

## Fototriangulação de imagens CBERS-2B HRC com injunções de posição da plataforma

Raquel Alves de Oliveira<sup>1</sup>  
José Marcato Junior<sup>1</sup>  
Antonio Garcia Maria Tommaselli<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Ciência e Tecnologia FCT – Unesp/SP  
Caixa Postal 468 - 19060-900 – Presidente Prudente - SP, Brasil  
{raquel88, jrmarcato}@gmail.com  
tomaseli@fct.unesp.br

**Abstract.** The applications of satellite images are increasing and orientation and georeferencing is a crucial task in any application. The China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS) images represent an advance in the tasks of national Earth observation. The HRC sensor of CBERS2B satellite has a ground resolution of 2.5 meters. In order to improve the quality of georeferencing of these orbital images, it is required the application of geometric corrections establishing the relationship between image and object spaces. This process can be performed by a rigorous approach, in which some parameters with physical meaning are estimated. The main goal of this work is to assess the effect of including the information of the position of the CBERS2B satellite, measured by a GPS receiver, as a constraint in the process of spatio-triangulation of images. The mathematical model is based on the classical collinearity equations, which are extended for the specific characteristics of the CCD linear scanners. This model includes the sensor position function with second-order piecewise polynomials depending on the acquisition time. Experiments were carried out using two images, different amount of ground control points and exterior orientation parameters. The procedure was evaluated with independent check points, with the coordinates of measured points in the image being projected to the object space through the estimated parameters and compared with the Ground values, surveyed with a dual-frequency GNSS receiver.

**Palavras-chave:** photogrammetry, pushbroom, fotogrametria, sensor de varredura linear.

### 1. Introdução

Os sensores de varredura linear (*pushbroom*) embarcados em plataformas espaciais ou aéreas estão sendo amplamente utilizados para aquisição de imagens da superfície da Terra. Estes sensores apresentam resolução espacial que varia de metros a alguns centímetros. IKONOS, SPOT e Quickbird são exemplos de satélites que possuem sensores de varredura linear de alta resolução espacial.

As imagens fornecidas pelos sensores *pushbroom* têm um alto potencial para o mapeamento fotogramétrico em diferentes escalas e para várias aplicações de sensoriamento remoto, como por exemplo, monitoramento de recursos naturais, geração de Modelos Digitais de Terreno (MDE), que representam uma informação importante para a geração de um Sistema de Informação Geográfica (GRÜEN et al, 2004)

Devido às influências como a inclinação do sensor, a incerteza no posicionamento da plataforma, o deslocamento da imagem de acordo com a variação do relevo e a projeção cartográfica, não importando qual seja o sistema sensor, é necessário aplicar correções geométricas nas imagens a partir da orientação indireta utilizando feições de controle, tais como pontos ou linhas, ou ainda, pela correção dos parâmetros orbitais a partir destes elementos de controle no espaço objeto.

Um sensor de varredura linear (*pushbroom*) é formado por um conjunto de sensores alinhados linearmente, e desloca-se segundo o movimento da plataforma formando uma cena a partir das linhas imageadas pela barra de sensores. Dessa forma, a determinação da relação geométrica entre os pixels da imagem e seus correspondentes no terreno é um pouco diferente das relações fotogramétricas adotadas para câmaras de quadro e requer uma atenção especial sobre a geometria do sensor.

Com o crescente uso de satélites artificiais cada vez mais sofisticados, aumentou também a busca por melhores precisões na determinação da posição e atitude, bem como por técnicas

nas quais todas as informações disponíveis sejam utilizadas (JACOBSEN, 2007; LEE et al 2000; RADHADEVI et al. 1998; GUGAN, 1987).

Diversos modelos matemáticos têm sido propostos a fim de modelar a geometria das imagens adquiridas por sensores de varredura linear, ou seja, realizar sua orientação estabelecendo as relações entre feições no espaço imagem e objeto. Os modelos podem ser classificados em modelos paramétricos e modelos rigorosos.

Os modelos paramétricos (não físicos) são os mais utilizados pela forma mais simples e por utilizarem somente uma quantidade mínima e necessária de informações, como a Transformação Linear Direta (DLT) e os RPCs (Razão de Polinômios Racionais). No caso de modelos rigorosos a relação entre as coordenadas na imagem e as coordenadas no terreno é feita considerando parâmetros físicos da aquisição da imagem.

As imagens de satélites são geralmente fornecidas com um arquivo de metadados contendo informações (efemérides, posição, velocidade e atitude) que podem caracterizar o movimento descrito pela plataforma durante a tomada da cena. A integração destes dados com os modelos matemáticos para georreferenciamento das cenas podem, de acordo com Kim e Dowman (2006), reduzir o número de pontos de apoio e também auxiliar no controle dos parâmetros de navegação do satélite.

A parceria entre o governo brasileiro e o governo chinês para a criação do programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*) trouxe grandes benefícios ao país que, até então, dependia exclusivamente das imagens de satélites estrangeiros. O programa já lançou três satélites e distribui suas imagens gratuitamente para todos os usuários chineses, brasileiros e, mais recentemente, para usuários africanos. O último satélite lançado, CBERS-2B, foi equipado com um receptor GPS e um sensor de alta resolução, o *High Resolution Camera* (HRC). Este sensor possui um GSD (*Ground Sample Distance* - Elemento de resolução no terreno) de 2,5 metros e apresenta 130 dias de resolução temporal.

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi utilizar dados de efemérides de posição do satélite CBERS2B para analisar a ordem da função polinomial que represente mais adequadamente a trajetória do satélite e, então, inserir os coeficientes polinomiais ajustados como informações adicionais (injunções) no processo de fototriangulação das imagens.

## **2. Fototriangulação de imagens *pushbroom***

Segundo Lugnani (1987), a fototriangulação é um método fotogramétrico, no qual são determinadas as coordenadas dos pontos no espaço objeto através da relação geométrica de fotos adjacentes devidamente tomadas, de um esparso controle de campo dado e de valores aproximados de parâmetros. Desta forma, é necessário definir o modelo de sensor (parâmetros de orientação interior) e o modelo da plataforma (parâmetros de orientação exterior).

A orientação interior estabelece as características do sensor (distância focal, posição do ponto principal no referencial da imagem, entre outras), o que permite reconstruir os feixes de raios que originaram a imagem. O modelo de plataforma determina a posição e orientação de um feixe de raios com relação ao sistema de coordenadas do espaço objeto. Cada feixe de raios requer seis parâmetros independentes, três de posição e três de orientação. No caso de imagens de quadro um feixe de raios representa toda a imagem. Para o caso de sensores lineares, cada linha da cena define um novo feixe de raios, com seus seis parâmetros de orientação exterior (MIKHAIL et al., 2001).

Os modelos matemáticos que permitem realizar a orientação desses sensores estabelecendo as relações entre feições no espaço imagem e objeto, mudam quanto à complexidade e podem ser classificados em modelos paramétricos e modelos rigorosos (KIM e DOWMAN, 2006). Os modelos rigorosos empregam parâmetros físicos dos sensores e da plataforma como a distância focal, dimensão dos CCDs, parâmetros de órbita do satélite e ângulos de atitude. Um dos modelos rigorosos mais utilizado é aquele baseado nas equações

de colinearidade adaptadas para imagens de sensores lineares – Equações 1 e 2 (GUGAN e DOWMAN, 1988; CHEN e LEE, 1993; ORUN e NATARAJAN, 1994), enquanto que os modelos paramétricos são mais generalizados e não utilizam parâmetros físicos.

$$x = 0 = -f \cdot \frac{r_{11} \cdot (X - X_S) + r_{12} \cdot (Y - Y_S) + r_{13} \cdot (Z - Z_S)}{r_{31} \cdot (X - X_S) + r_{32} \cdot (Y - Y_S) + r_{33} \cdot (Z - Z_S)} \quad (1)$$

$$y = -f \cdot \frac{r_{21} \cdot (X - X_S) + r_{22} \cdot (Y - Y_S) + r_{23} \cdot (Z - Z_S)}{r_{31} \cdot (X - X_S) + r_{32} \cdot (Y - Y_S) + r_{33} \cdot (Z - Z_S)} \quad (2)$$

em que:

- $x$ ,  $y$  são as coordenadas de um ponto no sistema fotogramétrico. Por se tratar de um sensor linear e o eixo  $x$  apresentar mesma direção do movimento da plataforma, o valor desta coordenada é igualado a zero;
- $(X, Y, Z)$  são as coordenadas do mesmo ponto no referencial cartesiano do espaço objeto;
- $(X_S, Y_S, Z_S)$  são as coordenadas do Centro Perspectivo (CP) no referencial cartesiano do espaço objeto;
- $f$  é a distância focal da câmara;
- $r_{ij}$ , para  $i$  e  $j$  variando de 1 a 3, são os elementos da matriz de rotação dados em função dos ângulos de atitude  $\omega$ ,  $\varphi$  e  $\kappa$ .

Em sensores *pushbroom* os parâmetros de orientação exterior (POEs) ( $X_S, Y_S, Z_S, \omega_S, \varphi_S, \kappa_S$ ) da cena alteram-se continuamente e podem ser descritos por um grupo de polinômios, conforme as Equações (3). A ordem dos polinômios pode variar para cada satélite, principalmente em função do tempo de aquisição da cena (ORUN e NATARAJAN, 1994).

$$\begin{aligned} X_S &= X_0 + a_1 t + b_1 t^2 \\ Y_S &= Y_0 + a_2 t + b_2 t^2 \\ Z_S &= Z_0 + a_3 t + b_3 t^2 \\ \omega_S &= \omega_0 + a_4 t + b_4 t^2 \\ \varphi_S &= \varphi_0 + a_5 t + b_5 t^2 \\ \kappa_S &= \kappa_0 + a_6 t + b_6 t^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Alguns coeficientes da Equação 3 podem ser estimados a partir de dados de efemérides da plataforma coletados por sensores de estrela (atitude) e receptor GPS (posição). Estas informações podem ser inseridas na fototriangulação como injunções com pesos compatíveis com a precisão dos dados gerados pelos instrumentos.

### 3. Metodologia

Inicialmente foi determinada a área de estudo e adquiridas imagens do sensor HRC do satélite CBERS2B no *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Estas imagens são normalmente distribuídas no nível 2 de processamento (com correção radiométrica e geométrica), porém, dado o objetivo do trabalho, foram solicitadas imagens no nível 1, que não possuem correção geométrica. Optou-se por duas imagens localizadas na região de Presidente Prudente, sendo órbita/ponto 159\_E/125\_2 e 158\_A/125\_2 (Figura 1).

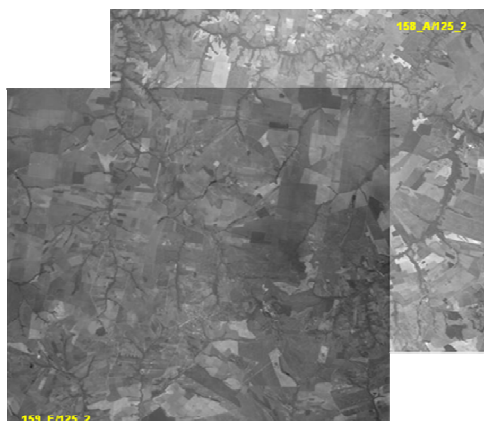


Figura 1: Imagens órbita/ponto 159\_E/125\_2 e 158\_A/125\_2.

As imagens do satélite CBERS são acompanhadas por um arquivo no formato *xml*, que possui além dos ângulos de atitude (*roll*, *pitch* e *yaw*), informações de efemérides (posição, velocidade), a cada 1 segundo. Para a extração das efemérides desejadas foi utilizado o programa *xml2csv* (A7soft, 2010). O *xml2csv* é uma ferramenta que converte dados do arquivo *xml* para um arquivo tipo *.csv*, que é formado por campos (colunas) separadas por vírgulas e registros (linhas) separados por quebra de linha.

O arquivo *xml* de cada imagem possui dez observações da posição do satélite coletadas pelo receptor (GPS) em intervalos de um segundo, Estas coordenadas correspondem não apenas ao intervalo de aquisição da cena, mas também a alguns segundos antes e após a formação da imagem.

A etapa seguinte foi criar uma rotina capaz de ler o arquivo *.csv* contendo as observações GPS, em seguida, estimar os coeficientes das funções polinomiais de primeira (Equações 4) e segunda ordem (Equações 5) pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) e, por fim, analisar a ordem dos polinômios que melhor representem a trajetória descrita pelo satélite. Esta análise foi realizada através da verificação dos resíduos, do erro médio quadrático (EMQ) e do sigma a posteriori, obtidos após o ajustamento do polinômio aos dados.

$$\begin{aligned} X_s &= X_0 + a_1 t \\ Y_s &= Y_0 + a_2 t \\ Z_s &= Z_0 + a_3 t \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} X_s &= X_0 + a_1 t + b_1 t^2 \\ Y_s &= Y_0 + a_2 t + b_2 t^2 \\ Z_s &= Z_0 + a_3 t + b_3 t^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Foi desenvolvido um programa de ajustamento das observações em linguagem C++, no ambiente *Dev C++ 4.9.9.2*. A Figura 2 apresenta um diagrama com a estrutura do programa.

A próxima etapa foi realizar a inclusão da posição da plataforma como informações adicionais para a fototriangulação das imagens orbitais. No programa TMS (Triangulação MultiSensor) (MARCATO JUNIOR et al., 2010) foram utilizadas, como injunções na fototriangulação, as informações da posição (X, Y, Z e variações) da plataforma na órbita, no período de aquisição de cada imagem, por meio de parâmetros de funções polinomiais obtidos através de ajuste pelo MMQ. As informações referentes aos ângulos de atitude (*roll*, *pitch* e *yaw*) não foram consideradas, pois os ângulos de rotação  $\omega_s$ ,  $\varphi_s$ ,  $\kappa_s$  (apresentados na Equação 3) não são físicos (KIM e DOWMAN, 2006). No modelo de colinearidade utilizado neste trabalho (Equações 1 e 2), apenas dois sistemas de Referência (Sistema de Referência do

espaço imagem e Sistema de Referência do espaço objeto) foram considerados. Para utilizar as informações de atitude (*roll*, *pitch* e *yaw*), além desses sistemas, deve-se considerar o Sistema de Referência da Plataforma e o Sistema de Referência da Órbita.

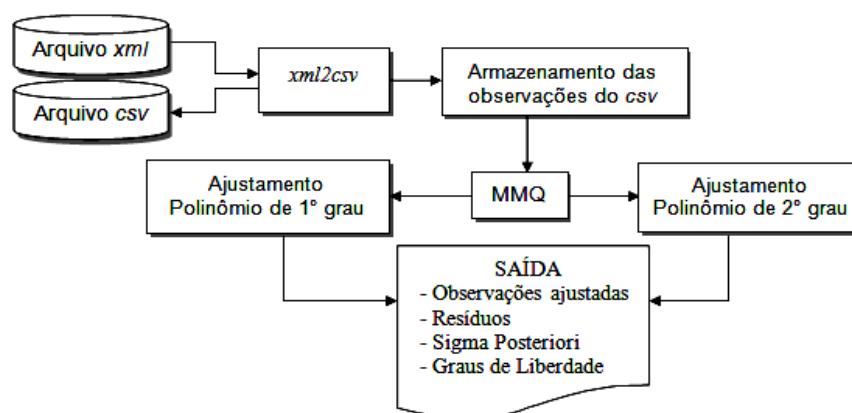


Figura 2: Esquema do algoritmo de ajuste polinomial à posição da plataforma, determinada com GPS embarcado (da órbita  $X_s$ ,  $Y_s$  e  $Z_s$ ).

Os experimentos foram feitos variando-se a quantidade de pontos de apoio bem como os parâmetros de orientação exterior. Para apoiar a análise da qualidade do processo de fototriangulação, foram coletadas as coordenadas de 48 pontos de controle utilizando o receptor *HIPPER GGD* de dupla frequência. O processamento dos dados foi realizado com o serviço *online* de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) disponibilizado pelo IBGE.

#### 4. Resultados e Discussões

Os resultados obtidos mostraram que os polinômios de 2ª ordem modelaram melhor a órbita do satélite CBERS 2B, visto que os resíduos, o erro médio quadrático e o sigma a posteriori, obtidos após o ajustamento, foram menores do que no ajustamento para o polinômio de 1º grau. Para inserir os coeficientes de posição do satélite, calculados pelo ajustamento do polinômio de segunda ordem, como informações adicionais para a fototriangulação no programa TMS, foi feita uma interpolação utilizando as posições GPS ajustadas e o tempo de início da tomada da cena para estimar a posição ( $X_s$ ,  $Y_s$ ,  $Z_s$ ) no instante em que a primeira linha da imagem começou a ser adquirida.

O Quadro 1 apresenta a descrição dos testes realizados. Vale ressaltar que os pesos adotados para as injunções nos coeficientes foram estimados a partir da análise da diferença entre os valores estimados com os dados GPS das efemérides e os valores estimados em algumas fototriangulações realizadas nestas imagens.

Além destes testes, também foram realizados experimentos considerando o uso de pontos fotogramétricos (*tie points*), porém devido à fraca geometria da imagem e da intersecção, estes testes não apresentaram bons resultados. Uma opção para o uso destes pontos seria utilizando suas coordenadas  $Z$  conhecidas, como apresentado em Marcato Junior et al. (2010).

O procedimento adotado para a verificação da qualidade do processo de fototriangulação das imagens consistiu em utilizar os Parâmetros de Orientação Exterior (POEs) de cada cena, obtidos nos experimentos apresentados no Quadro 1, com as equações de colinearidade na sua forma inversa para fazer a projeção das observações em pontos de verificação independentes, considerando a coordenada  $Z$  conhecida, para o espaço objeto. Foram utilizados 7 pontos de verificação, cuja distribuição pode ser vista na Figura 3. A partir disto, foram calculados os erros médios quadráticos (EMQs) e as médias em cada teste para cada imagem.

Quadro 1: Descrição dos experimentos realizados.

<i>Experimento</i>	<i>Descrição</i>
A 41_PAs_12par	Utiliza 41 pontos de apoio (PAs); considera, em cada imagem, 12 parâmetros ( $X_0, Y_0, Z_0, \kappa_0, a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2, b_3$ e $b_4$ ) como parâmetros sem injunção ( $\omega_0, \varphi_0$ foram considerados constantes e seus valores numéricos foram estimados empiricamente).
B 41_PAs_14par	Utiliza 41 pontos de apoio; considera, em cada imagem, 14 parâmetros $X_0, Y_0, Z_0, \omega_0, \varphi_0, \kappa_0, a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2, b_3$ e $b_4$ , como parâmetros sem injunção.
C 41_PAs_Ipos_Icoef_14par	Utiliza 41 PAs; considera, em cada imagem, injunções relativas ( $\sigma = \pm 100m$ ) na posição ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) e injunções relativas em $a_1, a_2, a_3$ (respectivamente $\sigma = \pm 0,3m/s; 0,2m/s; 0,1m/s$ ), $b_1, b_2, b_3$ ( $\sigma = \pm 0,00001$ para cada). Além destes, considera $\omega_0, \varphi_0, \kappa_0, a_4$ e $b_4$ como parâmetros sem injunção.
D 41_PAs_Icoef_14par	Utiliza 41 PAs; considera, em cada imagem, injunção relativa apenas nos coeficientes (variação da posição) dos polinômios $a_1, a_2, a_3$ (respectivamente $\sigma = \pm 0,3m/s; 0,2m/s; 0,1m/s$ ), $b_1, b_2, b_3$ ( $\sigma = \pm 0,00001$ para cada). Além destes, considera $X_0, Y_0, Z_0, \omega_0, \varphi_0, \kappa_0, a_4$ e $b_4$ como parâmetros sem injunção.
E 8_PAs_12par	Similar ao experimento A com 8 pontos de apoio.
F* 8_PAs_14par	Similar ao experimento B com 8 pontos de apoio.
G 8_PAs_Ipos_Icoef_14par	Similar ao experimento C com 8 pontos de apoio.
H 8_PAs_Icoef_14par	Similar ao experimento D com 8 pontos de apoio.

\* Não apresenta solução, pois o número de parâmetros (14) é maior que o número de equações (12).

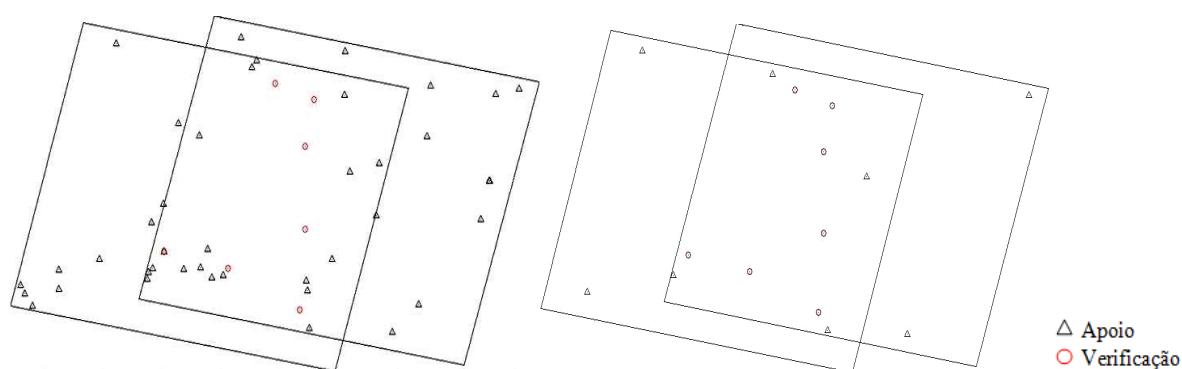


Figura 3: Distribuição dos pontos de verificação e apoio nos experimento com 41 pontos de apoio (esquerda) e 8 pontos de apoio (direita).

A seguir são apresentados os resultados da verificação posterior para cada experimento. Na Tabela 1 estão os EMQs e as médias das discrepâncias nas coordenadas X e Y, obtidas nos pontos de verificação a partir dos POEs estimados, utilizando 41 pontos de apoio, nos testes A, B, C e D, para as imagens 159 e 158.

Nota-se, pela análise dos resultados apresentados na Tabela 1, que para as duas imagens os melhores resultados foram obtidos nos experimentos B e D que consideram 14 parâmetros sem injunções e 14 parâmetros com injunções em  $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$  respectivamente. Neste caso, a aplicação das injunções não implicou em uma melhora nos resultados, o que é

justificado pela grande quantidade de pontos de apoio (41 pontos) que permite a determinação indireta com qualidade similar à do posicionamento GPS desta plataforma.

Tabela 1: EMQs dos experimentos A, B, C e D realizados nas imagens 159 e 158.

	Imagem 159				Imagem 158			
	EMQ X (m)	EMQ Y (m)	Média X (m)	Média Y (m)	EMQ X (m)	EMQ Y (m)	Média X (m)	Média Y (m)
A_12par	8,45	13,34	4,08	-7,14	21,47	16,53	10,85	-7,16
B_14par	7,49	8,97	3,60	-6,25	6,57	6,83	4,11	-1,81
C_Ipos_Icoef_14par	8,93	12,72	4,19	-6,88	21,83	17,31	10,97	-7,45
D_Icoef_14par	7,48	8,90	3,63	-6,19	6,54	6,89	4,07	-1,87

No segundo bloco de testes foram usados apenas 8 pontos para apoiar as cenas. A Tabela 2 apresenta os resultados para as imagens 159 e 158.

Tabela 2: EMQs dos experimentos E, F, G e H realizados nas imagens 159 e 158.

	Imagem 159				Imagem 158			
	EMQ X (m)	EMQ Y (m)	Média X (m)	Média Y (m)	EMQ X (m)	EMQ Y (m)	Média X (m)	Média Y (m)
E_12par	26,20	39,00	74,72	41,17	74,72	41,17	59,92	-32,53
F_14par	Sistema indeterminado		-	-	Sistema indeterminado		-	-
G_Ipos_Icoef_14par	28,55	37,52	72,23	56,91	72,23	56,91	58,18	-44,09
H_Icoef_14par	8,46	11,95	17,65	12,69	17,65	12,69	14,07	-7,25

Com 8 pontos de apoio, é possível observar uma melhora significativa nos resultados obtidos, considerando 14 parâmetros e injunções nos coeficientes  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  (experimento H), o que mostra a importância das injunções com dados de posição da plataforma.

Verifica-se também, que as injunções nos coeficientes  $a_i$  proporcionaram resultados melhores que as injunções na posição ( $X_s$ ,  $Y_s$ ,  $Z_s$ ), isto porque os parâmetros  $a_i$  são diferenciais e os erros sistemáticos são eliminados. No caso da posição, notou-se que os valores absolutos de discrepâncias de posição da plataforma (entre as soluções indireta e direta) são grandes, o que indica a existência de erros sistemáticos na posição, que não puderam ser modelados e podem estar tanto na distância focal como na posição GPS.

## 5. Conclusões

O objetivo principal deste trabalho consistiu em realizar um estudo sobre a inclusão de informações da posição da plataforma em órbita, obtidas por GPS embarcado, no processo de fototriangulação de imagens orbitais do tipo *pushbroom* do sensor HRC - CBERS2B. Para isso, as posições coletadas pelo GPS durante a formação da cena foram ajustadas através do MMQ para estimar os coeficientes dos polinômios que representam a trajetória do satélite. Verificou-se que o polinômio de segunda ordem é o mais adequado para modelar a trajetória do satélite em questão, durante a aquisição de uma cena. Em seguida, foram realizados testes de fototriangulação no programa TMS variando o número de incógnitas, injunções e pontos de apoio.

Os resultados dos experimentos no TMS evidenciaram que a introdução das informações de órbita como injunções melhora o processo de estimação da orientação das imagens, sendo ainda mais relevante quando são utilizados poucos pontos de apoio. Para o caso em que se tinha 41 pontos de apoio, o efeito das injunções não foi muito significativo, pois a condição de se ter vários pontos favorece bons resultados mesmo pelo processo indireto, porém coletar

muitos pontos exige maior custo e tempo. É importante ressaltar que a câmara HRC é experimental, gerando imagens com baixo contraste, o que dificultou a identificação de pontos de controle. Neste sentido, os resultados foram importantes para definir uma estratégia futura de análise da qualidade dos Parâmetros de Orientação Interior fornecidos, e sobre os quais não se tem inteira confiança. Para trabalhos futuros recomenda-se realizar estudos no sentido de variar o valor da distância focal para estimar um valor que seja mais próximo do real.

## 6. Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pelo apoio em forma de bolsa de IC-PIBIC e auxílio à pesquisa (proc. n. 477738/2009-5) e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela cessão das imagens.

## 7. Referências

Chen, L.C., Chang, L.Y. Three dimensional positioning using SPOT stereo strips with sparse control. *ASCE, Journal of Surveying Engineering*, 124(2): 63-72, 1988.

Chen, L.C.; Lee, L.-H. Rigorous generation of digital orthophotos from SPOT images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v.59, n. 5, p. 655-661, 1993.

Gruen, A.; Remondino, F.; Zhang, L. The Bamiyan Valley: landscape modeling for Cultural Heritage visualization and documentation. IAPRS. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing. **Proc. of the International Workshop on Processing and Visualization using High Resolution Imagery** - v. 34, part 5/W1, 2004.

Gugan, D. J. Practical Aspects of Topographic Mapping from SPOT Imagery. *Photogrammetric Record*, v. 12, n. 69, p. 349-355, 1987.

Gugan, D. J.; Dowman, I. J. Accuracy and completeness of topographic mapping from SPOT imagery. *Photogrammetric Record*, v. 12, n. 72, p. 787-796, 1988.

Kim, T.; Dowman, I. Comparison of two physical sensor models for satellite images: Position-Rotation model and Orbit-Attitude model. *Photogrammetric Record*, v.21, n. 114, p. 110-123, 2006.

Jacobsen, K. Geometry of digital frame cameras. **In: ASPRS 2007 Annual Conference**, Tampa, Florida, 2007.

Marcato Jr, J.; Tommaselli, A. M. G.; Medeiros, N. G.; Oliveira, R. A. Bundle block adjustment of cbers 2b hrc images using control lines In: Canadian Geomatics Conference 2010 and the International Symposium of Photogrammetry and Remote Sensing Commission I, 2010, Calgary. **Proceedings**. Calgary: Canadian Institute of Geomatics and ISPRS, 2010.

Lee, C. Theiss, H.J.; Bethel, J.S.; Mikhail, E.M. Rigorous mathematical modeling of airborne pushbroom imaging systems. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 66, n.4, p.385-392, 2000.

Lugnani, J. B. **Introdução à Fototriangulação**. Curitiba, 1987. 134p.

Mikhail, E. M.; Bethel, J. S.; Mcglone, J. C. I. **Introduction to Modern Photogrammetry**. Inc. New York: John Wiley & Sons, 2001, 479p.

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.

Radhadevi, P.V.; Ramachandran R.; Murali Mohan A.S.R.K.V.. Restitution of IRS-1C PAN data using an orbit attitude model and minimum control. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, p. 262-271, 1998.

XML2CSV: **A7soft**®, 2010. Disponível em: <<http://www.a7soft.com/xml2cvs.html>>.