

## Fusão de Imagens CBERS 2B: CCD-HRC

Fernando Leonardi<sup>1</sup>  
Cleber Gonzales de Oliveira<sup>1</sup>  
Leila Maria Garcia Fonseca<sup>1</sup>  
Cláudia Maria de Almeida<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{leonardi, cleber, almeida}@dsr.inpe.br; leila@dpi.inpe.br

**Abstract.** The aim of this paper is to evaluate two different images fusion methods - IHS (cylindrical and hexacon) and PANSHARPENING - applied to CBERS 2B images. In order to accomplish this task, CBERS 2B (CCD and HRC) satellite images were used, with 20m and 2.5m of spatial resolution, respectively. A QUICKBIRD satellite image in fusion mode with spatial resolution of 0.60m was also used for orthorectifying the CBERS 2B images, due the unavailability of control points in the field. Based on the GCP in the QUICKBIRD image and a DEM generated from contour lines, it was possible to execute the images orthorectification, which is an important prerequisite to the good quality of the fusion process. Qualitative (visual appraisal) as well as quantitative (statistical index) methods were employed to evaluate the fused images quality. The results show a good quality of the CBERS 2B fused images, which may foster new applications possibilities in remote sensing.

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

### 1. Introdução

Este trabalho tem por objetivo realizar a fusão de imagens CBERS 2B por dois diferentes métodos e analisar a qualidade de ambos. No referido trabalho, foram utilizadas três imagens de diferentes sensores orbitais, todas compreendidas em uma mesma área localizada no município de Mauá - SP: uma multiespectral fusionada (QUICKBIRD) com três bandas na região do visível e com resolução espacial de 0,60m, uma segunda imagem multiespectral (CBERS 2B – CCD) com resolução espacial de 20m, e uma terceira imagem pancromática (CBERS 2B – HRC) com resolução espacial de 2,5m. Com o intuito de investigar o desempenho de diferentes métodos de fusão, propôs-se a realização de uma fusão entre as duas imagens do sensor CBERS (CCD e HRC) para gerar uma imagem sintética multiespectral com alta resolução espacial pelos métodos PANSHARPENING e IHS (Cilíndrica e Hexacônica), e a posterior utilização de métodos para avaliação da qualidade das imagens fusionadas. Neste contexto, levantou-se uma importante questão: qual técnica de fusão teria o melhor desempenho quanto à transferência de detalhes e conservação do conteúdo espectral? Com o objetivo de responder esta questão, avaliou-se o desempenho das duas técnicas de fusão utilizadas a partir dos seguintes indicadores: Coeficiente de Correlação, Bias, Diferença da Variância e Desvio Padrão da Imagem Diferença.

### 2. Técnicas de Fusão

Segundo Fonseca et. al. (2000), tal processamento pode ser utilizado visando melhorar a resolução espacial. As técnicas de fusão possibilitam integrar a melhor resolução espacial da banda pancromática com a melhor resolução espectral das demais bandas, produzindo imagem colorida que reúne ambas as características. As técnicas de fusão incluem: (i) Intensidade-Matiz-Saturação (IHS); (ii) Principais Componentes; (iii) Transformação de Brovey; (iv) Transformação Wavelet, dentre outros. No entanto, para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se a técnica IHS (Cilíndrica e Hexacônica) e PANSHARPENING para a realização da fusão das imagens.

## 2.1 PANSHARPENING

O método PANSHARPENING trabalha com dados de imagens em 8 bits, 16 bits, 32 bits, e pode fundir imagens adquiridas simultaneamente pelo mesmo sensor ou provenientes de diferentes sensores.

Este método tende a produzir resultados superiores em relação aos demais métodos por preservar as características espectrais da imagem, uma vez que o algoritmo PANSHARPENING procura preservar o conteúdo espectral da cena (cor da imagem). A média, o desvio padrão e o formato do histograma para cada canal são aproximadamente preservados. Os desvios significantes do formato original do histograma, no entanto, podem ocorrer se as resoluções das imagens multiespectrais e pancromáticas diferirem amplamente, ou então, caso os dados de diferentes sensores forem usados conjuntamente (Zhang, 2002).

Para a obtenção de melhores resultados pelo método PANSHARPENING, recomenda-se verificar se a faixa espectral da banda pancromática cobre razoavelmente a faixa espectral das bandas da composição colorida (Zhang, 2002).

## 2.2 IHS

### 2.2.1. Cilíndrica

Este método corresponde à combinação de três componentes, denominadas saturação (Saturation – S), intensidade (Intensity – I) e matiz (Hue – H), que descrevem a formação de cores de uma maneira muito próxima àquela pela qual o sistema visual humano percebe as cores, apresentando vantagens em relação ao sistema RGB.

No sistema IHS, a distância de um ponto até a base do cone representa a intensidade (I); o raio da base do cilindro, a saturação (S) da cor; e a seqüência radial ao redor do círculo de saturação e do eixo de intensidade, o matiz (H).

Os valores de intensidade e de saturação variam de 0 a 1, enquanto os valores de matiz estão compreendidos entre os ângulos 0 e 360 graus.

No eixo I (“Intensity”), localizam-se os valores de intensidade, tendo como origem a base do cilindro; no eixo S (“Saturation”), estão os valores de saturação, que sobre o eixo I possui valor 0 e sobre a circunferência da seção circular tem máximo valor; e finalmente o matiz é dado pelo arco no eixo H (“Hue”). Em vista desta conformação, este sistema de coordenadas dos atributos de cores recebe o nome de espaço IHS.

### 2.2.2. Hexacônica

Mais conhecida como HSV (“Hue”, “Saturation”, “Value”), esta transformação não possui representação cilíndrica, mas sim hexacônica. Isto porque este espaço resulta de transformações geométricas do espaço de cores RGB. Portanto, existem relações matemáticas, deduzidas a partir dessas transformações geométricas, que permitem a transformação de uma coordenada (cor) no espaço de cores RGB em uma coordenada no espaço de atributos HSV, e vice-versa. Convém salientar que o V do HSV e o I do IHS representam a mesma grandeza, ou seja, o brilho.

A partir desta representação espacial, pode-se chegar a relações geométricas entre os sistemas RGB e o HSV. O eixo de V coincide com o eixo do modelo hexacônico, tendo sua origem no seu vértice. Portanto, na base do espaço hexacônico,  $V=1$ , que é o valor máximo de V, e no vértice,  $V=0$ . A saturação é medida pela distância do ponto P ao eixo do hexacôno, variando de  $S=0$  (sobre o eixo) a  $S=1$  (sobre as arestas do hexacôno). Por fim, o matiz é dado pelo ângulo correspondente ao ponto P no plano hexagonal.

### 3. Avaliação

O que se procura avaliar com os métodos neste trabalho é a qualidade espacial e espectral das imagens fusionadas. O resultado desejado é o aumento da resolução espacial, sem acrescentar falsos alvos e de modo a preservar a informação espectral na imagem.

Ainda que não exista um padrão definido de medidas de qualidade em processamento digital de imagens, diferentes indicadores são utilizados na literatura para esse fim. Esses indicadores estão divididos em visuais e estatísticos (Pinho et.al., 2005).

Para a avaliação estatística utilizou-se os seguintes indicadores: Coeficiente de Correlação, Biais, Diferença da Variância e Desvio Padrão da Imagem Diferença (Telles Jr, 2008).

#### 3.1 Avaliação Visual da Qualidade

A avaliação visual é um processo de carácter subjetivo e dependente do observador. Normalmente, é o primeiro critério utilizado, pois permite avaliar o resultado geral da fusão em termos de preservação das bordas e do espectro da imagem de alta resolução em relação à imagem de baixa resolução. A existência de distorções que alterem sobremaneira a qualidade visual entre essas duas imagens permite que se utilize esse indicador preliminar como um primeiro fator de corte, ou seja, uma avaliação visual ruim não leva a imagem fusionada à progressão no protocolo de avaliação da qualidade, mesmo considerando que o sistema visual humano não seja sensível a todas as distorções presentes em uma imagem (Li, 2000).

#### 3.2 Avaliação Estatística

##### 3.2.1 Coeficiente de Correlação

O coeficiente de correlação (CC) mede o grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Ele também tem como objetivo mostrar o grau de similaridade das pequenas estruturas na imagem (Wald, 1997). Os valores que o coeficiente pode assumir situam-se no intervalo [-1:1] e é definido por (Equação 2):

$$CC = \frac{C_{kl}}{\sqrt{\sigma_k \sigma_l}} \quad (1)$$

em que  $C_{kl}$  é a covariância entre as imagens  $v_k$  e  $v_l$ ;  $\sigma_k$  é o desvio padrão de  $v_k$ , e  $\sigma_l$  é o desvio padrão de  $v_l$ .

##### 3.2.2 Biais

O bias (Equação 2) corresponde à diferença entre as médias das imagens de baixa e alta resolução. Esse valor é relativo à média da imagem original. O valor ideal é zero.

$$bias = \frac{\mu_{LR} - \mu_{HR}}{\mu_{LR}}, \quad (2)$$

onde  $\mu_{LR}$  é a média da imagem LR e  $\mu_{HR}$  é a média da imagem HR, lembrando que LR e HR referem-se às imagens de baixa e alta resolução, respectivamente.

##### 3.2.3 Diferença da Variância

A diferença da variância (DV) corresponde à relação normalizada entre a diferença das variâncias das imagens LR e HR (Equação 3). Ela indica a quantidade de informação adicionada ou perdida durante a fusão. Um valor positivo indica perda de informação, e um

valor negativo indica que alguma informação foi adicionada. Este indicador é relativo à variância da imagem original. Na fusão, seu valor ideal corresponde a um valor negativo próximo de zero.

$$DV = \frac{\sigma_{LR}^2 - \sigma_{HR}^2}{\sigma_{LR}^2} \quad (3)$$

### 3.2.4 Desvio Padrão da Imagem Diferença

O Desvio Padrão da Imagem Diferença (SSD) é a relação entre o desvio padrão da diferença das imagens LR e HR e a média da imagem LR (Equação 4). De acordo com Wald (1997), ele indica o nível de erro nos pixels da imagem. O valor ideal é zero.

$$SSD = \frac{\sigma(LR - HR)}{\mu_{LR}} \quad (4)$$

### 3.2.5 Raiz do Erro Médio Quadrático

Corresponde à raiz quadrada da soma dos quadrados do bias e do SSD (Equação 5). O valor ideal é zero. Ela indica o grau de similaridade entre as imagens LR e HR.

$$rmse = \sqrt{bias^2 + SSD^2} \quad (5)$$

## 4. Material e Métodos

Para a realização do trabalho, foram utilizadas três imagens de diferentes sensores orbitais, todas compreendidas em uma mesma área localizada no município de Mauá (SP): uma multiespectral fusionada (QUICKBIRD datada de 17/05/2006) com três bandas na região do visível e com resolução espacial de 0,60 m, para servir como base para a realização da ortorretificação da HRC; uma segunda imagem pancromática (CBERS 2B – HRC datada de 10/07/2008) com resolução espacial de 2,5 m; e uma terceira imagem multiespectral (CBERS 2B – CCD datada de 10/07/2008) com resolução de 20 m. Na seqüência, executou-se a fusão entre as duas imagens do sensor CBERS 2B (CCD e HRC), para gerar uma imagem sintética multiespectral com alta resolução espacial pelos métodos PANSHARPENING e IHS (Cilíndrico e Hexacônico) com a utilização do software PCI Geomatica 10.1. Posteriormente, empregaram-se métodos para a avaliação da qualidade das imagens fusionadas.

### 4.1 Metodologia

A Figura 1 ilustra o fluxograma das etapas de processamento realizadas neste trabalho. O primeiro passo consistiu na ortorretificação da imagem QUICKBIRD a partir do DEM e dos RPCs. Em função de não se ter um DEM da área de estudo, gerou-se então um DEM a partir das curvas de nível na escala 1:50.000, obtidas a partir do site do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Vale lembrar que a imagem QUICKBIRD foi utilizada apenas como base para a ortorretificação das demais imagens, em função da não disponibilidade de pontos de controle em campo (pontos GPS) para a realização da ortorretificação das imagens CBERS 2B (CCD e HRC).

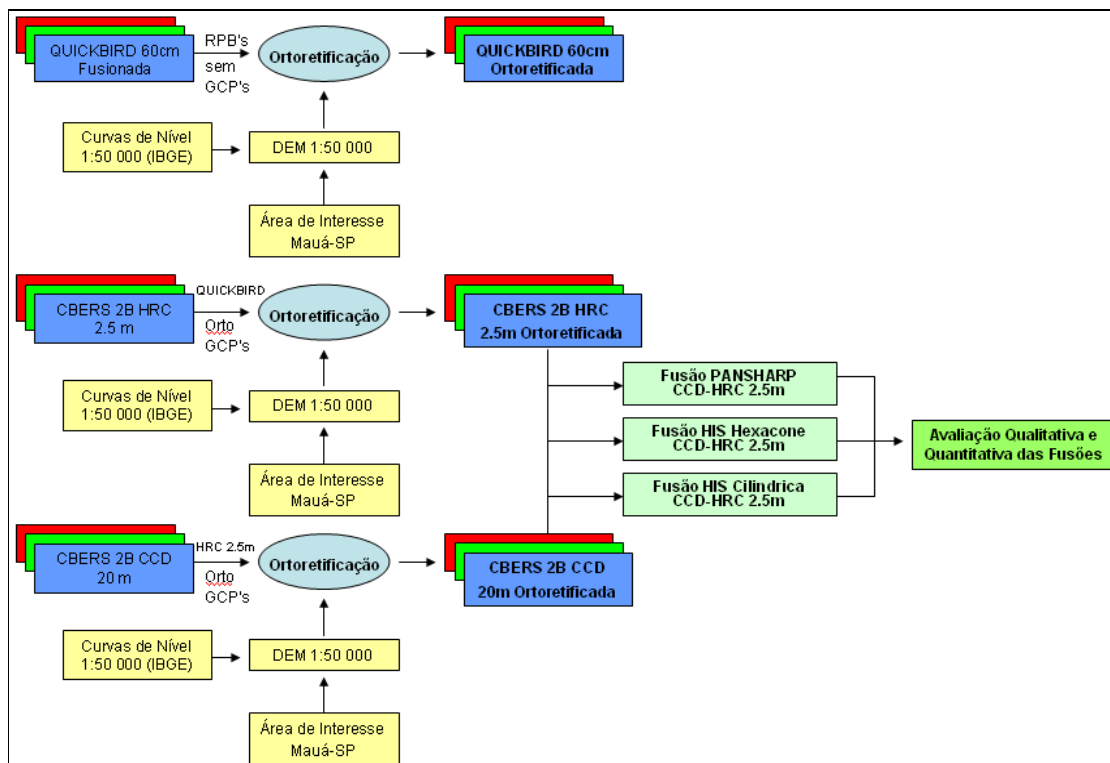


Figura 1 – Fluxograma das etapas de processamento.

Para realizar a ortoretificação da imagem HRC, foi necessário tomar como base a imagem Quickbird ortoretificada a partir dos GCPs e com o mesmo DEM utilizado na etapa anterior. Utilizaram-se 32 GCPs, cujo RMSE foi de 1,91 m e 2,25 m em X e Y, respectivamente. O próximo passo foi a ortoretificação da imagem CCD, tomando como base a imagem HRC ortoretificada na etapa anterior com a utilização dos GCPs e do DEM. Utilizaram-se 19 GCPs, cujo RMSE foi de 10,31 m e 8,92 m em X e Y, respectivamente.

Após a ortoretificação das imagens, realizou-se a fusão entre a CCD e a HRC pelos métodos IHS (Cilíndrico e Hexacônico) e PANSHARPENING.

Por fim, avaliou-se a fusão das imagens a partir dos seguintes índices: Coeficiente de Correlação, Média, Variância, Desvio Padrão, Bias, Diferença da Variância e Desvio Padrão da Imagem Diferença.

Como ferramenta para a execução dos processos de ortoretificação e fusão, o software PCI Geomatica 10.1 foi utilizado.

## 5. Resultados

### 5.1 Avaliação Qualitativa

As Figuras 2 (a) e (b) ilustram as imagens utilizadas para a realização das fusões, e nas Figuras 2 (c), (d) e (e) são apresentadas os resultados das imagens fusionadas.

Pode-se observar que, as imagens fusionadas apresentam uma riqueza de detalhes, integrando a resolução espacial da banda pancromática com a resolução espectral das bandas espectrais, produzindo uma imagem colorida que combina as duas características. Com relação à preservação de cores, a imagem obtida pelo método Pansharpening foi a que obteve o melhor resultado. Na imagem fusionada obtida pelo método IHS Cilíndrica, a região próxima aos “tonéis da refinaria” apresentou uma cor amarelada, não observado na imagem original CCD. Na imagem fusionada obtida pelo método IHS Hexacônica, a cor verde da vegetação aparece mais escura do que na imagem original CCD. Pode-se observar também,

que nas imagens fusionadas pelos métodos IHS, os alvos corpos d'água apresentam mudança na tonalidade de cor.



(a) CBERS 2B – CCD 20m.



(b) CBERS 2B – HRC 2,5m.



(c) Fusão IHS – Cilíndrica.



(d) Fusão IHS – Hexacônica.



(e) Fusão Pansharpening.

Figura 2 – Resultado das Fusões.

## 4.2 Avaliação Quantitativa

Para efeito da avaliação, as imagens fusionadas são reamostradas para o mesmo tamanho de pixel da imagem CCD, 20 m. Esta etapa é indispensável em função das imagens possuírem resolução espacial distintas (Telles Jr, 2008). A reamostragem pode ser feita por diferentes métodos de interpolação (Wald, 1997). Neste trabalho, o processo de reamostragem foi realizado usando o método de vizinho mais próximo porque este método não altera os valores estatísticos da imagem. No processo de interpolação, novos valores de níveis de cinza não são gerados, somente replicados os já existentes.

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os valores dos indicadores de qualidade obtidos para avaliação da eficiência dos métodos de fusão testados. Pode-se observar que, os valores obtidos estão próximos dos valores ideais dos indicadores descritos na seção 3.2, o que indica uma boa qualidade das fusões para o caso em análise. Único valor discrepante é a correlação da banda 2, que resultou em um valor 0,18 menor que as outras bandas b3 (0,33) e b4 (0,4).

Tabela 1 – Avaliação da fusão CCD-HRC pelo método IHS – Cilíndrico.

FUSÃO HIS CILINDRICA					
BANDAS	BIAS	CC	DV	SSD	RMSE
BANDA_2	0.4415	0,0400	-0.5970	-0.0846	0.4495
BANDA_3	0.3649	0,1100	-0.0106	-0.0021	0.3649
BANDA_4	0.2715	0,1000	0.1748	0.0277	0.2729

Tabela 2 – Avaliação da fusão CCD-HRC pelo método IHS – Hexacônico.

FUSÃO HIS HEXACÔNICA					
BANDAS	BIAS	CC	DV	SSD	RMSE
BANDA_2	0.4877	0.6600	-0.0661	-0.0110	0.4878
BANDA_3	0.4757	0,2600	0.3496	0.1054	0.4873
BANDA_4	0.4934	0.1600	0.5715	0.1496	0.5156

Tabela 3 – Avaliação da fusão CCD-HRC pelo método PANSHARPENING.

FUSÃO PANSHARPENING					
BANDAS	BIAS	CC	DV	SSD	RMSE
BANDA_2	-0.0073	0.1800	-0.0245	-0.0020	0.0076
BANDA_3	-0.0172	0.3300	-0.0850	-0.0116	0.0207
BANDA_4	-0.0109	0.4000	-0.1382	-0.0144	0.0181

A partir de uma rigorosa análise, pode-se dizer que a fusão pelo método PANSHARPENING apresentou melhor resultado em termos de preservação de cores e bom resultado em relação à inserção de detalhes no produto colorido. Porém, vale ressaltar que os resultados pelo método IHS (Cilíndrico e Hexacônico) foram plenamente satisfatórios, levando-se em conta que alguns alvos podem ter a sua cor alterada.

## 5. Considerações Finais

Realizando uma comparação visual entre as imagens antes e após as fusões, nota-se que as imagens fusionadas proporcionam uma melhor visualização dos detalhes, onde os mesmos aparecem realçados após a fusão, com destaque para a fusão pelo método PANSHARPENING.

Embora os resultados obtidos sejam satisfatórios, os mesmos poderiam ter sido ainda melhores se houvesse sido utilizado um DEM mais refinado, ou se o mesmo tivesse sido gerado a partir de curvas de nível em escala maior. Outro ponto importante que justifica a não obtenção de resultados ainda melhores diz respeito ao fato de da razão entre as resoluções

espaciais das imagens pancromática e multiespectrais ser superior ao valor de razão máxima recomendada de 5:1 (Zhang, 2002).

De qualquer forma, pela análise quantitativa dos resultados obtidos, pode-se inferir que os desempenhos dos métodos de fusão de imagens foram satisfatórios. Dentro da metodologia de emprego do método e de avaliação da qualidade, verificou-se que para cada imagem houve um indicador que se aproximou mais do adequado. Mas de modo geral, chegou-se à conclusão que o método de fusão PANSHARPENING foi mais adequado para a realização da fusão das imagens CBERS 2B (CCD e HRC) para os recortes de imagens utilizados.

### **Agradecimentos**

Ao suporte financeiro da CAPES, pela bolsa de pesquisa, e à Empresa Imagem, por ceder gentilmente a imagem Quickbird.

### **Referências**

- Foley, J. D.; Van Dam, A.; Feiner, S.K.; Hughes, J. F. **Computer graphics: principles and practice**. Reading, MA: Addison-Wesley, 1990. 1176p.
- Fonseca , L. G. M. et al. **Apostila de processamento digital de imagens**. São José dos Campos: INPE, jun. 2000.
- Li, J. **Spatial quality evaluation of fusion of diferent resolution images**. IAPRS. Vol. 33. Amsterdam, 2000.
- Pinho, C.M.D.; Rennó, C.D.; Kux, H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4225 – 4232. CD-ROM.
- Pitas, I. **Digital image processing algorithms**. Londres: Prentice Hall, 1995. 362p.
- Telles Jr, M. A. B. G. **Super-Resolução de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 2008. 118p. Tese de doutorado apresentada junto ao curso de Pós-Graduação em Geologia – Área de concentração Processamento de Dados em Geologia e Análise Ambiental, para obtenção do título de Doutor em Geologia – Universidade de Brasília, Brasília. 2008.
- TU, T.; SU, S.; SHYU, H.; HUANG, P.S. **Efficient intensity-hue-saturation-based image fusion with saturation compensation**. Optical Engineering, Redondo Beach, v.40, n.5, p.720-8, 2001.
- Wald, L., Ranchin, T., Mangolini, M. **Fusion of satellite images of different spatial resolutions: assessing the quality of resulting images**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 63, 6, pp. 691-699. 1997.
- Zhang, Yun. **Problems in the fusion of commercial high-resolution satellite, Landsat 7 images, and initial solutions**. ISPRS, Vol. 34, Part 4, “Geospatial Theory, Processing and Applications”, Ottawa, 2002.