

ORTORRETIFICAÇÃO E ANÁLISE DA QUALIDADE GEOMÉTRICA DE IMAGENS HRC CBERS 2B PARA UMA REGIÃO MONTANHOSA

Thiago Batista dos Santos¹
Paulo Cesar Gurgel de Albuquerque²
Cleber Gonzales de Oliveira²
Dalton de Morisson Valeriano²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Bolsista de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq/INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
batista@dsr.inpe.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
gurgel, cleber, dalton@dsr.inpe.br

Abstract. In the original geometry of high-resolution images are embedded spatial displacement effects, derived from the relief and changes in attitude of the camera image. The orthorectification is one of the most effective ways to mitigate the imperfections of the geometry these images. These corrections are essential. The good geometric quality and planimetric accuracy allow images of high spatial resolution to be used as measurements maps of geographic location, distance, angle and area. Given the availability of high resolution images, freely distributed by INPE and its importance for practical applications in various areas, we chose to orthorectify HRC images CBERS 2B and analyze their geometric quality. In order to demonstrate that such images can meet the technical parameters established by Brazilian legislation, this study was applied in an area that provides mild, moderate and very steep relief conditions.

Palavras-chave: CBERS 2B, HRC, orthorectification, geometric quality, Mantiqueira Mountain Range, ortorretificação, qualidade geométrica, Serra da Mantiqueira.

1. INTRODUÇÃO

Na geometria original de imagens de alta resolução espacial estão embutidos efeitos de deslocamento, derivados do relevo e de variações de altitude da câmera imageadora. Esses efeitos são causados pela geometria de aquisição da imagem. Nesse processo, a imagem é formada por um feixe de raios refletidos pela superfície da Terra. Esses feixes se dirigem ao sensor modelando uma imagem de projeção cônica. A remoção dos efeitos de deslocamento é o objetivo da ortorretificação. Durante a ortorretificação, a geometria de uma imagem não retificada transforma-se de um feixe cônico de raios em uma geometria de raios paralelos e ortogonais ao solo. O resultado é uma ortoimagem corrigida planimetricamente.

A exatidão planimétrica é essencial, pois permite que as ortoimagens sejam usadas como documentos cartográficos para posicionamentos geográficos, medições de distâncias, ângulos e áreas. Em imagens não retificadas, essas medições podem ser feitas somente de maneira aproximada, devido ao deslocamento na imagem e mudança de escala, causados por relevos irregulares e pela inclinação do sensor.

Diante da disponibilidade de imagens de alta resolução, distribuídas gratuitamente pelo INPE, e de sua importância para aplicações práticas em diversas áreas, optou-se por ortorretificar as imagens HRC CBERS 2B e analisar sua qualidade geométrica. Com o intuito de demonstrar que tais imagens podem atender parâmetros técnicos definidos pela legislação cartográfica vigente, o presente estudo foi aplicado em uma área que apresenta condições de relevo suave, moderado e muito acidentado.

2. MATERIAL

2.1 Recursos utilizados no trabalho de campo de coleta de pontos de controle

- um receptor GPS de navegação equipado com antena externa;
- dois receptores GPS *Topcon Hiper L1/L2* com acessórios (tripé convencional, base nivelante com prumo ótico e trena específica para GPS);
- cartas topográficas do IBGE, escala 1:50.000, em formato digital (Carta Virgínia, Lorena, Guaratinguetá, Passa-Quatro, Itajubá e Delfim Moreira).
- imagem LANDSAT TM Geocover, Composição Colorida, Georreferenciada, com Resolução Espacial de 15 metros; cena S-23-20_2000, ano 2000;
- imagem HRC do CBERS 2B, órbita 153_D, ponto 125_4, obtida em 3 de setembro de 2008;
- softwares: TrackMacker, Topcon Tools V7.2 e SPRING 5.1

2.2 Recursos utilizados na ortoretificação da imagem HRC do CBERS 2B

- software PCI Geomatica 10.0;
- imagens HRC, órbita 153_D, ponto 125_4, obtidas em 3 de setembro de 2008 (Níveis 1 e 2);
- fotografias dos pontos de controle e suas respectivas fichas técnicas;
- dados altimétricos do TOPODATA, no formato tiff e
- cartas topográficas produzidas pelo IGC, escala 1:10.000.

3. MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

Foi escolhida para este trabalho, uma área que abrange parte do Médio Vale do Paraíba, da Serra da Mantiqueira e do Sul de Minas Gerais, no Brasil. Estão inseridos nessa área os municípios de Piquete-SP, Marmelópolis-MG, Delfim Moreira-MG, e parte de Itajubá-MG, Lorena-SP, Cruzeiro-SP Cachoeira Paulista e Guaratinguetá-SP.

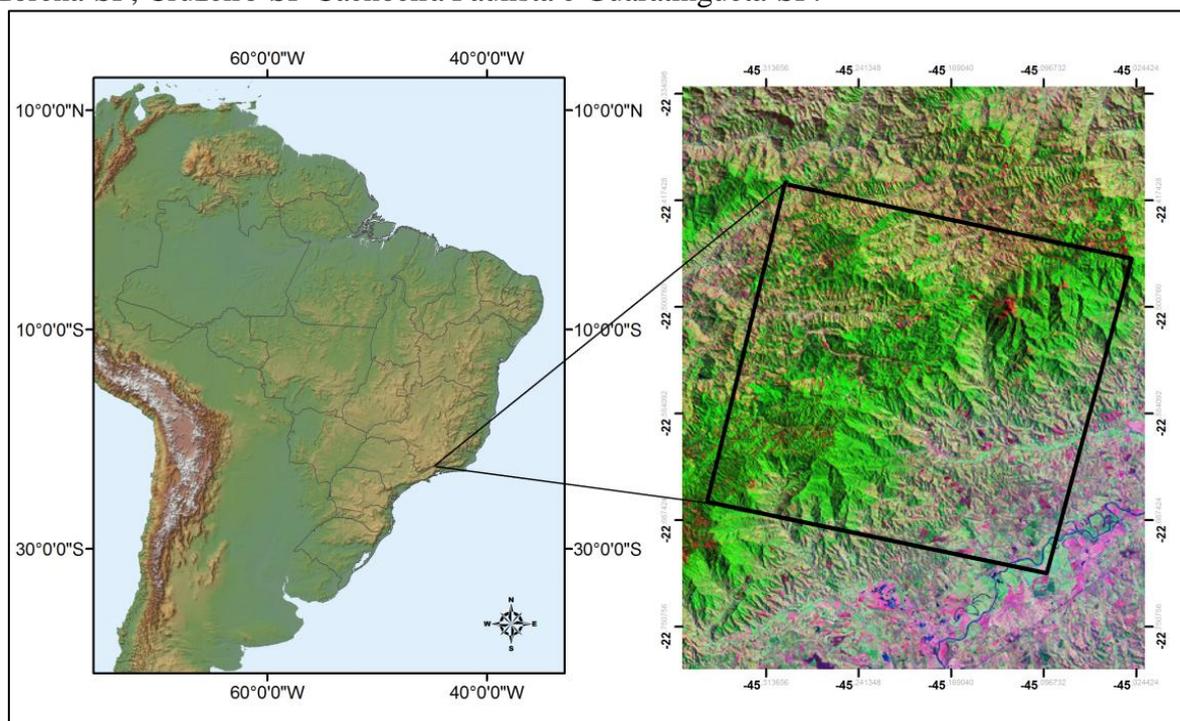


Figura 1: Localização da área de estudo

Esse território possui áreas com relevo suave, moderado e muito acidentado. Grande parcela dessa área representa uma das poucas regiões do país cujo relevo acidentado, de colinoso a montanhoso, tem elevações superiores a 2.000 metros de altitude. Nela é possível encontrar altitudes de 500 a 2422 metros acima do nível do mar.

Por essas e outras características, tais como a existência de estradas, a proximidade do INPE, as parcerias com entidades da região, a área de estudo foi escolhida para a aplicação de estudos de avaliação da qualidade geométrica das imagens CBERS 2B – HRC.

3.2 Coleta de Pontos de Controle

A determinação das coordenadas dos pontos de controle foi realizada com o uso de receptores GPS (*Global Positioning System*), de duas frequências, no método de levantamento relativo estático. Na etapa de processamento dos dados levantados em campo foi utilizada a estação da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) de Cachoeira Paulista (SP) como base de referência para a determinação das coordenadas dos pontos de controle.

Após o processamento dos dados GPS, todos os pontos de controle coletados apresentaram valores de RMSE (*Root Mean Square Error*) inferiores a 0,5 m na componente planimétrica e 0,75 m na componente altimétrica.

3.3 Ortorretificação

As imagens HRC, nível I e II, selecionadas para o trabalho foram submetidas ao processo de ortorretificação. Para tanto, utilizou-se uma modelagem matemática baseada na utilização de polinômios racionais. Esses polinômios relacionam a rede de pontos de controle ou pontos extraídos de uma imagem de referência, por meio de suas coordenadas geodésicas (Latitude - ϕ , Longitude - λ e altitude - H), com a imagem não ortorretificada, por meio de suas coordenadas de imagem (linha - L e coluna - C).

Computacionalmente, o modelo matemático de funções racionais é dividido em duas etapas de processamento. Inicialmente, a função polinomial é computada utilizando-se apenas o endereço da linha da imagem que será ortorretificada. Em seguida, o mesmo processo é feito com o endereço da coluna da imagem. A razão dos polinômios é descrita pelas equações 1.1 e 1.2 (OGC, 1999).

$$\text{Lin}_n = \frac{P(X_n, Y_n, Z_n)}{Q(X_n, Y_n, Z_n)} \quad (1.1)$$

$$\text{Col}_n = \frac{P(X_n, Y_n, Z_n)}{Q(X_n, Y_n, Z_n)} \quad (1.2)$$

em que:

Lin_n = endereço normalizado da linha do pixel da imagem;

Col_n = endereço normalizado da coluna do pixel da imagem;

X_n = valor normalizado da longitude;

Y_n = valor normalizado da latitude;

Z_n = valor normalizado da altitude;

Os polinômios P e Q possuem a seguinte forma:

$$P = \sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} A_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k \quad (1.3)$$

$$Q = \sum_{i=0}^{n1} \sum_{j=0}^{n2} \sum_{k=0}^{n3} B_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k \quad (1.4)$$

$$P = A_0 + A_1Z + A_2Y + A_3X + A_4XY + A_5ZX + A_6YX + A_7Z^2 + A_8Y^2 + A_9X^2 + A_{10}ZYX + A_{11}Z^2Y + A_{12}Z^2X + A_{13}Y^2Z + A_{14}Y^2X + A_{15}ZX^2 + A_{16}YX^2 + A_{17}Z^3 + A_{18}Y^3 + A_{19}X^3 \quad (1.5)$$

$$Q = B_0 + B_1Z + B_2Y + B_3X + B_4XY + B_5ZX + B_6YX + B_7Z^2 + B_8Y^2 + B_9X^2 + B_{10}ZYX + B_{11}Z^2Y + B_{12}Z^2X + B_{13}Y^2Z + B_{14}Y^2X + B_{15}ZX^2 + B_{16}YX^2 + B_{17}Z^3 + B_{18}Y^3 + B_{19}X^3 \quad (1.6)$$

em que:

A_{ijk} e B_{ijk} são os coeficientes dos polinômios racionais (RPC)

A potência máxima para cada grupo de coordenadas (m_1 , m_2 , m_3 , n_1 , n_2 e n_3) é limitada a 3. A soma das três potências não poderá exceder o valor 3 ($i+j+k > 3$). Caso isso aconteça, os valores dos coeficientes receberão o valor 0.

As quatro funções polinomiais possuem grupos com três coordenadas: latitude, longitude e altitude. Esses grupos de coordenadas e as duas coordenadas (linha, coluna) da imagem não ortorretificada, são normalizados e dimensionados para o intervalo de -1.0 a +1.0, conforme as equações abaixo (OGC, 1999):

$$r_n = \frac{r-r_0}{r_s} \quad (1.7) \quad c_n = \frac{c-c_0}{c_s} \quad (1.8)$$

$$x_n = \frac{x-x_0}{x_s} \quad (1.9) \quad y_n = \frac{y-y_0}{y_s} \quad (2.0)$$

$$z_n = \frac{z-z_0}{z_s} \quad (2.1)$$

em que:

- r_0 / c_0 = valores médios dos endereços das linhas e colunas, respectivamente;
- r_s / c_s = valores de fator de escala;
- $x_0 / y_0 / z_0$ = valores médios para as coordenadas;
- $x_s / y_s / z_s$ = valores do fator de escala

Para que a ortorretificação de uma imagem seja realizada é necessário utilizar um Modelo Digital de Elevação (MDE). Então, foi escolhida uma cena do Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil - TOPODATA, disponibilizado gratuitamente pelo INPE, que abrange toda a cena HRC.

O processo de ortorretificação foi realizado no módulo *OrthoEngine* do software PCI Geomatica V10.0. Nesse módulo foi criado um projeto com projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e DATUM *International Terrestrial Reference Frame (ITRF) / World Geodetic System 84 (WGS84)*. Posteriormente, o MDE e as imagens HRC não ortorretificadas foram lidas e os pontos de controles foram identificados. Os pontos de controle coletados em campo, que não foram usados na ortorretificação, juntamente com pontos extraídos de cartas topográficas de escala 1: 10.000, elaborada pelo Instituto Geográfico e Cartográfico de São Paulo (IGC), fizeram parte do teste de qualidade cartográfica da ortoimagem HRC. Os métodos de análise da qualidade cartográfica são descritos a seguir.

3.4 Análises de tendências nas imagens HRC ortorretificadas

As análises de tendências foram feitas seguindo a metodologia proposta por Galo & Camargo (1994). A qualidade geométrica das ortoimagens foi identificada com o uso de 20 pontos independentes de verificação, coletados em campo e nas cartas topográficas 1:10.000 do IGC. As distribuições dos GCPs e dos IGCPs são apresentados na figura 2.

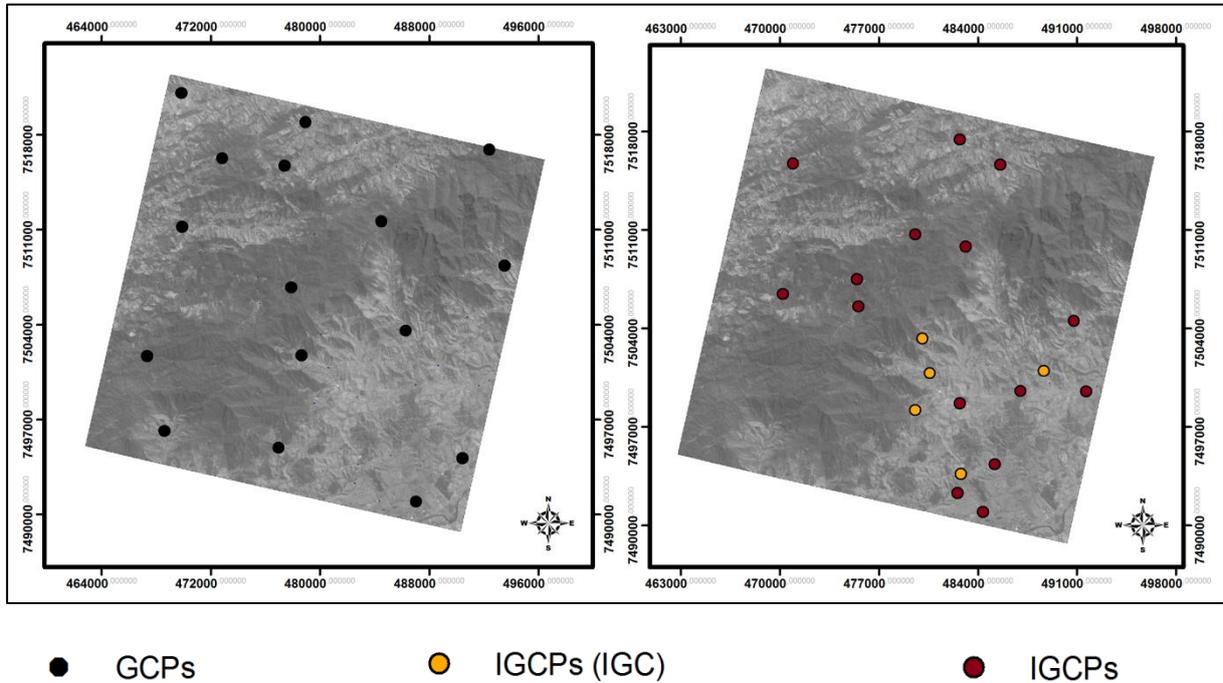


Figura 2: Distribuição dos 16 GCPs e 20 ICPs sobre a imagem HRC - CBERS 2B

As discrepâncias entre as coordenadas observadas nas imagens ortorretificadas e as coordenadas de referência foram calculadas da seguinte forma (GALO e CAMARGO, 1994):

$$\Delta X_i = X_i - X_i \quad (2.2)$$

A média e o desvio padrão das discrepâncias amostrais foram calculados, respectivamente, pelas equações abaixo (GALO e CAMARGO, 1994):

$$\Delta \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.3)$$

$$S_{\Delta X} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \Delta \bar{X})^2} \quad (2.4)$$

Após os cálculos das estatísticas descritas acima, foram feitos testes de tendência (“t de Student”) avaliados pelas seguintes hipóteses:

$$\begin{aligned}
 H_0: \Delta X &= 0, \\
 H_1: \Delta X &\neq 0
 \end{aligned}$$

Para testar as hipóteses foi calculada a estatística amostral "t" e foi verificado se o valor de $t_{amostral}$ estava no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula. O valor de $t_{amostral}$ foi calculado por meio da equação 2.5 (GALO e CAMARGO, 1994):

$$t_x = \frac{\Delta\bar{x}}{s_{\Delta x}} \sqrt{n} \quad (2.5)$$

e o intervalo de confiança por:

$$|t_x| < t(n-1, \alpha/2) \quad (2.6)$$

Nos casos em que a estatística amostral t estava fora do intervalo de confiança, rejeitou-se a hipótese nula, ou seja, a imagem não pode ser considerada livre de tendências significativas na coordenada testada.

3.5 Avaliação do padrão de exatidão cartográfico das imagens HRC ortorretificadas

A exatidão posicional de imagens orbitais, a exemplo de documentos cartográficos, pode ser avaliada como base nas Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, que estabelece o Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984. Esse Decreto define o Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC) e regulamenta a classificação dos produtos cartográficos quanto sua exatidão.

A avaliação da exatidão cartográfica foi feita com o uso da metodologia proposta por Galo e Camargo (1994). Esse método utiliza os resíduos existentes entre as coordenadas de pontos retirados de algum produto cartográfico e as de seus homólogos observados em campo ou em um documento oficial que tenha qualidade cartográfica compatível com o produto em análise.

A análise da exatidão foi feita comparando-se o desvio padrão das discrepâncias com o erro padrão (EP) esperado para as classes (valores tabelados pelo Decreto nº 89.817/84). Para tanto, utilizou-se as hipóteses descritas abaixo (GALO e CAMARGO, 1994):

$$H_0: S_{\Delta x}^2 = \sigma_x^2$$

$$H_1: S_{\Delta x}^2 > \sigma_x^2$$

em que:

$s_{\Delta x}$: erro padrão esperado para coordenada analisada.

$\sigma_{\Delta x}$: valor de variância permitido (equação 2.7)

$$\sigma_x = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad (2.7)$$

Após o cálculo da variância, calculou-se a estatística abaixo, e foi verificado se o resultado estava dentro do intervalo de aceitação (GALO e CAMARGO, 1994):

$$X_x^2 = (n-1) \frac{S_{\Delta x}^2}{\sigma_x^2} \quad (2.8)$$

$$X_x^2 \leq X^2(n-1, \alpha) \quad (2.9)$$

(intervalo de confiança)

Nos casos em que a equação 2.9 não foi obedecida, a hipótese H_0 foi rejeitada. A rejeição indica que as imagens não atenderam a precisão mínima estabelecida para a classe que deveria enquadrar-se.

4. RESULTADOS

4.1 Ortorretificação

As orrorretificações das imagens HRC foram realizadas a partir da utilização de 11 pontos de controles e incrementado 1 novo ponto até chegar a quantidade final de 16 pontos de controle. Posteriormente, as ortoimagens foram submetidas à avaliação do padrão de exatidão cartográfica (PEC). Os produtos que não atenderam os parâmetros mínimos estipulados foram rejeitados.

As estatísticas das ortoimagens (elaboradas a partir da HRC nível II), foram geradas tomando como base a escala de 1:25.000 e são apresentadas na Tabela 1:

Tabela 1: Estatísticas das ortoimagens geradas da configuração distinta de GCPs e ICPs a escala 1:25.000.

Orto	GCPs/ICPs	$t_{amostral}$	$tE_{(n-1;5\%)}$	$tN_{(n-1;5\%)}$	$X^2_{(n-1;10\%)}$	$X^2_{E (Classe A)}$	$X^2_{N (Classe A)}$
LII A	11/20	1,729	-0,91	-0,47	27,20	83,48	80,95
LII B	12/20	1,729	-1,11	-0,53	27,20	81,69	142,36
LII C	13/20	1,729	-1,62	0,93	27,20	85,83	79,19
LII D	14/20	1,729	-1,50	0,39	27,20	56,12	77,93
LII E	15/20	1,729	-0,06	0,51	27,20	40,73	75,18
LII F	16/20	1,729	0,36	1,04	27,20	35,73	71,06

Todas as ortoimagens da HRC nível II não atendem o PEC correspondente a classe A para a escala 1:25.000. Tais resultados não eram esperados. As imagens HRC possuem resolução espacial nominal de 2,7 m. Com essa resolução, a princípio, é possível elaborar produtos cartográficos com escala 1:10.000. Porém, a atual qualidade geométrica das imagens HRC nível II não permite sua utilização em escalas maiores do que 1:50.000. (SILVA, D'ALGE e FONSECA, 2009).

Diante desses resultados foi aplicado o mesmo método na imagem HRC nível I, já que esse produto possui apenas correção radiométrica de sistema, ou seja, as imagens de nível I não possuem qualquer tipo de correção geométrica. As estatísticas das ortoimagens HRC nível I para a escala 1:25.000 Classe A são apresentadas nas Tabela 2 e 3:

Tabela 2: tabela de resultados da combinação dos GCPs/ICPs (média das discrepâncias, desvio padrão e erro médio quadrático) para as imagens HRC nível I na escala de 1:25.000.

Ortoimagem	GCPs/ICPs	$\Delta\bar{Z}$ (m)	$S\Delta\bar{Z}$ (m)	RMSE (m)
LI A	11/20	7,95	5,78	9,74
LI B	12/20	7,89	7,42	10,71
LI C	13/20	6,69	4,77	8,15
LI D	14/20	5,42	2,55	5,97
LI E	15/20	4,97	2,89	5,72
LI F	16/20	4,63	2,25	5,12

Tabela 3: Estatísticas para Análise de Tendência e do PEC das ortoimagens produzidos da combinação distinta de GCPs e ICPs para as imagens nível I na escala 1:25.000.

Orto	GCPs/ICPs	$t_{amostral}$	$tE_{(n-1;5\%)}$	$tN_{(n-1;5\%)}$	$X^2_{(n-1;10\%)}$	$X^2_{E (Classe A)}$	$X^2_{N (Classe A)}$
LI A	11/20	1,729	-0,49	0,42	27,20	25,12	41,73
LI B	12/20	1,729	-1,14	0,64	27,20	31,27	47,12
LI C	13/20	1,729	-1,42	0,17	27,20	20,82	24,24
LI D	14/20	1,729	-0,98	-1,16	27,20	11,95	11,94
LI E	15/20	1,729	-0,12	-1,09	27,20	8,90	13,52
LI F	16/20	1,729	-0,08	-0,28	27,20	7,09	11,55

Todas as ortoimagens geradas da HRC nível I não apresentaram tendência. A partir de 13 pontos de controle foi possível gerar produtos compatíveis Classe A na escala de 1:25.000. Observa-se que quanto mais pontos de controle são utilizados, maior será a exatidão cartográfica dos produtos ortorretificados.

5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos neste trabalho é possível afirmar que as imagens HRC nível I, ortorretificadas pelo método de polinômios racionais, possuem potencial para a elaboração de produtos cartográficos Classe A de escala 1:25.000.

As informações geradas nas análises indicam que os dados de efemérides e de atitude do satélite CBERS-2B podem apresentar uma precisão aquém da esperada. Vale destacar que apenas as imagens HRC nível II são disponibilizadas aos usuários do catálogo de imagens do INPE.

Considerando essa possível fonte de incertezas inseridas na geometria das imagens HRC nível II, sugere-se que as imagens HRC nível I sejam disponibilizadas ao usuário. Pois, uma alternativa para correção geométrica dessas imagens é a ortorretificação com o uso de modelos matemáticos, baseados em polinômios racionais, que utilizem pontos de controle coletados em campo ou retirados de materiais cartográficos oficiais de escala maior do que a do produto a ser gerado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GALO, M.; CAMARGO, P. O. O uso do GPS no controle de qualidade de cartas. **ANAIS DO CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO (COBRAC-1994)**, Florianópolis, SC, Brasil, 1994.
- OGC, O. C. The OpenGIS Abstract Specification - Topic 7: The Earth Imagery Case. **Opengis**, 1999. Disponível em: <<http://www.opengis.org/public/abstract/99-107.pdf>>. Acesso em: 9 out. 2010.
- SILVA, W. B. D.; D'ALGE, J. C. L.; FONSECA, L. M. G. Avaliação da qualidade geométrica de imagens da Câmera HR do CBERS 2B. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, p. 2193-2200, Abril 2009.
- TOUTIN, T. Generation of DSMs from SPOT-5 in-track HRS and across-track HRG stereo data using spatiotriangulation and autocalibration. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, n. 60, p. 170–181, march 2006.
- UNIÃO, D. O. D. INSTRUÇÕES REGULADORAS DAS NORMAS TÉCNICAS DA CARTOGRAFIA NACIONAL. **Decreto nº 89817**, 20 junho 1984.