

## MODELO RIGOROSO PARA ORIENTAÇÃO EXTERIOR DE IMAGENS ORBITAIS OBTIDAS COM SENSORES *PUSHBROOM*

SYDNEY DE OLIVEIRA DIAS  
EDSON APARECIDO MITISHITA  
QUINTINO DALMOLIN

Universidade Federal do Paraná - UFPR  
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - CPGCG  
Caixa Postal 515 – Centro Politécnico – Jardim das Américas  
CEP 12201-970 – Curitiba – PR – Brasil  
{sydney;mitishita;qdalmolin}@ufpr.br

### RESUMO –

Com o grande avanço tecnológico e de imagens de satélite de alta resolução, cada vez mais usuários está utilizando esses produtos para a geração de mapas 3D de alta precisão. A proposta para o presente trabalho busca realizar uma contribuição nas pesquisas envolvendo a reconstrução tridimensional a partir de estereogramas orbitais IKONOS II. A abordagem do trabalho está voltada para a utilização de modelos rigorosos para sensores *pushbroom*. Esses modelos levam em consideração os diferentes parâmetros de orientação exterior para cada linha imageada e a intersecção espacial é aplicada com finalidade de determinação das coordenadas tridimensionais.

### ABSTRACT –

With the great technological advance and high-resolution satellite imagery, each time more users is using these products for generation of 3D maps of high precision. The proposal for this work seeks to make a contribution in research involving the three-dimensional reconstruction from orbital IKONOS II estereogramas. The approach of the work is focused on the use of rigorous models to pushbroom sensors. These models take into account the different exterior parameters orientation of each line of the cene, and the intersection photogrammetric is applied with the purpose of determining three-dimensional coordinates.

## 1 INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto juntamente com as técnicas de Fotogrametria vem contribuindo significativamente em pesquisas que envolvem aplicações voltadas para a geração de mapas temáticos, provenientes de classificação de imagens, mapeamento de áreas urbanas e rurais, até mesmo geração de modelos matemáticos digitais de superfícies e também bases cartográficas em grandes escalas, até pouco tempo atrás realizadas apenas com a utilização de fotografias aéreas.

Sabe-se que cada vez mais existe maior necessidade no gerenciamento do espaço geográfico, com vistas a uma otimização dos recursos naturais, implantação de projetos públicos e também visando uma melhor adequação no uso e na ocupação deste espaço.

O Brasil, assim como diversos países, carece de mapas em grandes escalas e, uma das alternativas que vem crescendo a cada dia, e que pode servir de importante

ferramenta na geração e atualização de bases cartográficas, são as imagens orbitais.

Correia *et. al* (2005) comentam sobre algumas iniciativas de atualização cartográfica de folhas topográficas nas escalas 1:250.000 e 1:100.000 atualizadas pela DSG com base em imagens LANDSAT (resolução espacial de 30 m), citando o alto reconhecimento pelos resultados alcançados face aos escassos recursos e comentam ainda sobre o potencial de atualização das bases na escala 1:100.000 com base em imagens obtidas a partir do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS), com resolução espacial de 20 m, apontando como principais vantagens a facilidade de execução da metodologia e também os baixos custos envolvidos no processo, já que as imagens CBERS são fornecidas gratuitamente.

Ultimamente, com o lançamento de satélites que operam com sensores que possibilitam a obtenção de imagens de alta resolução, como exemplo o SPOT 5 com resolução espacial de 5,0 m, o EROS com 1,8 m, o

IKONOS com 1,0 m, o Quickbird com 0,7 m e, recentemente, o CBERS 2B com 2,7 m, é possível verificar que em breve será possível aplicar imagens orbitais na elaboração de mapas em grandes escalas e que até então só eram feitos com a utilização de fotografias aéreas.

Tendo em vista este fato, as imagens orbitais de alta resolução espacial têm sido atualmente um dos principais focos de pesquisa para aplicações voltadas para a geração e atualização de bases cartográficas, geração de modelos digitais da superfície, ortofotocartas, entre outros produtos cartográficos.

A maioria dos satélites está equipada com sistemas que permitem a aquisição de estereomagens, e a utilização dessas imagens para a geração de Modelo Digital do Terreno (MDT) têm sido largamente estudada em diversas pesquisas. O princípio básico para geração de MDT a partir das estereomagens orbitais está fundamentado nos modelos utilizados em Fotogrametria, porém, para uma maior precisão nos resultados, torna-se necessário levar em conta a diferença na forma de aquisição da cena, o que consequentemente ocasiona uma revisão no modelo matemático funcional a ser utilizado.

Enquanto na Fotogrametria a cena é obtida a partir de uma única perspectiva e num mesmo instante, uma cena obtida a partir de sensores lineares (*pushbroom*) possui para cada linha (ou imagem) um tempo de aquisição diferente (Figura 1) e, consequentemente, um centro perspectivo, ou seja, cada linha possui diferentes Parâmetros de Orientação Exterior (POE ou EOP).

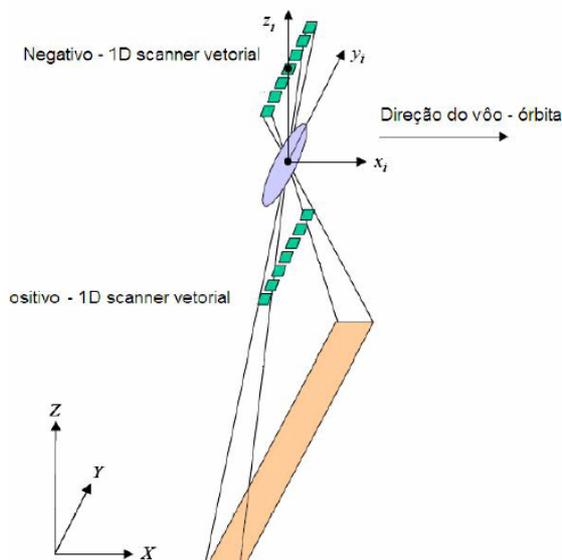


Figura 1 – Geometria do sensor linear (*pushbroom*). Fonte: Adaptado de Morgan (2004).

Tendo em vista essas diferenças na aquisição das imagens com sensores lineares, um dos objetivos da pesquisa é utilizar modelos matemáticos rigorosos e pontos de controle para determinação de coordenadas tridimensionais a partir de estereomagens de alta resolução.

## 2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

A aplicação de estereomagens para determinação de coordenadas tridimensionais é amplamente utilizada na Fotogrametria clássica e atualmente na Fotogrametria Digital. Os procedimentos e modelos matemáticos, baseados nas equações da colinearidade, são conhecidos e sua fundamentação teórica serve inclusive para orientação de estereomagens orbitais.

Conforme descrito anteriormente, diferentemente das fotografias aéreas, as imagens obtidas com sensores lineares possuem para cada linha imageada seus diferentes parâmetros de orientação exterior, tornando-se necessário um estudo mais aprofundado quando processos para determinação de coordenadas tridimensionais a partir desse tipo de imagens são requeridos.

Os modelos matemáticos para orientação exterior de estereomagens, obtidas com sensores do tipo *pushbroom*, podem ser conhecidos como modelos generalizados (ou não rigorosos) e os modelos físicos (ou rigorosos). A diferença entre eles é que os modelos matemáticos rigorosos levam em conta a geometria para aquisição da imagem, ou seja, considera os diferentes parâmetros de orientação exterior para cada linha imageada no terreno.

O primeiro modelo rigoroso proposto para sensores do tipo *pushbroom* (Kratky, 1987; Gagan e Dowman, 1988; Orun e Natarajan, 1994) utiliza as equações da colinearidade levando em conta os parâmetros de órbita e atitude do satélite. Kim e Dowman (2006) chamaram este modelo de *Position-Rotation*. O segundo modelo, chamado por Kim e Dowman (2006) de *Orbit-Attitude* foi inicialmente utilizado nos trabalhos de Salamonowicz (1986), e consideram nas equações da colinearidade os parâmetros de posição, velocidade e atitude do satélite.

## 3 RECURSOS UTILIZADOS

A área de trabalho está situada no município de Araucária-PR (Figura 2) e os recursos são: duas imagens IKONOS II, correspondente ao par estereoscópico, uma carta topográfica com curvas de nível e equipamentos GPS geodésicos para localização precisa de pontos de controle nas imagens. Todos dados fornecidos pelo Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

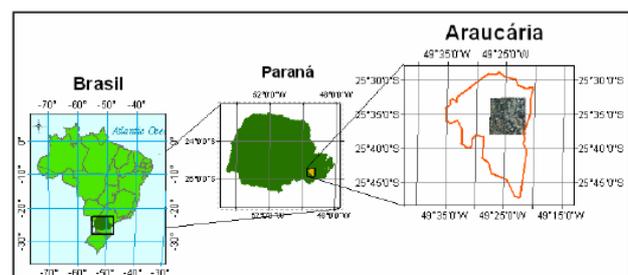


Figura 2 – Localização da Área de Estudo.

#### 4 METODOLOGIA

A metodologia a ser elaborada e desenvolvida para a proposta desta pesquisa contemplará a preparação dos dados, pré-processamento das imagens, coleta de pontos de apoio nas imagens e no terreno, verificação da quantidade e geometria de distribuição dos pontos ao longo das imagens e implementação dos aplicativos para a orientação exterior e intersecção espacial.

O modelo matemático a ser utilizado é baseado nas equações da conearidade.

A representação matricial deste modelo, utilizada nos trabalhos de Gugan (1987), Kratky (1987), Kim e Dowman (2006), Kim *et. al* (2007) e Medeiros (2007), fica da seguinte forma:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ -f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ y \\ -f \end{pmatrix} = \lambda \cdot R^T \begin{pmatrix} X - X_s \\ Y - Y_s \\ Z - Z_s \end{pmatrix} \quad (1)$$

onde:

$x, y$  = coordenadas de imagem (espaço-imagem);

$f$  = distância focal;

$X, Y, Z$  = coordenadas de terreno (espaço-objeto)

$R$  = matriz de rotação, dada em função dos ângulos  $\kappa$ ,  $\phi$  e  $\omega$ ; e

$\lambda$  = fator de escala.

Conforme comentado anteriormente, cada linha é obtida num instante “ $t$ ” qualquer, e como consequência, cada uma possui seis parâmetros de orientação exterior ( $X_s, Y_s, Z_s, \kappa, \omega, \phi$ ). Para toda a cena, de acordo com Gugan e Dowman (1988), a determinação desses parâmetros é dependente do tempo e pode ser modelada por polinômios de segundo grau, conforme descrito nas Equações 2.

$$\begin{aligned} X_s &= X_0 + a_1 \cdot t + b_1 \cdot t^2 \\ Y_s &= Y_0 + a_2 \cdot t + b_2 \cdot t^2 \\ Z_s &= Z_0 + a_3 \cdot t + b_3 \cdot t^2 \\ \kappa_s &= \kappa_0 + a_4 \cdot t + b_4 \cdot t^2 \\ \phi_s &= \phi_0 + a_5 \cdot t + b_5 \cdot t^2 \\ \omega_s &= \omega_0 + a_6 \cdot t + b_6 \cdot t^2 \end{aligned} \quad (2)$$

onde:

$X_0, Y_0, Z_0, \kappa_0, \omega_0, \phi_0$  são os parâmetros de orientação exterior para a primeira linha da cena (ou instante  $t=0$ );

$a_1, a_2, \dots, a_6, b_1, b_2, \dots, b_6$  são os coeficientes polinomiais;

$X_s, Y_s, Z_s, \kappa_s, \omega_s, \phi_s$  são os parâmetros de orientação exterior para um dado instante de tempo “ $t$ ”;  $t$  é um dado instante de tempo.

Para utilização da modelagem matemática citada anteriormente, deverá se levar em conta algumas soluções para os problemas de alta correlação entre alguns parâmetros, comentada em trabalhos anteriores (GUGAN E DOWMAN, 1988; ORUN e NATARAJAN, 1998; KIM e DOWMAN, 2006).

Para obtenção de coordenadas geodésicas de precisão dos pontos de apoio a serem utilizados no processo de ajustamento do modelo matemático, será necessário o rastreamento por satélites GPS, utilizando receptores geodésicos.

#### 5 RESULTADOS ESPERADOS

Experimentos anteriores, utilizando-se as estereoidagens IKONOS II, modelagem matemática não rigorosa (*Direct Linear Transformation – DLT*), e pontos de apoio obtidos a partir de carta topográfica digital, apresentaram resultados planialtimétricos satisfatórios.

Com a determinação mais precisa de coordenadas de pontos no espaço-objeto, obtidas com levantamento GPS, espera-se encontrar melhores resultados tanto para a abordagem generalizada como para a rigorosa. Os resultados entre os dois tipos de abordagens poderão ainda ser comparados.

#### 6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR.

#### 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CORREIA, J. D.; CRUZ, C. B. M.; MENEZES, P. M. L.; MARINI, S. S.; BARROS, R. S.; Contribuição das imagens CBERS na atualização do mapeamento sistemático brasileiro na escala 1:100.000. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005, Goiânia.

GUGAN, D. J.; Practical aspects of topographic mapping from SPOT imagery. **The Photogrammetric Record**, 12(69):349 -355, 1987.

GUGAN, D. J.; DOWMAN, I. J.; Accuracy and completeness of topographic mapping from SPOT imagery. **Photogrammetric Record**, 12(72):787-796, 1988.

KIM, T.; DOWMAN, I. Comparison of two Physical Sensor Models for Satellite Images: Position-Rotation model and Orbit-Attitude model. **The Photogrammetric Record**, v.21, n 114, p. 110-123, 2006.

KIM, T.; KIM, H.; RHEE, S. Investigation of Physical sensor models for modelling SPOT-3 orbits. **The Photogrammetric Record**, v.22, n 119, p. 257-273, 2007.

KRATKY, V.; Rigorous photogrammetric processing of SPOT images at CCM Canada. **ISPRS Journal of**

**Photogrammetry & Remote Sensing**. Nº 44:53-71, 1989.

MEDEIROS, N. G. **Orientação exterior de imagens orbitais usando modelos rigorosos com feições retas**. TESE (Doutorado em Ciências Cartográficas), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente, 2007, 183p.

MORGAN, M. F. **Epipolar Resampling of Linear Array Scanner Scenes**. 174p. PhD Thesis, University of Calgary, Department of Geomatics Engineering, Calgary, Canada, 2004. Disponível em: [www.geomatics.ucalgary.ca/Papers/Thesis/AH/04.20193.MMorgan.pdf](http://www.geomatics.ucalgary.ca/Papers/Thesis/AH/04.20193.MMorgan.pdf). Acesso em: 29 de Abril de 2008.

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.