

A influência da configuração de pontos de apoio na triangulação de imagens PRISM/ALOS

Maurício Galo¹, Antonio Maria Garcia Tommaselli¹, Júlio Kiyoshi Hasegawa¹, Ana Cláudia de Lima Toledo², Aziz Alfredo da Costa Pereira³, Giovana Araujo Alberti⁴, Larissa de Souza Correia⁵, Vanessa Jordão Marcato⁶

UNESP – Univ. Estadual Paulista

¹FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Cartografia

⁶PPGCC – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas

Rua Roberto Simonsen 305, 19060-900, Presidente Prudente – SP, Brasil

{galo, tomaseli, hasegawa}@fct.unesp.br, anaclaudia.cart@gmail.com²,

aziz.pereira@saibrasil.com.br³, giovana_alberti@hotmail.com⁴, larissa.engcart@hotmail.com⁵,

vanessamarcato@yahoo.com.br⁶

Abstract. The aim of this work is to analyze the results of bundle block adjustment using images of the PRISM/ALOS sensor, with processing level 1B1, for different configurations of ground control points (GCP). This analysis was performed for a set of 6 triplets simultaneously processed. In all trials the processing was performed without the use of rational polynomial coefficients (RPCs). Firstly, the results with 3 groups of exterior orientation parameters (EOP), considering different orders for the polynomials were analyzed. These polynomials are used in the collinearity equation and all this processing was performed in LPS - Leica Photogrammetric Suite. Then, the results with different GCP number and configurations were analyzed. After selecting the group of polynomial to model the satellite orbit and also to choose the GCP configuration, i.e, with RMSE less than 1 GSD (Ground Sample Distance) and fewer number of ground control points per image, the generation and editing of DTM of the region was made. Following, a topographic map at 1:25.000 scale of the regions was generated. After the quality control of this product, based on 20 independent check points, the obtained product was classified as class A in planimetry and B in altimetry, according to the Brazilian accuracy standards (Brazil, 1984).

Palavras-chave: Fototriangulação, imagens PRISM/ALOS, parâmetros de OE (orientação exterior), configuração dos pontos de apoio, coeficientes dos polinômios racionais, *Phototriangulation*, *PRISM/ALOS images*, *quality control*, *EOP (Exterior Orientation Parameters)*, *ground control points configuration*, *RPC (Rational Polynomials Coefficients)*.

1. Introdução e objetivo

A fototriangulação de imagens é uma operação frequentemente realizada por empresas e instituições que geram produtos cartográficos a partir de imagens ópticas, independente da plataforma usada em sua aquisição. No caso aéreo as imagens normalmente são adquiridas por câmaras nas quais os sensores são de quadro, de múltiplas objetivas ou por sistemas de varredura. No caso orbital, diferentes geometrias podem ser consideradas, como pode-se ver em Mikhail et al (2001) e um dos tipos mais comum é o *pushbroom*, onde tem-se um (ou mais) sensores lineares fotossensíveis do tipo CCD (*Charge Coupled Device*) que fazem a varredura à medida que o satélite desloca-se em sua órbita.

No caso de câmaras de quadro o número e a distribuição dos pontos de apoio de campo são aspectos bem estudados e estabelecidos. Além disso, também é uma realidade o georreferenciamento direto, no qual a posição e orientação do sensor são determinadas em tempo real, a partir da operação sincronizada dos subsistemas de posicionamento (GNSS – *Global Navigation Satellite System*) e de orientação (*INS – Inertial Navigation System*) embarcados durante a missão de voo. No caso de sensores orbitais, os sistemas de posicionamento e de orientação também são utilizados e informações sobre a órbita são disponíveis a partir dos arquivos que acompanham as imagens comercializadas. Além destas informações, algumas empresas disponibilizam coeficientes que permitem o relacionamento direto entre as coordenadas medidas na imagem, com as coordenadas do espaço objeto, por meio de *RPC – Rational Polynomial Coefficients*. Para mais detalhes sobre

georreferenciamento direto e uso de RPCs sugere-se: Cramer et al. (2000), Dowman e Tao (2002), Hu et al. (2004) e Kocaman e Gruen (2008), por exemplo.

Um destes sistemas de imageamento orbital é o ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), que foi lançado em 2006 com o propósito de contribuir para o mapeamento, observação da cobertura da terra, monitoramento de desastres e levantamento de recursos naturais (JAXA, 2010). Este satélite possui diferentes sensores, sendo que um deles opera no modo pancromático, outro no infravermelho próximo e outro no intervalo microondas do espectro eletromagnético. No caso deste trabalho o sensor de interesse é o PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*), que possui a geometria *pushbroom* e possui elemento amostral no terreno (GSD – *Ground Sample Distance*) de 2,5m.

Um dos objetivos da missão ALOS era a criação de mapas e base de dados em algumas escalas, dentre elas a escala 1:25.000. Uma vez que o sensor PRISM foi desenvolvido para fornecer imagens estéreo e com a possibilidade de criar blocos de imagens orbitais, entende-se que é relevante avaliar a qualidade dos blocos de imagens triangulados com diferentes configurações de pontos de apoio. No trabalho de Schneider et al (2008), por exemplo, os primeiros resultados obtidos com os dados estéreo deste sensor são discutidos. Embora o satélite ALOS tenha deixado de operar em 2010 este tipo de estudo é importante em função da existência das imagens de catálogo.

Com base nesta discussão, o objetivo deste trabalho é fazer a análise da qualidade da fototriangulação de um bloco de imagens do sensor PRISM do sistema ALOS, considerando diferentes configurações de pontos de apoio, sem o uso de RPC (*Rational Polynomial Coefficients*), bem como a análise da qualidade geométrica de uma carta topográfica na escala 1:25.000 gerada a partir destes dados.

2. Trabalhos relacionados

Pode-se observar na literatura alguns trabalhos relacionados à análise da qualidade de imagens PRISM/ALOS e produtos derivados. No trabalho de Barros et al. (2009), realizado com o aplicativo PCI OrthoEngine, foram usadas imagens PRISM/ALOS da região de Itaguaí – RJ, com nível de processamento 1B2G, obtendo-se classe A em planimetria, para a escala 1:50.000. Para imagens no nível 1B2R, ortoretificadas com 7 pontos de controle, obteve-se a classe A em planimetria para a escala 1:25.000. Coelho et al. (2010) utilizaram um tripleto de imagens PRISM/ALOS da mesma região, com nível de processamento 1B2R (calibrada geometricamente e mosaicada). Nesse trabalho foram gerados modelos digitais de elevação com diferentes combinações de visadas, sendo obtidos tanto modelos na classe A para a escala 1:25.000, quanto classe B, dependendo do espaçamento da grade gerada. Nesse trabalho também foi utilizado o software PCI OrthoEngine.

Em Nakahori (2010) foram gerados modelos digitais de superfície e ortoimagens, a partir de um tripleto de imagens PRISM/ALOS, com nível de processamento 1B1 da região de São Gabriel - RS, considerando diferentes combinações de visadas, sendo obtida uma ortoimagem avaliada como classe A na escala 1:25.000. Neste trabalho foi usado o software ENVI.

No trabalho de Oliveira (2011) foi feita a análise da qualidade de modelos digitais de superfície e ortoimagens geradas, sendo realizadas diversas combinações de visadas, pontos de apoio, etc. O tripleto usado corresponde a uma região na divisa entre Minas Gerais e São Paulo e possui uma grande variação na altitude, como descrito em Oliveira (2011). O nível de processamento das cenas utilizadas foi 1B2R, sendo disponíveis os RPCs. Foi possível observar que dependendo da combinação feita é possível gerar modelos digitais de terreno e ortoimagens compatíveis com a classe A na escala 1:25.000.

Em todos estes trabalhos tem-se em comum o uso de imagens PRISM/ALOS. No entanto, em todos eles foram utilizadas cenas com 3 imagens (tripleto). Neste trabalho a idéia é realizar análises similares, usando imagens no nível de processamento 1B1, onde apenas a

correção radiométrica foi feita, mas considerando não um tripleto e sim um bloco formado por 6 tripletos.

3. O Sensor PRISM/ALOS

O satélite ALOS (ver Figura 1) comporta 3 diferentes sensores de imageamento: PRISM, AVNIR-2 e PALSAR. Na sequência são brevemente descritos cada um destes sensores:

- PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) possui 2,5 metros de elemento de resolução espacial e compreende três sistemas ópticos que permitem a visada a partir de 3 direções (*forward, nadir, backward*);
- AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2*) com elemento de resolução espacial de 10m e quatro bandas espectrais equivalentes ao Azul, Verde, Vermelho e Infravermelho Próximo; e
- PALSAR (*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*) corresponde a um sensor SAR (*Synthetic Aperture Radar*) que opera na banda L, com elemento de resolução espacial variando de 10 a 100 m.

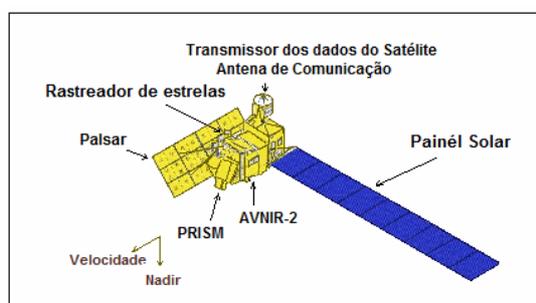


Figura 1. Satélite ALOS. Fonte: JAXA(2010).

Na Figura 2 o sistema de visadas do sensor PRISM, nos modos *forward, nadir* e *backward* é mostrado. À direita, ainda na Fig. 2, alguns ângulos relacionados a esta geometria são mostrados. A partir de informações do sistema é possível observar que a relação B/H é aproximadamente 1, quando são utilizadas imagens nas visadas *forward* e *backward*, o que é interessante em termos geométricos, mais especificamente para a geração de modelos de elevação.

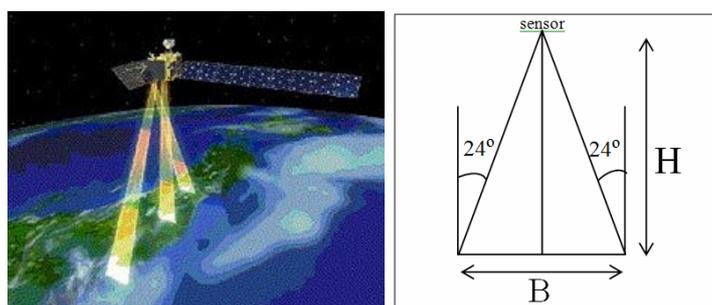


Figura 2. Visadas simultâneas do sensor PRISM (Esq.) e geometria das visadas (Dir.), com relação $B/H=1,0$. Fonte: JAXA(2010).

4. Material e método

O bloco disponível e processado é composto por 6 cenas PRISM do sensor ALOS, como nível de processamento 1B1 (apenas com correção radiométrica) e sem os RPCs, da região de Presidente Prudente – SP, conforme mostra a Figura 3.

Na sequência alguns dos dados de orientação interior do sensor PRISM são mostrados (Chen et al, 2004; JAXA, 2010):

- Distância focal: 1939,00mm;
- Inclinação *forward*: 23.8 graus;
- Inclinação *backward*: -23.8 graus;
- Tamanho do pixel: 0,0071mm; e
- Número de colunas: 14496.

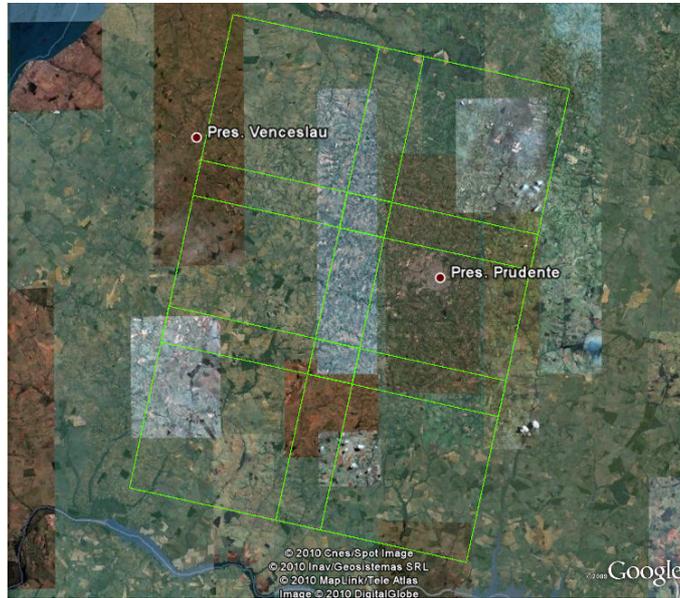


Figura 3 – Distribuição das imagens na área de trabalho.

Os processamentos principais foram realizados no sistema LPS – *Leica Photogrammetric Suite* e além deste sistema foram utilizados os aplicativos TGO (*Trimble*), Topcon PCCDU e MapGeo 2010. O receptor utilizado nos trabalhos de campo foi o Hiper GGD de dupla frequência.

A sequência de etapas realizadas para a análise foi a seguinte:

- Seleção, levantamento e processamento dos pontos de apoio e de verificação (total: 99 pontos);
- Fototriangulação com as Equações de Colinearidade e diferentes conjuntos de polinômios para os parâmetros de orientação exterior. A escolha de diferentes conjuntos de polinômios se deve ao fato de existirem correlações entre alguns destes parâmetros, como pode-se ver em Orun e Natarajan (1994). Dentre estas correlações tem-se a correlação entre o ângulo ω_S e a translação Y_S , bem como entre o ângulo ϕ_S e X_S , onde assume-se que o eixo X tem a direção do deslocamento do satélite na órbita. Na sequência são mostrados 3 grupos de parâmetros, onde são consideradas diferentes ordens para as componentes X_S , Y_S e Z_S , bem como para os ângulos omega e phi e kappa do satélite:

$$\begin{array}{lll}
 X_S(t) = X_0 + a_1 t + b_1 t^2 & X_S(t) = X_0 + a_1 t & X_S(t) = X_0 + a_1 t \\
 Y_S(t) = Y_0 + a_2 t + b_2 t^2 & Y_S(t) = Y_0 + a_2 t & Y_S(t) = Y_0 + a_2 t \\
 Z_S(t) = Z_0 + a_3 t + b_3 t^2 & Z_S(t) = Z_0 + a_3 t & Z_S(t) = Z_0 + a_3 t + b_3 t^2 \\
 \omega_S(t) = \omega_0 & \omega_S(t) = \omega_0 & \omega_S(t) = \omega_0 \\
 \phi_S(t) = \phi_0 & \phi_S(t) = \phi_0 & \phi_S(t) = \phi_0 \\
 \kappa_S(t) = \kappa_0 + a_4 t + b_4 t^2 & \kappa_S(t) = \kappa_0 + a_4 t & \kappa_S(t) = \kappa_0 + a_4 t
 \end{array}
 \quad (1) \quad (2) \quad (3)$$

- Seleção do grupo de polinômios que resultou no menor RMSE, para a realização dos demais testes;

- Realização de testes com diferentes configurações dos pontos de apoio;
- Escolha da configuração com menor relação custo/benefício e obtenção e edição do MDT bem como restituição aerofotogramétrica;
- Análise da qualidade do produto gerado.

5. Experimentos, resultados e análise

5.1. Seleção do grupo de parâmetros de OE

Como base no que foi descrito foram escolhidos três grupos de polinômios, denominados A, B e C, que são utilizados nas Equações de Colinearidade. Na Fig. 4 são mostrados os grupos (A, B e C) de parâmetros de OE selecionados, com suas respectivas ordens e os valores de RMSE (*Root Mean Square Error*) estimados para as componentes E, N e H a partir de 10 pontos de verificação.

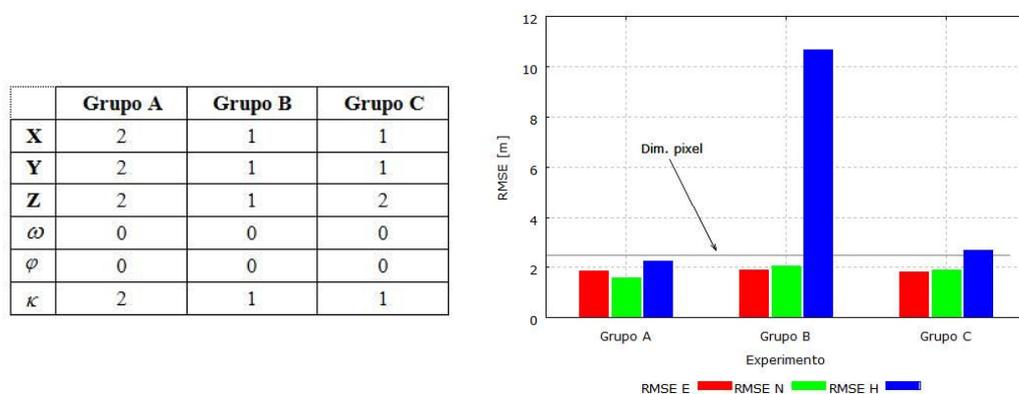


Figura 4. Grupos de parâmetros de OE e respectivas ordens (Esq.) e valores de RMSE em cada caso (Dir.).

A partir destes resultados pode-se notar que:

- O uso de polinômios de ordem 1 para X, Y, Z e κ , não resultou em um bom resultado para a componente Z;
- Embora as diferenças entre os RMSEs para os Grupos A e C não tenham sido muito diferentes, o Grupo A foi o que proporcionou melhores resultados, sendo este o grupo de parâmetros escolhido para os próximos experimentos.

5.2. Processamento com diferentes configurações de pontos de apoio

Na Tabela 1 são mostrados os experimentos realizados com 5 configurações de pontos de apoio, com dois conjuntos de pontos de verificação cada.

Tabela 1. Experimentos realizados considerando diferentes configurações de pontos de apoio.

Experimentos	Quantidade de Pontos de Apoio	Quantidade de Pontos de Verificação	
		Teste 1	Teste 2
Referência	99	10	-
I	62	10	32
II	48	10	54
III	40	10	62
IV	32	10	70
V	26	10	76

A Figura 5 mostra a configuração dos blocos para cada um dos cinco experimentos mencionados na Tabela 1. Nesta figura são mostrados, em cada um dos blocos, os 10 pontos de verificação (que correspondem ao Teste 1 da Tabela 1).

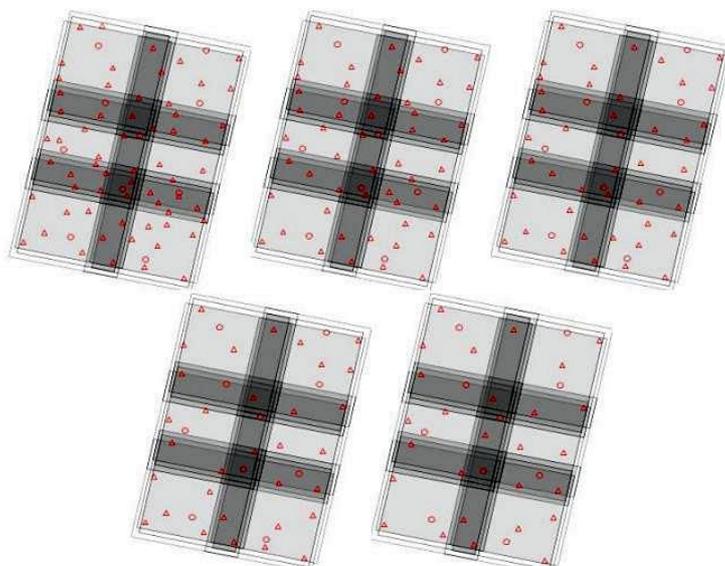


Figura 5. Configuração dos blocos, mostrando os pontos de apoio (triângulo) e de verificação (circunferência) para os experimentos I a V (Teste 1).

Estes blocos foram criados e processados no sistema LPS e a partir dos pontos de verificação foram calculados os valores de RMSE para as componentes E, N e H em cada um dos experimentos. É importante destacar que foram calculados os valores de RMSE para 10 pontos de verificação (denominado Teste 1 na Tabela 1), bem como para mais pontos de verificação (Teste 2). Uma vez que os experimentos com mais pontos de verificação (Teste 2) mostraram RMSE similares aos obtidos no Teste 1, são mostrados na Figura 6 apenas os RMSEs obtidos quando foram utilizados 10 pontos de verificação.

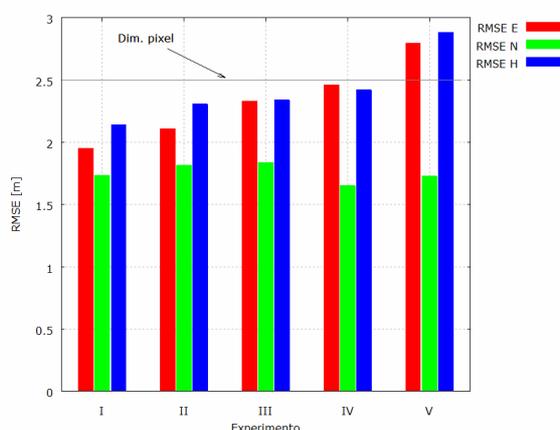


Figura 6. Valores de RMSE para os 5 experimentos (Teste 1).

Observando os resultados da Figura 6 pode-se notar que apenas no experimento V os valores de RMSE para duas componentes foram maiores que 1 GSD. Isso indica que das configurações com RMSE menores que 1 GSD, a mais econômica em termos de pontos de apoio é a IV, que corresponde a ter aproximadamente 6 pontos/imagem. Deste modo, uma vez adotada esta solução, com aproximadamente 6 pontos/imagem, partiu-se para a geração de outros produtos.

5.3. Modelo digital de terreno, restituição e controle de qualidade

A partir da configuração de apoio escolhida partiu-se para a geração de produtos como Modelo Digital de Terreno e posteriormente a carta topográfica. Com este propósito foi

inicialmente gerado um MDS – Modelo Digital de Superfícies e posteriormente foi feita a edição de modo a deixar neste modelo apenas os pontos pertencentes ao terreno (MDT).

A Figura 7 mostra uma porção do Modelo Digital de Terreno após edição dos pontos, inserção das linhas de quebra (*breaklines*), bem como com as curvas de nível (com equidistância de 10m) sobrepostas.

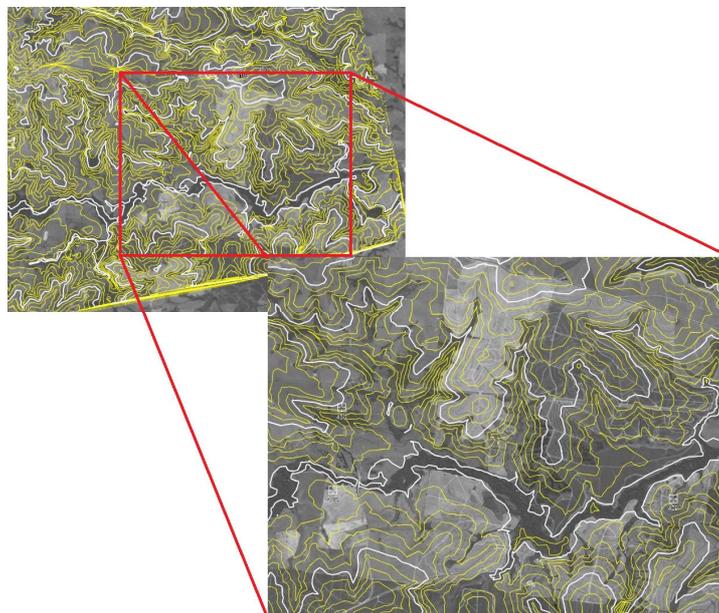


Figura 7. Parte do MDT com as curvas de nível sobrepostas, após edição. Fonte: Toledo et al. (2010).

Após a edição do MDT foi feita a restituição, edição, elaboração da carta topográfica e finalmente o controle de qualidade. Este controle de qualidade foi feito com base na análise de 20 pontos bem identificados na carta e medidos no terreno. A análise quantitativa foi feita com base na análise de tendência e precisão sugerida por Merchant (1982) e discutida também em Galo e Camargo (1994), com base em testes estatísticos.

Considerando a escala de 1:25.000 com equidistância 10m, os resultados indicam que o produto gerado atende a classe A em planimetria e classe B em altimetria, conforme estabelece o Decreto 89.817 (BRASIL, 1984).

6. Conclusões

A partir do bloco de imagens PRISM/ALOS utilizado foi feita a análise do grupo de parâmetros de OE que resultou nos menores valores de RMSE nos pontos de verificação. Considerando o grupo de parâmetros de OE escolhido e sem dispor dos coeficientes dos polinômios racionais (os RPCs), foram testadas cinco configurações de pontos de apoio. Foi verificado que a configuração com 32 pontos para o bloco, correspondente a aproximadamente 6 pontos/imagem, resultou em valores de RMSE menores que 1 GSD nas componentes E, N e H. Escolhida esta configuração para os pontos de apoio, foram gerados outros produtos.

Inicialmente foi gerado um MDS, que foi editado e permitiu gerar o MDT da área de trabalho. Posteriormente foi feita a restituição, que permitiu a geração de uma carta na escala 1:25.000. Esta carta foi analisada, em termos geométricos, com base em testes de hipótese utilizando 20 pontos de controle, sendo esta carta classificada como um produto classe A em planimetria e B em altimetria, para a escala 1:25.000, de acordo com as normas Brasileiras (Decreto 89.817 de 1984).

Agradecimentos

Os autores agradecem à UNESP/Faculdade de Ciências e Tecnologia por meio do Departamento de Cartografia, bem como ao PPGCC – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas pelo suporte, tanto em termos de infraestrutura quando pela disponibilização dos dados utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

Referências

Barros, R. S. de; Coelho, A. L.; Oliveira, L. F. de; Melo, M. F.; Correia, J. D. Avaliação geométrica de imagens ALOS/PRISM níveis 1B2G e 1B2R ortorretificada - estudo de caso: Itaguaí – RJ. In.: **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril, 2009. p. 1731-1738.

BRASIL. Decreto n. 89.817, de 20 de junho de 1984. **Dispõe sobre as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 22 de junho de 1984.

Chen, T.; Shibasaki, R.; Tsuno, K; Morita, K. Triplet-Matching for DEM generation with PRISM, ALOS – A case study using air-borne three line scanner data. In.: **ISPRS Archives – Volume XXXV Part B3, Commission III**, Istanbul, 12-23 July, 2004.

Coelho, A. L.; Barros, R. S. de; Melo, M. F.; Oliveira, L. F. de; Correia, J. D. Avaliação de Modelo Digital de Elevação extraído de imagens ALOS/PRISM – estudo de caso: Itaguaí – RJ. In.: **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife – PE, 27-30 de Julho, 2010.

Cramer, M.; Stallmann, D.; Haala, N. Direct georeferencing using GPS/INERTIAL exterior orientation for photogrammetric applications. In.: **IAPRS, Vol. XXXIII**, Amsterdam, 2000.

Dowman, I.; Tao, V. An update of the use of rational functions for photogrammetric restitution. In.: **Highlights ISPRS**, vol. 7, No 3, pp. 22-29. 2002

Galo, M.; Camargo, P. de O. O uso do GPS no controle de qualidade de cartas. In.: **COBRAC - 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**, 1994, p. 41-48, Florianópolis.

Hu, Y.; Tao, V.; Croitoru, A. Understanding the rational functions model: methods and applications. In.: **ISPRS Archives – Volume XXXV Part B4, Commission IV**, Istanbul, 12-23 July, 2004.

JAXA - EORC. **PRISM Absolute Geolocation Accuracies**, 2010.

Kocaman, S.; Gruen, A. Geometric modeling and validation of alos/prism imagery and products. In.: **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing, 2008.

Merchant, D. C.; Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps. In.: **American Congress on Surveying and Mapping** (1), 222-231, 1982.

Mikhail, E. M. ; Bethel, J. S.; McGlone, J. C. **Introduction to modern Photogrammetry**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

Nakahori, A. **Geração e avaliação de Ortoimagens ALOS/PRISM 1B1 – Estudo de caso para São Gabriel – RS**. Dissertação – Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

Oliveira, L. F. de **Análise de modelos digitais de superfície gerados a partir de imagens do sensor PRISM/ALOS**. Dissertação – Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFV – Universidade Federal de Viçosa, 2011.

Orun, A. B.; Natarajan, K. A. Modified Bundle Adjustment Software for SPOT Imagery and Photography: Tradeoff. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, p. 1431-1437, 1994.

Schneider, M.; Lehner, M.; Müller, R.; Reinartz, P. In.: **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing, 2008.

Toledo, A. C. L.; Pereira, A. A. C.; Alberti, G. A.; Correia, L. S.; Marcatto, V. J. **Fototriangulação em bloco de imagens ALOS/PRISM para mapeamento na escala 1:25.000 da região de Presidente Prudente – SP**. Trabalho de Graduação do Curso de Engenharia Cartográfica, UNESP – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente – SP, 2010, 141p.