalho; e a CAPES pelo suporte financeiro.

Referências Bibliográficas

Brito, J.; Coelho, L. **Fotogrametria Digital**. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <<http://www.efoto.eng.uerj.br/ebook-pt.html>> Acesso em: 20 de Outubro de 2008.

Dial, G. IKONOS Satellite Mapping Accuracy. In: ASPRS Conference, 2000, Washington DC, **Proceedings...** Bethesda: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000.

Grodecki, J. IKONOS stereo feature extraction - RPC approach. In: ASPRS Conference, 2001, St. Louis, **Proceedings...** Bethesda: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 2001.

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

Maune, D. F. et al. Introduction. In: **Maune, D. F. (Ed.)**, Digital Elevation Model Technologies and Applications: the DEM users manual. Bethesda: ASPRS, 2001. cap. 1, p. 1-34.

Santos, C. J. B.; Silva, J. F. C.; Mello, M. P. Controle de qualidade da altimetria de modelos digitais do terreno com a utilização de equipamentos GPS ocupando referências de nível. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 21., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Rio de Janeiro: SBC, 2003.