

Avaliação da qualidade geométrica de imagens da Câmera HR do CBERS 2B

Wagner Barreto da Silva
Julio Cesar Lima d'Alge
Leila Maria Garcia Fonseca

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

Abstract. This paper describes an assessment of the geometric quality of four CBERS-2B HRC images. Accurate coordinates of ground control points were used for this purpose in three of the four images, which comprehends two different sites in Brazilian northwest region. Another image is from Brasília and had its geometric accuracy evaluated using coordinates obtained from a 1:25,000 scale map. The evaluation was performed using a tool developed by the National Institute for Space Research (INPE) to allow visualization and quality evaluation of satellite images. This tool is called *Marlin* and will be distributed by INPE to the CBERS images users. The orthogonal transformation was used in verifying the image internal geometric quality and an affine transformation used to verifying the registration possibilities. The internal accuracy verified was around 200 m for the three images of the northwest region and 150 m for the Brasília image. If an affine transformation is used to refine the geometric correction process, internal accuracy improves to less than 20m for the four images. The poor internal geometric quality verified by this assessment seems to be caused by a systematic behavior. The points standing in the images borders have higher residuals than those standing in the center. These results show that, although the nominal spatial resolution of the images is of 2.5 m, the positional accuracy obtained after the application of an affine transformation is around 20m, thus indicating that the images are applicable to a cartographic use in scales lower than 1:50.000.

Palavras-chave: geometric evaluation, geometric transformations, CBERS 2B HRC, avaliação geométrica, transformações geométricas, Câmera HR do Satélite CBERS 2B.

1. Introdução

Dentre as diversas aplicações das imagens obtidas por sensores orbitais, podem-se ressaltar as que envolvem a integração das mesmas com outros dados georreferenciados em sistemas de informação geográfica (SIG). Entretanto torna-se imprescindível que tais imagens tenham qualidade de posicionamento geográfico compatível com os demais dados e com a exatidão cartográfica do projeto em que se esteja trabalhando. Esta exigência frequentemente não se verifica, acarretando a necessidade da aplicação de correções geométricas nas imagens.

As correções geométricas devem ser aplicadas para minimização das distorções existentes nas imagens de satélite. Estas distorções podem ser inerentes ao satélite (efemérides – posição e velocidade, e atitude), ao sensor e ao modelo da Terra (rotação, esfericidade e deslocamento devido ao relevo). Mais informações sobre os diversos tipos de distorções geométricas e seus efeitos sobre as imagens podem ser obtidas em Machado e Silva (1988).

O conhecimento das distorções geométricas existentes numa imagem de satélite permite a escolha adequada do tipo de correção geométrica. Duas abordagens são classicamente indicadas para esta finalidade: o modelo fotogramétrico, que utiliza informações orbitais do satélite (efemérides e atitude) e parâmetros do sensor para relacionar um ponto da imagem com seu correspondente no terreno; e o modelo polinomial (registro), que utiliza polinômios definidos pelo relacionamento entre coordenadas de pontos de controle extraídas de uma referência (por exemplo, um documento cartográfico ou pontos medidos em campo) com coordenadas de pontos homólogos da imagem. Este relacionamento é estabelecido através da solução de sistemas de equações, onde as incógnitas são os coeficientes dos polinômios. Os polinômios são então utilizados para corrigir geometricamente toda a imagem. A correção geométrica com base em funções polinomiais, ao contrário da que utiliza o modelo

fotogramétrico, não envolve os parâmetros físicos envolvidos na aquisição das imagens, tendo neste fato sua grande desvantagem, já que não consegue modelar por exemplo distorções de alta frequência, como o deslocamento devido ao relevo. Normalmente a aplicação de modelos polinomiais do 1º grau (transformação afim) obtém bons resultados em imagens de média resolução que sofreram correções prévias com parâmetros físicos do sistema de imageamento.

Além da correção geométrica, uma outra atividade de suma importância para o trabalho de estações de recepção e processamento de imagens de satélite é a avaliação geométrica sistemática das imagens que estão sendo geradas (Silva, 2007). Tal avaliação proporciona o conhecimento da qualidade geométrica da imagem, permitindo inferir a potencialidade de sua correção geométrica e que precisão uma imagem pode alcançar com esta correção.

A avaliação geométrica deve preocupar-se com dois aspectos principais: a geometria interna e externa da imagem. A geometria interna fornece informações sobre o posicionamento relativo entre as diferentes feições de uma imagem, considerando o sistema de referência adotado para a correção. Uma boa geometria interna garante uma boa possibilidade de correção das imagens e de sua integração em um SIG (D'Alge et al, 2004). A geometria externa diz respeito ao posicionamento absoluto da imagem em relação a alguma referência geográfica.

A geometria interna da imagem normalmente é investigada com a utilização do ajustamento por mínimos quadrados com modelos matemáticos que consideram poucos parâmetros geométricos. A transformação ortogonal ou de corpo rígido, que modela parâmetros de rotação e translação, e a transformação isogonal ou de similaridade, que modela, além de rotação e translação, um fator comum de alteração da escala para os eixos x e y, são utilizadas frequentemente. As transformações afim, isogonal e ortogonal são apresentadas nas equações 1, 2 e 3, de acordo com Andrade (1998).

Transformação afim:

$$\begin{aligned}x_a &= C_x \cdot x_b \cdot \cos\alpha + C_y \cdot y_b \cdot \sin\alpha + x_0 \\y_a &= -C_x \cdot x_b \cdot \sin(\alpha + \varepsilon) + C_y \cdot y_b \cdot \cos(\alpha + \varepsilon) + y_0\end{aligned}\quad (1)$$

onde x_a , x_b , y_a e y_b são as coordenadas dos dois sistemas de coordenadas, C_x e C_y são os fatores de escala segundo os eixos X e Y, respectivamente, α é o ângulo de rotação entre os dois sistemas e ε , o ângulo de falta de ortogonalidade entre os dois sistemas. Esta transformação modela 06 parâmetros, sendo dois de translação (x_0 e y_0), dois de escala (C_x e C_y), 1 de rotação (α) e 1 de falta de ortogonalidade (ε).

Transformação Isogonal ou de similaridade ($C = C_x = C_y$):

$$\begin{aligned}x_a &= C \cdot x_b \cdot \cos\alpha + C \cdot y_b \cdot \sin\alpha + x_0 \\y_a &= -C \cdot x_b \cdot \sin\alpha + C \cdot y_b \cdot \cos\alpha + y_0\end{aligned}\quad (2)$$

onde C é o fator de escala comum aos dois eixos. Esta transformação modela 04 parâmetros, sendo dois de translação (x_0 e y_0), um de escala ($C_x = C_y = C$) e 1 de rotação.

Transformação Ortogonal ou de corpo rígido ($C = 1$):

$$\begin{aligned}x_a &= x_b \cdot \cos\alpha + y_b \cdot \sin\alpha + x_0 \\y_a &= x_b \cdot \sin\alpha + y_b \cdot \cos\alpha + y_0\end{aligned}\quad (3)$$

Esta transformação modela 03 parâmetros, sendo dois de translação (x_0 e y_0) e um de rotação.

Visando proporcionar aos usuários ferramentas de visualização e a avaliação da qualidade geométrica das imagens distribuídas das imagens dos satélites da série CBERS, o INPE desenvolveu o aplicativo *Marlin*, conforme descrito em Almeida et. al (2007). O aplicativo Marlin foi utilizado neste trabalho para a avaliação geométrica das imagens.

Lançado em 19 de setembro de 2007, o satélite CBERS-2B possui, além dos sensores CCD, com 20 metros de resolução espacial e WFI (Imageador de Amplo Campo de Visada), com 260 m de resolução, um sensor pancromático de alta resolução espacial chamado HRC (High Resolution Camera). A Câmera HR possui resolução espacial nominal de 2,7 m e produz imagens no modo pancromático com uma faixa imageada de 27 Km.

Este trabalho tem por objetivo avaliar a qualidade geométrica de quatro imagens da câmera HR do satélite CBERS-2B, com a utilização do aplicativo *Marlin*, de coordenadas de pontos de controle medidos em campo com rastreadores GPS em duas localidades da região nordeste do Brasil e de uma carta topográfica da cidade de Brasília, na escala 1:25.000.

2. Material

As imagens da câmera HR utilizadas utilizadas neste trabalho e suas características estão relacionadas na Tabela 1.

Tabela 1: Imagens HRC utilizadas

Órbita ponto	Localização	Data de aquisição
149_c_105_4 149_c_105_5	Próximas ao município de Aracati (CE)	29/06/2008
148_c_107_5	Próxima ao município de Caicó (RN)	02/07/2008
157_b_118_1	Brasília (DF)	05/06/2008

Além das imagens da câmera HR do CBERS 2B, foram utilizadas 1 imagem CCD CBERS 2B e duas imagens Landsat 5 para fins de comparação de qualidade da geometria interna. Estas imagens e suas características estão relacionadas na Tabela 2.

Tabela 2: Outras imagens utilizadas com finalidade de comparação entre as qualidades da geometria interna

Satélite/Sensor	Órbita ponto	Localização	Data de aquisição
CBERS 2B/CCD	149_105	município de Aracati (CE)	03/06/2008
LandSat 5/TM	216_063	município de Aracati (CE)	13/08/2008
	228_071	Sudoeste do MT	17/08/2008

Todas as imagens relacionadas nas tabelas 1 e 2 foram obtidas do catálogo da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do INPE.

Foram utilizados um total de 46 pontos medidos em campo por uma equipe do INPE com rastreador GPS para avaliação geométrica das imagens HRC de órbitas ponto 149_c_105_4, 149_c_105_5, 148_c_107_5, sendo 29 desses pontos utilizados como pontos de controle e 17 como pontos de verificação. Esses pontos foram obtidos por rastreadores geodésicos e processados obtendo solução *float* (sem fixação da ambiguidade). Todos os pontos obtiveram pelo menos exatidão submétrica. Parte desses pontos foram também utilizados para avaliação geométrica das imagens CCD CBERS 2B 149_105 e TM Landsat 5 216_063.

Foram utilizados ainda outros 15 pontos medidos em campo com as mesmas características para avaliação da imagem TM LandSat 5 228_071, sendo 09 como pontos de controle e 06 como de verificação.

Foi utilizada uma carta topográfica na escala 1:25.000 da cidade de Brasília digitalizada matricialmente pela Diretoria de Serviço Geográfico, seguindo metodologia própria, como

referência geométrica para avaliação da imagem HRC 157_b_118_1. Dessa carta topográfica, foram extraídos 20 pontos de controle e 10 pontos de verificação.

3. Metodologia

A avaliação da qualidade geométrica realizada neste trabalho tem como enfoque principal a verificação da qualidade da geometria interna das imagens. Dado um conjunto de pontos de controle para cada imagem, as transformações ortogonal e isogonal foram aplicadas para estabelecer uma relação entre coordenadas de imagem e de mapa desses pontos de controle. Como o número de pontos disponíveis para solução dos sistemas de equações definidos pelas transformações é superabundante, o aplicativo *Marlin* soluciona os sistemas através de ajustamento por método dos mínimos quadrados, resultando num erro médio quadrático que indicará finalmente a qualidade geométrica das imagens.

A metodologia prática empregada neste trabalho consistiu, de forma geral, em importar as imagens para o aplicativo *Marlin* e utilizar as ferramentas de análise geométrica disponíveis no aplicativo, os pontos de controle obtidos em campo e uma carta topográfica para uma das imagens. No final, relatórios de análise geométrica são gerados, onde pode-se observar os resíduos obtidos pelos ajustamentos utilizando as diversas transformações e o gráfico dos resíduos por pontos de controle e verificação. A sequência geral de procedimentos é ilustrada pela Figura 1.

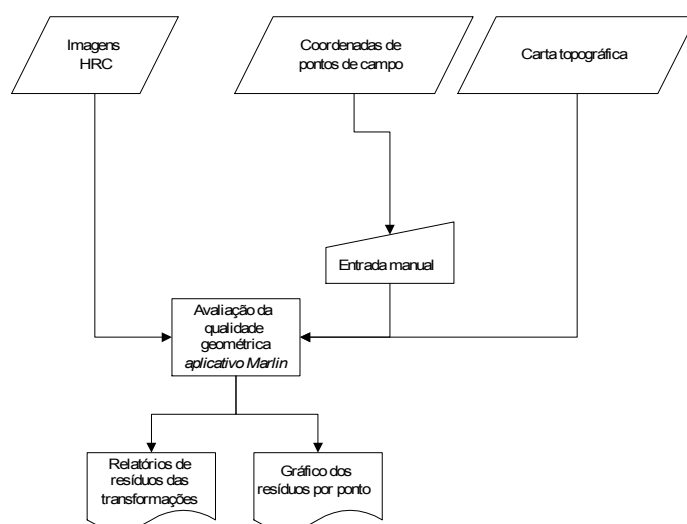


Figura 1: Sequência geral de procedimentos realizados no trabalho.

No caso das imagens HRC da região nordeste (Ceará e Rio Grande do Norte), a referência geométrica utilizada foi o conjunto de pontos de controle medidos em campo. Para a imagem de Brasília, a referência foi a carta topográfica na escala 1:25.000. As coordenadas dos pontos disponíveis estão referenciadas ao sistema geodésico WGS-84 (World Geodetic System-84), enquanto as imagens obtidas do catálogo de imagens do INPE estavam referenciadas ao sistema geodésico SAD-69 (South American Datum-69). Antes da utilização dos pontos para a análise geométrica, foi feita a conversão entre sistemas geodésicos das coordenadas dos pontos de controle utilizando-se o aplicativo TCGeo, distribuído gratuitamente pela Coordenação de Geodésia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A análise geométrica no aplicativo Marlin foi realizada indicando as posições dos pontos de controle nas imagens de satélite com o cursor e informando manualmente as coordenadas obtidas em campo para cada ponto cuja posição foi indicada. A partir de uma determinada quantidade de pontos indicados, que dependerá da transformação geométrica escolhida, o

aplicativo apresenta resultados da análise geométrica referente aos pontos indicados. Um exemplo da análise geométrica com o aplicativo Marlin realizada utilizando-se pontos de controle medidos em campo pode ser visualizada na Figura 2.

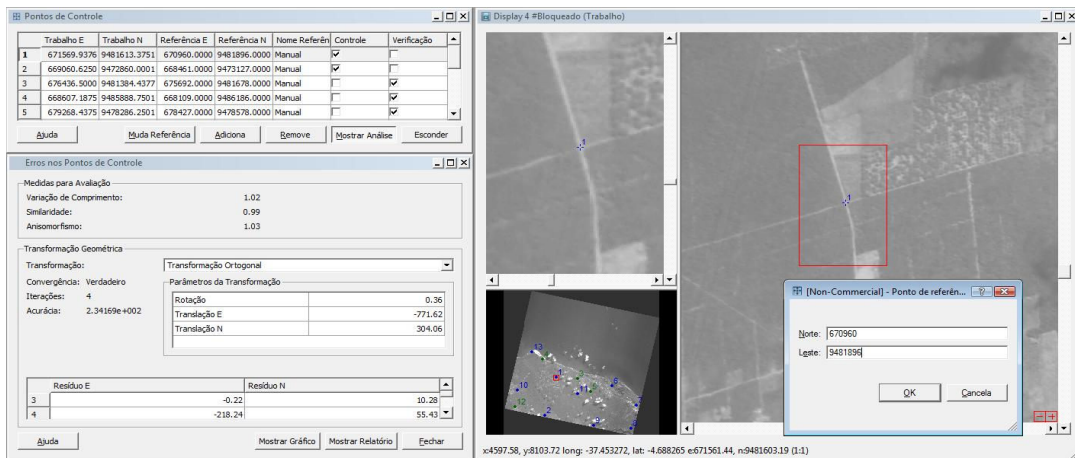


Figura 2: exemplo de análise geométrica no Marlin utilizando pontos de controle medidos em campo.

Para a imagem HRC que compreende a Cidade de Brasília, não foram utilizados pontos de controle medidos em campo, mas extraídos de um arquivo digitalizado e georreferenciado a partir de uma carta topográfica na escala 1:25.000 da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) do Exército Brasileiro. O procedimento é semelhante ao realizado para as outras imagens. Entretanto, como a referência geométrica é um arquivo digital georreferenciado, não é necessário a inserção manual dos pontos de controle, mas somente a indicação de cada ponto com o cursor na imagem de referência (carta topográfica digitalizada) e na imagem cuja geometria está se avaliando (Figura 3).

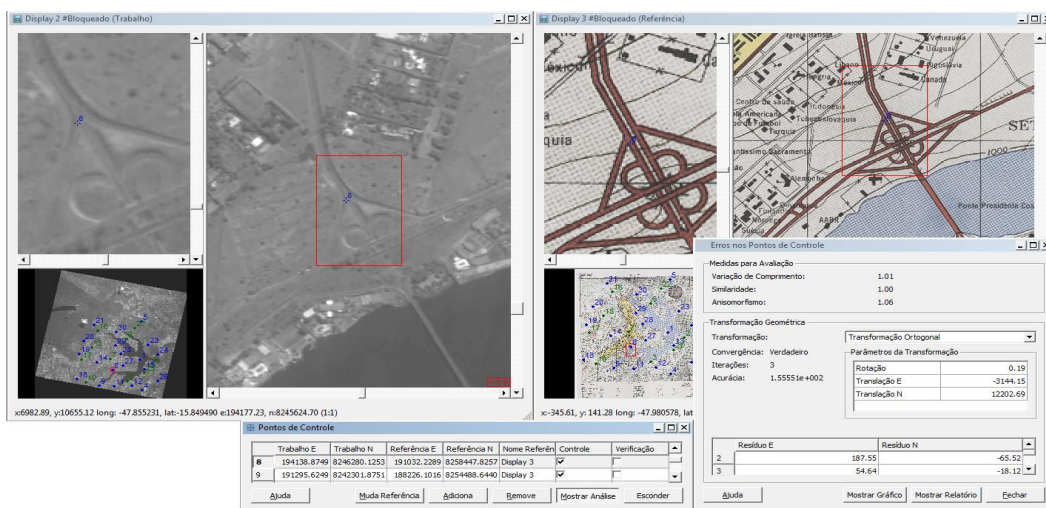


Figura 3: Exemplo de análise geométrica no Marlin utilizando uma imagem de referência (carta topográfica digitalizada).

Nas Figuras 2 e 03, pode-se observar a janela de visualização das imagens, com três níveis de zoom e a janela com a relação de pontos de controle, onde pode ser feita a opção se o ponto é de controle ou de verificação. Os pontos considerados como de controle tem suas coordenadas computadas na definição da transformação geométrica, enquanto os pontos de

verificação não. Os pontos de verificação são independentes do processo de cálculo da transformação. Pode-se observar também a janela de erros nos pontos de controle, que mostra informações sobre a análise geométrica como as medidas para avaliação, o tipo de transformação utilizada, os parâmetros calculados para aquela transformação com os pontos de controle já inseridos, o valor do erro médio quadrático obtido pela transformação, que é apresentado na janela como “acurácia”. Este valor é usado para definir de uma forma geral a qualidade da geometria das imagens. Quando transformações que modelam poucos parâmetros, como a ortogonal, foram usadas este valor indicou a qualidade da geometria interna da imagem. Quando utilizada a transformação afim (seis parâmetros), o valor “acurácia” indicou a potencialidade de correção geométrica da imagem. A janela de erros nos pontos de controle mostra também os resíduos nos pontos escolhidos como de verificação, opções de geração de relatórios e gráficos de resíduos nos pontos de controle e verificação, que foram utilizadas.

Este trabalho concentrou sua análise na geometria interna das imagens, abstendo-se de analisar o caráter posicional das imagens. Isto porque, observando-se uma boa geometria interna, o posicionamento da imagem pode ser facilmente corrigido aplicando-se os fatores de translação que também são computados pelo ajustamento com os pontos de controle.

Após a análise com as imagens HRC, julgou-se conveniente realizar uma análise semelhante com outros tipos de imagens, de outros sensores, para fins de comparação. Desta forma, a mesma análise foi realizada para duas imagens do sensor TM do satélite Landsat5 e para uma imagem do sensor CCD do CBERS 2B. As análises realizadas justificam-se por atuarem sobre imagens de sensores com geometria interna conhecidas e razoavelmente estáveis.

4. Resultados e Discussão

Os resultados numéricos obtidos nas análises geométricas das imagens da Câmera HR do CBERS 2B com a utilização de pontos de controle e carta topográfica como referência podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3 – resultados das análises geométricas das imagens da Câmera HR

Imagem	Nº de pontos		Erro médio quadrático do ajustamento (m)		
	controle	verif.	ortogonal	isogonal	afim
148_C_107_5	12	08	200	160	14,6
149_C_105_4	09	04	234	128	18,6
149_C_105_5	08	05	280	198	16,9
157_B_118_1	20	10	155	106	18,4

Através da análise dos valores do erro médio quadrático (EMQ) obtidos por meio do ajustamento para as transformações ortogonal e isogonal, que modelam respectivamente 3 e 4 parâmetros, verifica-se que as imagens analisadas apresentam uma qualidade geométrica bastante pobre, com valores de EMQ que variam entre cerca de 68 e 112 vezes maior do que a resolução espacial nominal das imagens para a transformação ortogonal. A análise dos resultados com a transformação afim mostra que as imagens podem ser corrigidas com aplicação de polinômios de 1º grau até um erro médio quadrático menor do que 20 m, sem considerar o efeito do deslocamento devido ao relevo.

Apesar das imagens HRC possuírem resolução espacial nominal de 2,7 m, o que poderia em uma análise mais imediata indicar qualidade geométrica adequada a escalas de mapeamento de até 1:5.000 (Brasil,1984), a pobre qualidade geométrica interna das imagens não permite que as mesmas sejam aplicadas em escalas maiores do que 1:50.000.

Os resultados das análises das imagens com outros sensores podem ser observados na Tabela 4.

Os valores de EMQ obtidos pelas imagens Landsat 5 e CBERS CCD foram significativamente menores do que os obtidos pelas imagens HRC para as transformações ortogonal e isogonal. Isto mostra que as imagens HRC, apesar de apresentarem maior resolução espacial, possuem uma qualidade de geometria interna mais pobre do que as outras. Cabe ressaltar que das três imagens de média resolução avaliadas, somente a do sensor TM do Landsat 5 de órbita ponto 228_071 apresenta uma boa distribuição de pontos de controle e verificação. Para as outras duas imagens, foram utilizados os pontos medidos para as imagens HRC, que correspondem somente a uma área bem reduzida das imagens TM e CCD.

Tabela 4 – resultados das análises geométricas das imagens dos outros sensores

Imagem	Nº de pontos		Erro médio quadrático do ajustamento (m)		
	controle	verif.	ortogonal	isogonal	afim
Landsat 5 228_071	09	06	75,3	59,7	45,7
Landsat 5 216_063	08	04	27,9	27,9	36,8
CBERS CCD 149_105	07	0	58,5	40,4	39,4

Uma outra análise realizada foi a dos gráficos de resíduos nos pontos de controle e verificação para o ajustamento utilizando a transformação ortogonal. Os gráficos de resíduos da imagem 149_c_105_5 são apresentados na Figura 4, como exemplo.

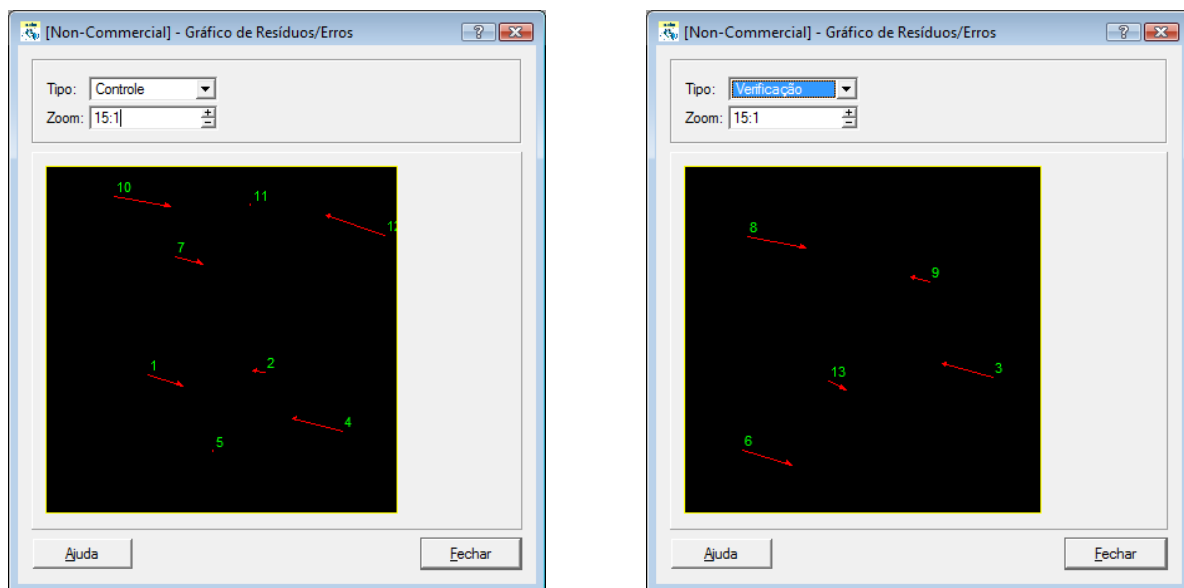


Figura 4 – Gráfico dos resíduos para os pontos de controle e verificação para imagem 149_c_105_5 com zoom de 15:1.

Os gráficos da Figura 4, apresentados como exemplo dos resíduos de todas as imagens da Câmera HR avaliadas utilizando-se a transformação ortogonal, mostram um comportamento sistemático. Os resíduos tem valores bem maiores na direção horizontal e em posições próximas às extremidades das cenas, tanto para os pontos de controle quanto para os de verificação. Os resíduos decrescem a medida que se caminha para o centro da cena e tornam-se muito pequenos ao longo de uma linha imaginária correspondente a projeção da trajetória da plataforma na Terra. Este comportamento torna-se significativamente reduzido utilizando-se a transformação isogonal e completamente imperceptível com a transformação afim. Os gráficos para estas duas transformações são omitidos por questões de espaço. O mesmo

comportamento sistemático não se verifica para as imagens de outros sensores com nenhuma das transformações geométricas.

5. Conclusões

De acordo com resultados encontrados e com as análises procedidas pode-se concluir:

As imagens HRC analisadas apresentam qualidade geométrica interna bastante pobre, obtendo para a transformação ortogonal valores de erro médio quadrático em torno de uma centena de vezes maior do que o valor de sua resolução espacial nominal. O ajustamento utilizando a transformação isogonal também obteve resultados ruins, ficando em torno de 40 a 80 vezes o valor da resolução espacial nominal.

Os resultados obtidos com a transformação afim indicam que as imagens HRC podem ser corrigidas geometricamente utilizando-se polinômios de 1º grau, obtendo-se, no ajustamento, valores de erro médio quadrático menores do que 20 m. Isto pode apontar para uma precisão compatível com a escala de mapeamento 1:50.000 de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica para cartas classe A (Brasil, 1984). Esta indicação de compatibilidade cartográfica não leva em consideração o deslocamento devido ao relevo.

Verificou-se um comportamento sistemático nos resíduos dos pontos de controle e verificação quando utilizada a transformação ortogonal. Os resíduos mostraram-se muito maiores na direção horizontal (E) e nos pontos das extremidades das imagens, diminuindo significativamente a medida que se desloca para a região central das cenas.

A avaliação de imagens de outros sensores aponta para uma certa estabilidade geométrica das imagens, o que não se verifica com as imagens HRC, dada a diferença de variação entre os valores de erro médio quadrático obtidos pelas diferentes transformações com as imagens HRC e com as imagens de outros sensores.

Referências

- Almeida, A. M.; Duarte, F. P.; Silva, M. A. O.; Machado e Silva, A. J. Sistemas de suporte à qualidade de imagens: uma inovação na estação terrena do INPE. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 703-7088. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.18.02.11/doc/703-708.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2008.
- Andrade, J.B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998. 258 p.
- Brasil, Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984. **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasília, Diário Oficial da União, 1984.
- D'Alge, J. C. L.; Souza, R. C. M.; Erthal, G. J. Geometric quality assessment of CBERS-2 images. XI Latin American Symposium on Remote Sensing and Spatial Information Systems, Santiago. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~julio/arquivos/Selper_2004_final.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2008.
- IBGE. **TCGeo: Sistema de Transformação de Coordenadas**. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/programa/Transformacao_de_Coordenadas/>. Acesso em: 04 ago. 2008.
- Machado e SILVA, A. J. F. **Modelos de Correção Geométrica para imagens HRV-SPOT**. 1988. (INPE-5001-TDL/395). Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1988.
- Silva, A. J. F. M. **Geometria de imagens: do projeto do satélite à geração dos produtos**. 2007-05-28. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/08.14.18.19.44>>. Acesso em: 16 ago. 2008.