

## **Análise geométrica e visual de imagens fusionadas dos satélites Eros B e RapidEye**

Paulo Henrique Amorim da Silva  
Rafael Duarte  
Marcos Leandro Kazmierczak  
Iara Musse Felix

Santiago & Cintra Consultoria  
Rua Vieira de Morais, 420, 12º andar – 04617-000 – São Paulo - SP, Brasil  
{paulo.amorim; rafael.duarte; marcos.leandro; iara.musse}@scon.com.br

**Abstract.** The fusion process of panchromatic and multispectral images has shown an important role in increasing the quality of information provided by satellite images, increasing the cost-benefit of projects. The purpose of image fusion is to extract information with greater accuracy and liability from redundant or complementary images. Currently, on the market this process is widely used to generate high-resolution color images through the fusion of panchromatic and multispectral images, obtained from the same platform, however the process of image fusion from different sensors is still not widespread. This work will evaluate the product generated by the fusion of RapidEye multispectral satellite images with Eros B panchromatic satellite images. Firstly was made an analysis of different types of visual features in the fused image, which demonstrated a satisfactory result of the image fusion process. It was also taken a few GPS points, with precision of 2.0 cm to evaluate the geometric quality of the images generated from the Eros B x RapidEye fusion, and which classes of PEC (Map Accuracy Standards) could meet such image. On those tests, it was observed that during the fusion of images, the geometry of panchromatic image was conserved, and the bands from the multispectral images, assisted in the discrimination of different kinds of materials. Thus, the product generated by the images fusion of RapidEye and Eros B, according to the methodology proposed by this work, attends the full class A PEC on the scale 1:10.000.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, image fusion, cartographic mapping, sensoriamento remoto, processamento de imagens, fusão de imagens, mapeamento cartográfico.

### **1. Introdução**

O processo de fusão de imagens pancromáticas e multiespectrais têm desempenhado um papel cada vez mais importante no aumento da qualidade das informações fornecidas por imagens de satélites, aumentando a relação custo/benefício de inúmeros projetos. O princípio do processo de fusão de imagens é extrair informações com maior precisão e confiabilidade a partir de imagens redundantes ou complementares. Neste trabalho será avaliado o produto gerado pela fusão das imagens multiespectrais RapidEye com as imagens pancromáticas Eros B, com o objetivo de avaliar a qualidade geométrica das imagens fusionadas, bem como uma análise visual da composição colorida.

### **2. Metodologia de trabalho**

A área de estudo utilizada abrange o município de Capela do Alto (SP). A seleção desta área se deu pela complexidade de se localizar na junção de quatro censo, composta por duas censo RapidEye e duas censo Eros B, para avaliar a eficácia da metodologia proposta, conforme ilustra a Figura 1:

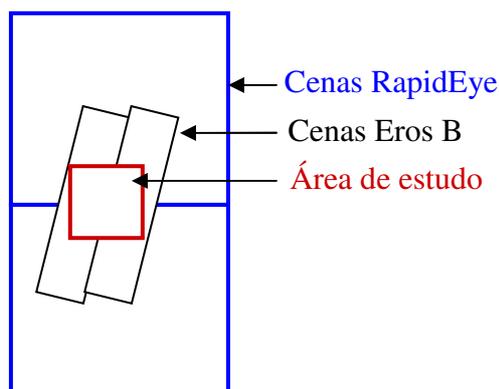


Figura 1 – Área de interesse.

O primeiro passo foi elaborar uma metodologia para fazer a fusão das imagens, com o objetivo de aproveitar ao máximo a qualidade geométrica das imagens Eros B, bem como a qualidade radiométrica e espectral das imagens RapidEye. A Figura 2 apresenta através de um fluxograma a metodologia geral, desenvolvida para a fusão das imagens em questão:

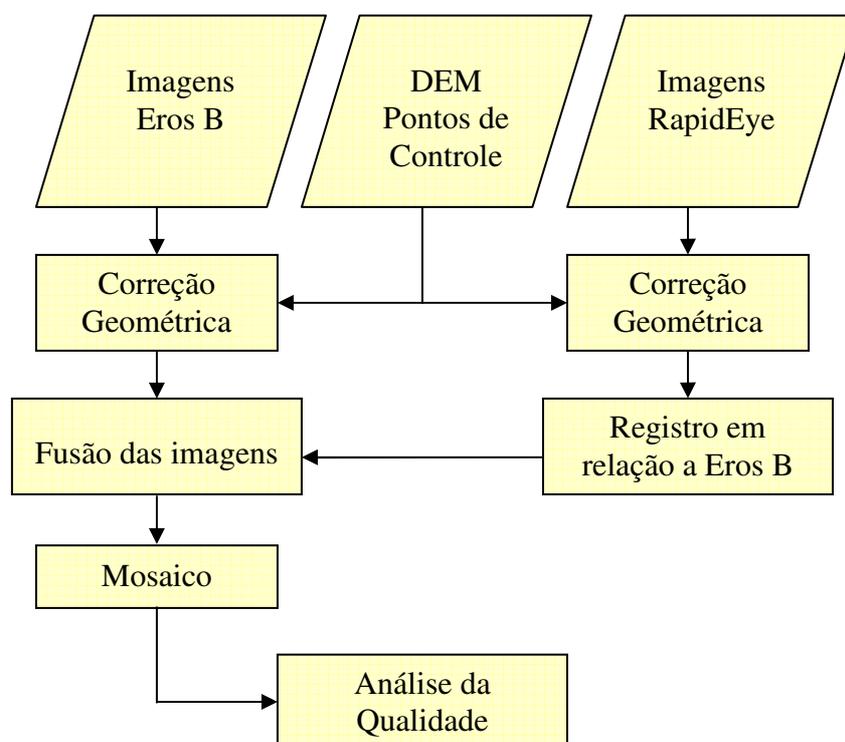


Figura 2 – Fluxograma da metodologia de trabalho utilizada.

Para geração da imagem fusionada o primeiro passo foi realizar a correção geométrica das imagens de entrada utilizando o software ERDAS IMAGINE 2010. Para isto foram utilizados nove pontos de controle bem distribuídos nas imagens, levantados com GPS de dupla frequência, com precisão de 0,02m. Além disso, as imagens foram ortoretificadas utilizando um modelo digital de terreno SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) distribuído gratuitamente pela NASA, que segundo Rabus et al. (2003), possui precisão vertical de 16 m.

O processo de ortoretificação é fundamental para se obter um bom registro das imagens, que influencia diretamente na qualidade da fusão, evitando ruídos em regiões de bordas, conforme mostra a Figura 3:



Figura 3 – Ruídos gerados por problemas de registro entre as imagens.

### 2.1. Técnicas de fusão de imagens

Atualmente existem na literatura diversas técnicas para realizar a fusão de imagens pancromáticas com multiespectrais. Segundo Pinho et al. (2005), As técnicas de fusão podem ser divididas em três grupos: as que utilizam modelos de domínio espacial, as de domínio espectral, e as que trabalham com operações algébricas.

As técnicas de domínio espacial, são as que realçam ou isolam as informações de alta frequência, como por exemplo áreas urbanas em imagens de alta resolução (Schowengerdt, 1997). Segundo Pinho et al (2005), os modelos de domínio espectral caracterizam-se por realizarem transformação nas imagens multiespectrais, resultando num novo conjunto de bandas onde uma delas é correlacionada com a imagem pancromática, como exemplo, pode-se citar as técnicas de Componentes Principais Componentes, IHS, Gram-Schmidt e Elher. Já os modelos algébricos operam funções aritméticas pixel-a-pixel. Como exemplo podem ser citadas as técnicas Brovey e multiplicativa.

### 2.2. Técnica de Componentes Principais

Nos testes realizados, utilizou-se a técnica de Principais Componentes, pois em testes de fusão Eros B x RapidEye realizados utilizando o software ERDAS IMAGINE 2010, foi a que apresentou melhores resultados com as imagens da área de interesse.

A técnica de Principais Componentes é baseada na análise das correlações entre N imagens brutas, que permite a geração de um novo conjunto de N novas imagens com nenhuma correlação entre si (Luz et al., 2009). A Figura 4 ilustra a primeira componente principal, num espaço bidimensional.

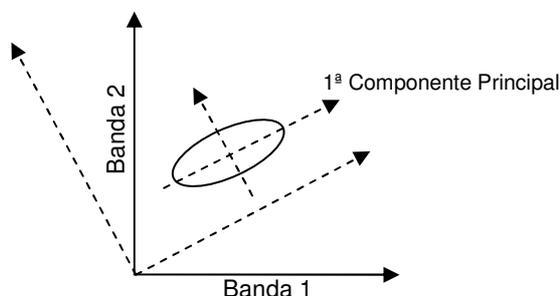


Figura 4 – Primeira Componente Principal no espaço Bidimensional.

Segundo Crosta (1992), a primeira Componente Principal irá conter a informação que é comum a todas as N bandas originais, e possui grande semelhança com uma vista “pancromática” da cena.

### 2.3. Análise da Precisão de Produtos Cartográficos

Galo e Camargo (1994) apresentam um método para verificar a exatidão e a precisão geométrica de uma carta, baseado na análise das discrepâncias entre as coordenadas retiradas da carta e as coordenadas dos pontos homólogos observados em campo a partir de levantamentos com GPS, em que são analisadas a existência de tendências e discrepância dos *check points*.

#### 2.3.1 Análise de Tendência

Inicialmente calcula-se a discrepância entre a coordenada de um ponto lido na carta e sua coordenada de referência através da equação:

$$\Delta X = X^r - X \quad (1)$$

Sendo:

$\Delta X$  - discrepância a ser calculada;

$X^r$  - coordenada de referência para um dado ponto;

$X$  - coordenada do ponto obtida através de leitura na carta.

Na seqüência, calcula-se a média e o desvio-padrão das discrepâncias, através das equações:

$$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad \text{e} \quad S_{\Delta X} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2} \quad (2)$$

Sendo:

$\overline{\Delta X}$  - discrepância média calculada para os pontos empregados no teste;

$n$  - número de pontos empregados no teste;

$S_{\Delta X}$  - desvio-padrão das discrepâncias.

Para o teste de tendência, são assumidas as hipóteses:

$$\left. \begin{array}{l} H_0 : \overline{\Delta X} = 0 \\ H_1 : \overline{\Delta X} \neq 0 \end{array} \right\} \quad (3)$$

Sendo que  $H_0$  representa a hipótese contrária e  $H_1$  a hipótese alternativa.

Em seguida, calcula-se a estatística amostral  $t$  e verifica-se se o seu valor está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula:

$$t_x = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta X}} n^{1/2} \quad (4)$$

O intervalo de confiança relativo ao teste é definido por:

$$|t_x| < t_{(n-1, \alpha/2)} \quad (5)$$

Sendo que  $t_{(n-1, \alpha/2)}$  representa o valor da distribuição  $t$  para  $n-1$  graus de liberdade e nível de significância  $\alpha$ . Sendo assim, a hipótese nula é rejeitada caso o valor calculado da estatística  $t$  amostral não satisfizer a desigualdade. A determinação de tendências em alguma das coordenadas sugere a ocorrência de problemas de natureza sistemática ou tendenciosa no mapeamento.

### 2.3.2 Análise de Precisão

Na análise da precisão, compara-se o desvio-padrão das discrepâncias com o Erro Padrão (EP) de uma classe pré-selecionada com o seguinte teste de hipótese:

$$\left. \begin{array}{l} H_0 : S_X^2 = \sigma_X^2 \\ H_1 : S_X^2 > \sigma_X^2 \end{array} \right\} \quad (6)$$

Sendo que  $\sigma_X$  corresponde ao desvio-padrão ou erro padrão esperado para a coordenada genérica X, sendo dado pela equação:

$$\sigma_X = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad (7)$$

Então, calcula-se o valor do qui-quadrado amostral, para posterior realização do teste. Esse valor é dado por:

$$\chi_X^2 = (n-1) \cdot \frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_X^2} \quad (8)$$

Assim, aplica-se o teste para determinar se a carta atende a precisão pré-estabelecida pela classe escolhida com a seguinte condição:

$$\chi_X^2 \leq \chi_{(n-1, \alpha)}^2 \quad (9)$$

Sendo  $\chi_{(n-1, \alpha)}^2$  o valor da distribuição qui-quadrado para n-1 graus de liberdade, onde n é o número de pontos, e  $\alpha$  é o nível de significância. Se o teste não satisfizer a condição expressa anteriormente, rejeita-se a hipótese nula de que a carta atende à precisão pré-estabelecida.

### 3. Análise dos resultados

As imagens geradas pelo processo de fusão apresentaram bons resultados no que se refere à visualização e definição dos objetos que a compõem. As imagens a seguir ilustram o resultado visual obtido com a fusão das imagens pancromáticas Eros B com as imagens multiespectrais RapidEye, como pode ser visto na Figura 5, é possível verificar a boa definição de feições, como vegetação nativa, malha viária, edificações e culturas (como laranja e cana de açúcar).



Fusão Eros B x RapidEye



Detalhe Escala 1:3000

Figura 5 – Imagem fusionada.

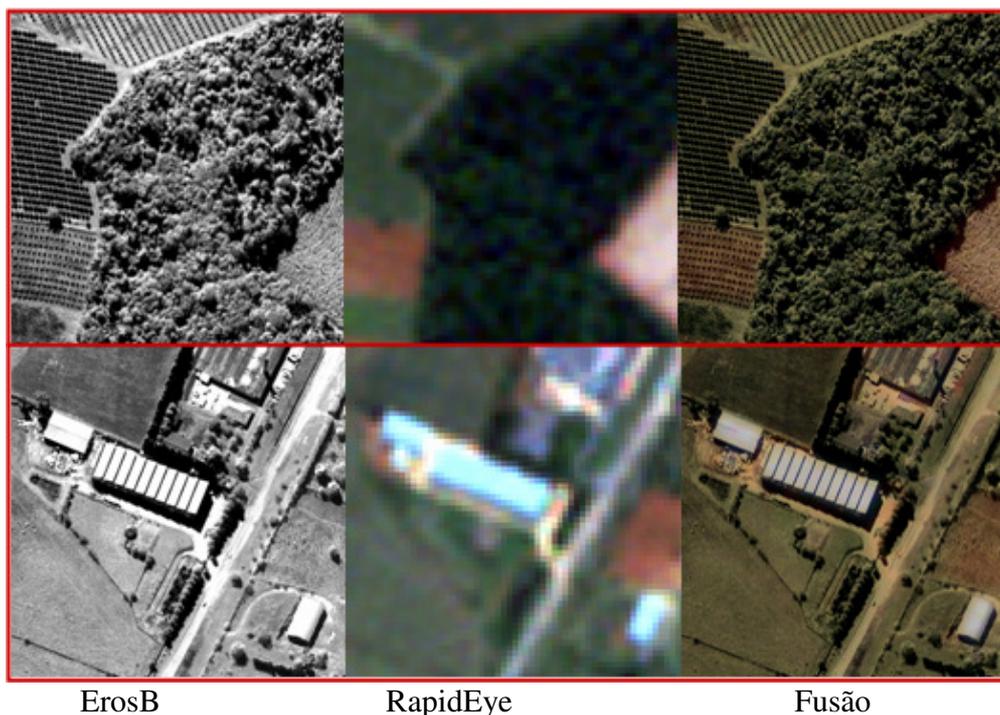


Figura 6 – Comparação entre as imagens Pancromática, Multiespectral e fusionada.

A seguir será apresentada a análise de qualidade geométrica da imagem da área de interesse. Esta análise levou em consideração a tendência e a dispersão dos pontos de controle.

### 3.1. Análise de precisão

A seguir, a Figura 7 ilustra a distribuição dos check points utilizados na imagem fusionada, e a Tabela 1 apresenta os resíduos dos *check points*:

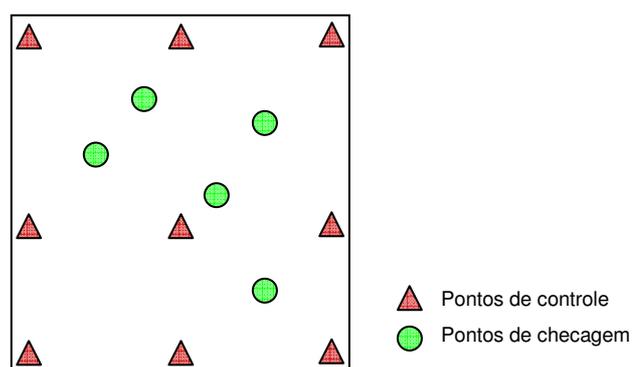


Figura 7 – Distribuições dos Check Points e pontos de controle.

Tabela 1 – Resíduos dos *Check Points*.

	Coordenadas Verdadeiras		Coordenadas Medidas		Erro	
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)
<b>P05</b>	225706,12	7403465,74	225707,70	7403465,06	-1,58	0,68
<b>P13</b>	224192,87	7409665,86	224194,00	7409668,83	-1,13	-2,97
<b>P16</b>	220368,50	7406510,14	220368,20	7406510,35	0,30	-0,21
<b>P07</b>	218177,90	7409576,71	218176,92	7409575,35	0,97	1,36
<b>P09</b>	215872,06	7408186,38	215871,88	7408186,79	0,18	-0,41

A Tabela 2 apresenta os cálculos estatísticos obtidos pelas equações de 1 a 8.

Tabela 2 - Resumo das estatísticas.

	E	N
$\bar{\Delta}\{E, N\}$	0,252 m	0,386 m
$S_{\bar{\Delta}\{E, N\}}$	1,135 m	1,555 m
$t_x$	0,530	0,692
$t_{(4,5\%)}$	2,132	2,132
$\chi^2_{(4,10\%)}$	7,779	7,779

Da análise do teste de tendências, observa-se que  $|t_x| < t_{(n-1, \alpha/2)}$ , logo, as componentes  $\Delta E$  e  $\Delta N$  são aprovadas no teste de tendência.

O próximo passo foi realizar o teste de precisão. A Tabela 3 apresenta os erros padrões para cada classe do PEC (A, B e C) nas escala de 1:100.000 a 1:10.000, e os resultados do teste estatístico:

Tabela 3 – Variáveis de dispersão para as classes A, B e C do PEC.

Classe	Escala	EP	$\sigma$	$\sigma^2$	$\chi^2_x$	
					E	N
A	1: 100.000	30	21,213	450,000	0,010	0,013
	1: 50.000	15	10,606	112,500	0,040	0,055
	1: 25000	7,5	5,303	28,125	0,161	0,221
	1: 10.000	3	2,121	4,500	1,009	1,382
B	1: 100.000	50	35,355	1250,000	0,004	0,005
	1: 50.000	25	17,677	312,500	0,014	0,019
	1:25000	12,5	8,838	78,125	0,058	0,079
	1: 10.000	5	3,535	12,500	0,363	0,497
C	1: 100.000	60	42,426	1800,000	0,002	0,003
	1: 50.000	30	21,213	450,000	0,0101	0,014
	1:25000	15	10,606	112,500	0,0403	0,055
	1: 10.000	6	4,242	18,000	0,252	0,345

Como  $\chi^2_x \leq \chi^2_{(n-1, \alpha)}$ , as componentes passaram no teste de precisão, atendendo as classes A, B e C do PEC, nas escala de 1:100.000 a 1:10.000.

#### 4. Conclusões e Análises dos Resultados

Os resultados gerados a partir da metodologia proposta para realiza a análise geométrica e visual permitem concluir a boa qualidade do produto gerado, principalmente no que se refere à utilização das imagens para fins de extração de informações cartográficas, permitindo boa visualização e identificação de objetos como edificações, malha rodoviária, e uso do solo.

Em uma primeira etapa, foi realizada uma análise visual de diferentes tipos de feições na imagem fusionada, observando um resultado satisfatório do processo de fusão. Na seqüência, foram utilizados pontos levantados com GPS, com precisão de 2,0 cm para avaliar a qualidade

geométrica das imagens provenientes da fusão Eros B x RapidEye, e a quais classes do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfico) tal imagem poderia atender.

Observa-se que para se obter uma boa qualidade visual da imagem fusionada, é imprescindível a etapa de registro das imagens, evitando ruídos como sombras e imagens fantasmas, principalmente nas áreas urbanas.

Nota-se que durante a fusão das imagens, a geometria da imagem Pancromática é mantida, e as bandas provenientes das imagens multiespectrais, auxiliam na discriminação de diferentes tipos materiais.

Sendo assim, conclui-se que o produto gerado pela fusão das imagens Eros B e RapidEye, contribui significativamente gerando um produto de maior valor agregado, e de acordo com a metodologia proposta por este trabalho, atende plenamente a classe A do PEC na escala 1:10.000 para fins de mapeamento cartográfico.

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Santiago & Cintra Geotecnologias pelos equipamentos cedidos para os levantamentos de campo, e à Santiago & Cintra Consultoria pelo apoio, motivação e estrutura disponibilizada para realização dos testes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

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

Luz, J. da; Rosot, M. A. D.; Oliveira, Y. M. M. de. Garrastazu, M. C. Técnicas de fusão aplicadas a imagens do satélite ALOS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, , 14., 2009, Natal. **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos p. 6959-6965.

Pinho, C. M. D., Rennó, C. D., Kux, H. J. H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos p. 4225-4232.

Rabus, B.; Eineder, M.; Roth, A.; Bamler, R. The Shuttle Radar Topography Mission –a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, p. 241-262

Schowengerdt, R. A. Spectral Transforms in: **Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing**, London: Academic Press, p. 1997. 522.