

Fusão de imagens aplicada a estudos urbanos: avaliação de diferentes técnicas em imagens WorldView-2

Marcus Vinícius Alves de Carvalho*
Hermann Johann Heinrich Kux*
Teresa Gallotti Florenzano*
Maurício Alves Moreira*

* INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
DSR - Divisão de Sensoriamento Remoto
Av. dos Astronautas, nº 1.758 - Jardim da Granja
Caixa Postal 515 – CEP: 12.227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{carvalho, hermann, teresa, mauricio}@dsr.inpe.br

Abstract. There are several orbiting satellites with resolutions spectral, spatial, temporal and radiometric different. The amount of information generated by these sensors create a diverse and favorable environment for the development of various applications in remote sensing. Thus arises the need for techniques to synthesize and combine information in order to reduce the amount of data and produce better quality images. Within this context, the image fusion techniques have been used to combine information from different sources and produce synthetic images that incorporate the best features of the images. The fusion of images to match the colors of the multispectral images of low spatial resolution with the details of a panchromatic band which has better spatial resolution. Thus, the objective of this study is to evaluate different fusion techniques (Pan Sharpening, PC Spectral Sharpening and Gram-Schmidt) on satellite images WorldView-2 in municipality of São Paulo, Brazil. The best performance was obtained by the Pan Sharpening technique.

Palavras-chave: Digital image processing, Evaluation of fusion techniques, WorldView-2 images, , processamento digital de imagens, avaliação de técnicas de fusão, imagens WorldView-2.

1. Introdução

Para melhor aproveitamento das informações produzidas por diferentes sensores remotos, alguns métodos de processamento digital de imagens (PDI) têm sido propostos. Um destes métodos é a fusão de imagens que combina imagens de diferentes características espectrais e espaciais para sintetizar uma nova imagem com melhor resolução espacial do que a imagem multispectral original (BRYs, 2008). A fusão de imagens de sensoriamento remoto é efetuada tanto com diferentes bandas de um mesmo sensor quanto com bandas de diferentes sensores, sejam eles ópticos ou de micro-ondas (RADAR).

Segundo Small (2005), a paisagem urbana é composta por um vasto número de elementos e materiais caracterizando-a como sendo radiometricamente heterogênea e complexa. Para Fuckner et al. 2007, estas características tornam o uso de imagens de alta resolução espacial imprescindível para estudos intra-urbanos. Assim, as técnicas de fusão podem ser empregadas para melhorar a classificação de imagens em áreas urbanas, uma vez que a heterogeneidade espectral destas áreas em imagens de sensoriamento remoto pode conduzir a erros em sua classificação. Nesse sentido, este trabalho tem por objetivo avaliar diferentes técnicas de fusão (Pan Sharpening, Componentes Principais e Gram-Schmidt) em imagens do satélite *WorldView-2* da parte oeste do município de São Paulo para verificar qual delas apresenta melhor desempenho quanto à transferência de detalhes espaciais e conservação do conteúdo espectral.

2. Considerações teóricas

2.1 Fusão de imagens orbitais

Adami, et al (2007) enfatizam que as técnicas de fusão permitem integrar a melhor resolução espacial da banda pancromática à melhor resolução espectral das demais bandas,

produzindo uma imagem colorida que reúne ambas as características. Pinho, et al. (2005) destacam que, apesar de ser um processamento bastante difundido entre a comunidade de sensoriamento remoto, ainda há bastante controvérsia quanto à utilização de um termo específico para designá-lo. Na literatura a respeito, em língua inglesa, são encontrados três diferentes termos: *merging*, *fusion* e *pan sharpening*. Fusão de imagens é a operação de processamento que combina imagens diferentes com o objetivo de se obter um produto sintético final de melhor qualidade (Wald, 1997). A expressão “melhor qualidade” depende da finalidade da pesquisa. No caso das imagens dos sensores orbitais de resolução espacial muito alta, o termo “melhor qualidade” refere-se a uma imagem que reúna a informação espectral das bandas multiespectrais com a resolução espacial muito alta da banda pancromática. Como a finalidade deste trabalho é classificar tipos de cobertura do solo no ambiente intra-urbano, um produto final que reunisse resolução espacial muito alta e a informação espectral facilitaria a identificação e a distinção dos alvos urbanos (PINHO, 2005).

Zhang (2002), afirma que para serem alcançados resultados satisfatórios na realização da fusão, ou seja, integrar as informações de uma banda de alta resolução espacial com as informações de uma imagem multiespectral (alta resolução espectral) de baixa resolução espacial sugere-se que não seja excedida a razão de resolução espacial 1:4. As imagens de baixa e alta resolução espacial devem ser geometricamente registradas antes da fusão (SCHOWENGERDT, 2007). Fonseca (2000) destaca que, em aplicações de sensoriamento remoto, as imagens devem apresentar um erro de registro de no máximo 0,5 *pixel*. Segundo Silva (2009), outro fator relevante é que o intervalo espectral abrangido pelas bandas de alta resolução (pancromática) corresponda, o máximo possível, àquele compreendido nas imagens de baixa resolução (multiespectrais).

O tempo de aquisição nunca será rápido o suficiente para evitar que, por exemplo, um avião seja detectado no mesmo lugar pelas bandas LR (*low resolution*) e HR (*high resolution*). Em áreas urbanas é comum perceber isto em via expressas e avenidas em função dos veículos em movimento que geram cores fictícias (PINHO, 2005). A consequência disso é o aparecimento de artefatos (falsos alvos) na imagem fusionada (SILVA, 2009).

2.2 Técnicas de fusão de imagens

Segundo Fonseca (2000), as técnicas de fusão de imagens consistem basicamente em integrar a melhor resolução espacial da banda pancromática com a melhor resolução espectral das demais bandas, produzindo imagem colorida que reúne ambas as características. Atualmente existem diferentes técnicas de fusão de imagens orbitais.

Neste trabalho foram avaliados os desempenhos das seguintes técnicas: Pan Sharpening, Componentes Principais e Gram-Schmidt. Estes métodos foram escolhidos, uma vez que, não possuem restrição ao número de bandas utilizadas no processo de fusão.

2.2.1 Pan Sharpening

O método Pan Sharpening trabalha com dados de imagens em 8 bits, 16 bits, 32 bits, e pode fusionar imagens adquiridas simultaneamente pelo mesmo sensor ou provenientes de diferentes sensores (LEONARDI et al., 2009). Segundo Zhang (2002), 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.

2.2.2 Componentes Principais

BRYS (2008) relata que, as análises por Componentes Principais foram empregadas como um meio de reduzir o volume de dados e, ao mesmo tempo, melhorar o contraste das

imagens. Pode-se concentrar a maior parte das informações de um conjunto de imagens, em apenas uma imagem sintética: a primeira componente, a qual também tem alto poder de contraste das feições. O método da fusão de imagens por principais componentes baseia-se na substituição da primeira componente pela imagem de maior resolução espacial, a qual pode ser contrastada de forma a ter média e variância próximas às da primeira componente.

2.2.3 Gram-Schmidt

Este procedimento, assim como o de Componentes Principais, é uma operação sobre vetores com o objetivo de torná-los ortogonais. O processo de fusão tem início com a simulação de uma banda pancromática a partir das bandas multiespectrais de baixa resolução espacial. Em seguida, uma transformação de Gram-Schmidt é aplicada à banda pancromática simulada e às bandas multiespectrais, na qual a pancromática simulada é empregada como a primeira banda. Então, a primeira banda Gram-Schmidt é trocada pela banda pancromática de alta resolução e uma transformação inversa é aplicada para formar a imagem sintética de saída (ITT, 2009).

3. Avaliação das fusões

Além da percepção visual, existem índices que podem expressar quantitativamente a qualidade espectral e espacial das imagens fusionadas (SILVA, 2009). Neste trabalho foram adotados os seguintes índices: Bias, Diferença da Variância, Desvio Padrão da Imagem Diferença, Raiz do Erro Médio Quadrático.

3.1 Bias

O BIAS (Equação 1) é uma medida muito simples que determina a diferença entre a média da imagem original e a média da imagem fusionada (SILVA, 2009).

$$Bias = \frac{\mu_{LR} - \mu_{HR}}{\mu_{LR}} \quad (1)$$

onde, μ_{LR} é a média da imagem LR de baixa resolução e μ_{HR} é a média da imagem HR de alta resolução. Quanto mais próximo de zero for o valor deste índice mais semelhante será a imagem fusionada e a imagem original, isto é, melhor a qualidade espectral do resultado.

3.2 Diferença da Variância

Segundo Leonardi et al. (2009), a diferença da variância (DV) corresponde à relação normalizada entre a diferença das variâncias das imagens LR e HR (Equação 2). 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.

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

3.3 Desvio Padrão da Imagem Diferença

A medida de Desvio Padrão da Diferença (SSD) é calculada sobre uma imagem gerada pela diferença entre a imagem original e a imagem fusionada (Equação 3). Ele indica o nível de erro nos pixels da imagem e o seu valor ideal é zero (WALD, 1997).

$$SSD = \frac{\sigma(LR - HR)}{\mu_{LR}} \quad (3)$$

3.4 Raiz do Erro Médio Quadrático

Corresponde à raiz quadrada da soma dos quadrados do Bia e do SSD (Equação 4) e indica o grau de similaridade entre as imagens LR e HR. O seu valor ideal é zero.

$$RMSE = \sqrt{Bias^2 + SSD^2} \quad (4)$$

4. Materiais e Métodos

4.1 Imagens e softwares

Neste trabalho foram utilizadas imagens WorldView-2 de um setor (oeste) do município de São Paulo (Figura 1): modos pancromático, com resolução espacial de 0,5 m, e multiespectral, com resolução de 2,0 m.

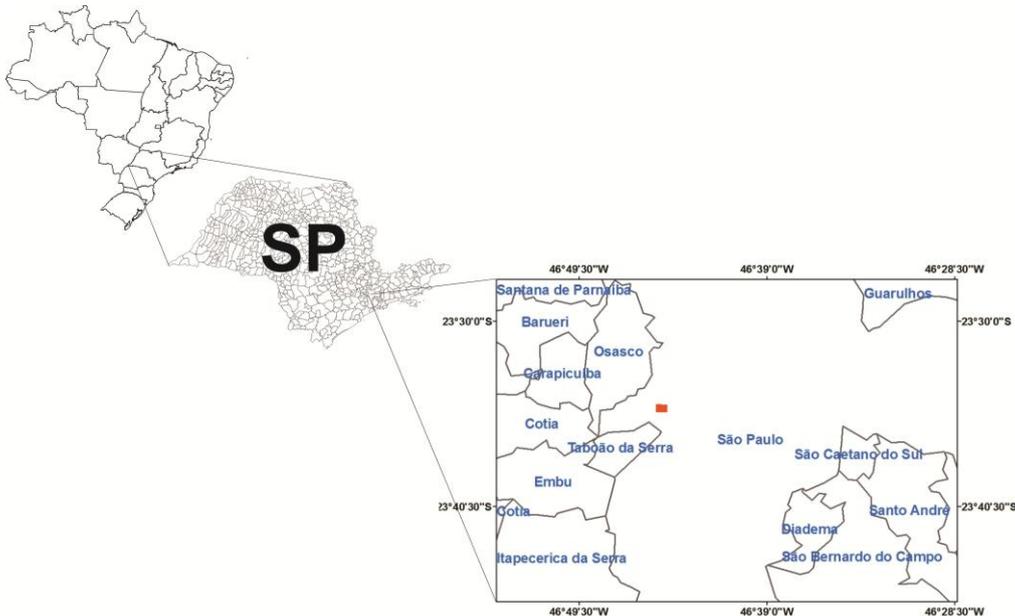


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo.

A característica mais marcante deste novo sistema (lançado em outubro de 2009), a disponibilidade de oito bandas multiespectrais: Azul Costeiro (*Coastal Blue*), Azul (*Blue*), Verde (*Green*), Amarelo (*Yellow*), Vermelho (*Red*), Vermelho Limítrofe (*Red-Edge*), Infra-Vermelho Próximo-1 (*NIR-1*) e Infra-Vermelho Próximo-2 (*NIR-2*), conforme Figura 2. As imagens possuem resolução radiométrica de 11 bits e foram adquiridas em 24 de junho de 2010.

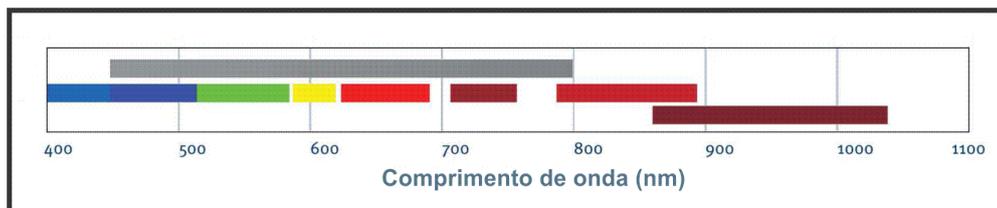


Figura 2. Intervalos espectrais das oito bandas do WorldView-2.

Fonte: adaptado de DigitalGlobe (2010).

Os softwares utilizados neste estudo foram o ENVI (*Environment for Visualizing Images*) versão 4.7 e o ENVI EX, também na versão 4.7.

4.2 Metodologia

As imagens de alta resolução e de baixa resolução espacial foram fusionadas no software ENVI 4.7 (Componentes Principais e Gram-Schmidt) e no software ENVI EX 4.7 (Pan Sharpening). Para efeito da avaliação, as imagens fusionadas foram reamostradas para o mesmo tamanho de *pixel* da imagem Multiespectral (2,0 m). Na reamostragem foi utilizado método do vizinho mais próximo, uma vez que este método apenas atribui o valor do nível de cinza de determinado *pixel* da imagem reamostrada ao *pixel* da imagem original que estiver mais próximo, alterando pouco, os valores originais.

5. Resultados e Discussão

5.1 Avaliação Qualitativa

Segundo Li (2000), a avaliação visual (caráter subjetivo) é o primeiro critério utilizado, pois possibilita 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.

Na Figura 3 é possível observar em “a” a imagem pancromática (alta resolução espacial: 0,5 m) e em “b” a imagem multiespectral (baixa resolução espacial: 2,0 m) que foram utilizadas no trabalho para realizar as fusões.

Nas Figuras 4 “a” e “b” estão representados, respectivamente, os resultados das técnicas fusão Pan Sharpening e Componentes Principais e na Figura 5 está representado o resultado obtido da técnica Gram-Schmidt.

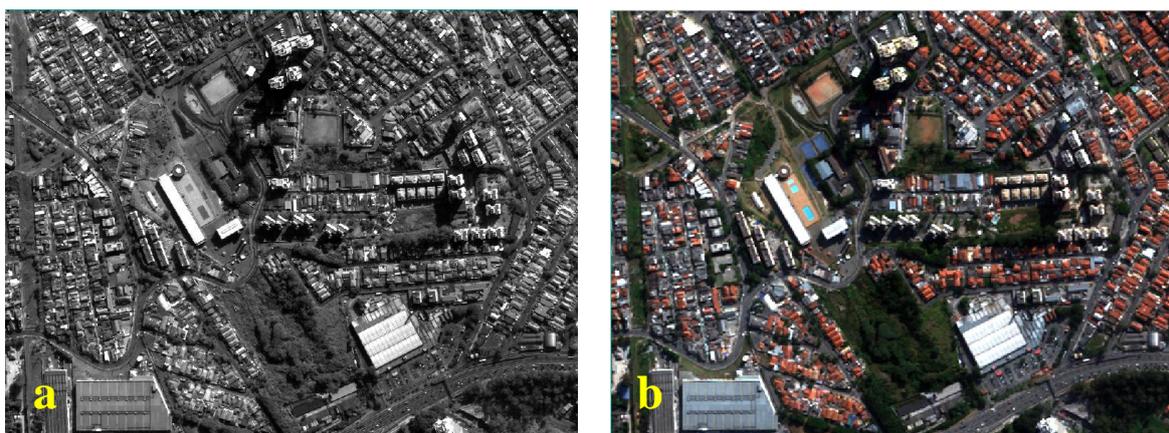


Figura 3. Imagem pancromática com resolução espacial de 0,5 m (a) e imagem multiespectral (b) com resolução espacial de 2,0 m (composição colorida R5G3B2).

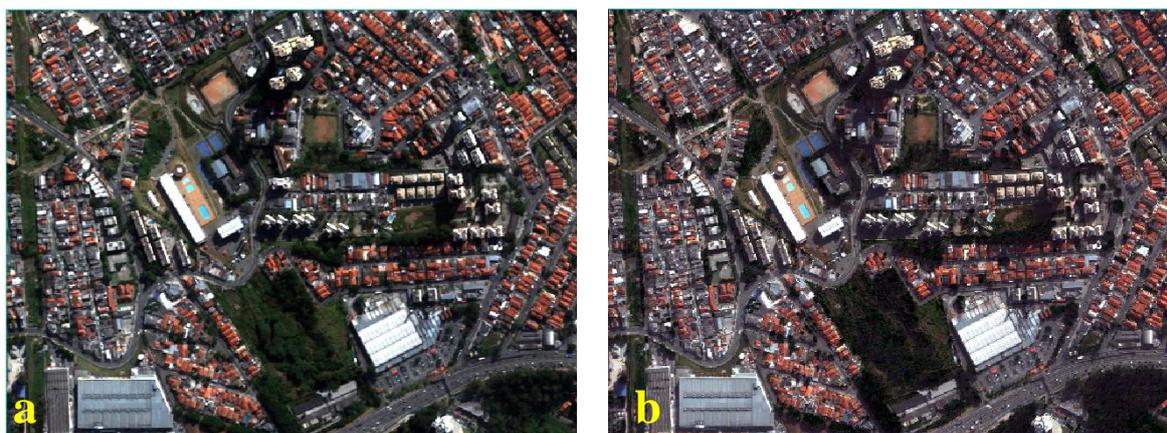


Figura 4. Resultado da fusão pelo método Pan Sharpening (a) e por Componentes Principais (b).

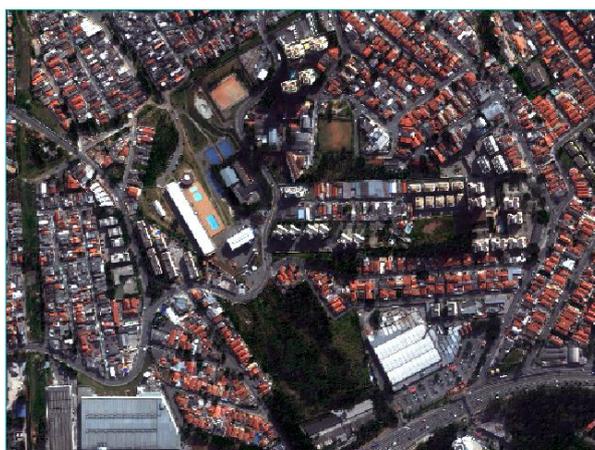


Figura 5. Resultado da fusão pelo método Gram-Schmidt.

Ao avaliar as imagens que apresentam os resultados das fusões, verifica-se que o melhor desempenho foi obtido com o uso do método Pan Sharpening (Figura 4 “a”). Na imagem resultante da aplicação deste método, a vegetação apresenta cores mais “vivas”, com tons bem naturais, mais próximos do real, como captado pela vista humana. Ainda se tratando do Pan Sharpening, as sombras também ficaram bem mais escuras na imagem resultante, comparada as resultantes da aplicação dos outros dois métodos de fusão (ocultando completamente a informação próxima a ela). Na imagem resultante do método Gram-Schmidt (Figura 5) a vegetação rasteira é que apresenta tons próximos ao natural. Já a vegetação arbórea está um pouco mais clara que na imagem obtida da aplicação das Componentes Principais (Figura 4 “b”). Neste caso, a vegetação aparece em tons bem escuros.

Com relação aos telhados cerâmicos, também se observam tons mais “vivos” na imagem proveniente do método Pan Sharpening (Figura 4 “a”). Para este tipo de alvo, o resultado obtido das Componentes Principais (Figura 4 “b”) foi melhor do que o obtido com o Gram-Schmidt (Figura 5). Quanto ao solo exposto, está bem destacado nas três imagens, o que mostra um desempenho semelhante dos métodos utilizados. A imagem proveniente do método Gram-Schmidt (Figura 5) quando observada no todo, apresenta cores bem mais esmaecidas, parecendo um efeito de névoa.

5.2 Avaliação Quantitativa

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os valores dos índices calculados para avaliar a eficiência dos três métodos de fusão que foram testados.

Tabela 1 – Índices calculados para o método Pan Sharpening.

PAN SHARPENING				
Banda	BIAS	DV	SSD	RMSE
5	0.1367	-0.2930	0.0723	0.3399
3	0.2264	-0.0116	-0.0322	0.3712
2	0.2301	-0.0632	0.0344	0.1788

Tabela 2 – Índices calculados para o método Componentes Principais.

COMPONENTES PRINCIPAIS				
Banda	BIAS	DV	SSD	RMSE
5	0.5078	-0.0697	-0.0230	0.4611
3	0.4960	-0.4455	0.1068	0.3877
2	0.4824	0.7623	0.1333	0.4315

Tabela 3 – Índices calculados para o método Gram-Schmidt.

GRAM-SCHMIDT				
Banda	BIAS	DV	SSD	RMSE
5	-0.0099	0.0541	-0.0033	0.0159
3	-0.0198	-0.0881	-0.0123	0.0027
2	0.0301	-0.1840	0.0333	0.0199

A partir da análise dos resultados dos índices gerados (tabelas 1, 2 e 3), podemos constatar o que foi observado na análise visual das imagens, ou seja, que o melhor desempenho foi da técnica de fusão de imagens de sensores remotos Pan Sharpening. Sua aplicação permitiu obter o melhor resultado quanto à capacidade de transferência de detalhes e conservação do conteúdo espectral.

6. Conclusões

A partir da análise qualitativa e quantitativa dos resultados obtidos com a aplicação das técnicas de fusão em imagens WorldView-2, de um setor do município de São Paulo, concluiu-se que o melhor desempenho foi obtido com a técnica Pan Sharpening. Considerando a heterogeneidade e a representatividade da área de estudo, esses resultados indicam a viabilidade do uso da técnica Pan Sharpening em imagens de sensores remotos de outras regiões urbanas.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa ao primeiro autor e à empresa *DigitalGlobe* por gentilmente ceder as imagens WorldView-2 utilizadas neste estudo.

8. Referências Bibliográficas

ADAMI, M.; DEPPE, F.; RIZZI, R.; MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T.; FONSECA, L. M. G.; FARIA, R. T.; FREITAS, C. C.; D'ARCO, E. Fusão de imagens por IHS para identificação de uso e cobertura do solo em elementos amostrais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 1-8. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. (INPE-14673-PRE/9647). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.17.21.40>>. Acesso em: 10 out. 2010.

BRYNS, L. M. **Página dinâmica para aprendizado do sensoriamento remoto**. 2008. 172 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2008. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/13788>>. Acesso em: 15 out. 2010.

DIGITALGLOBE. **Feature Classification: WorldView-2**. Longmont. 2010. Disponível em: <<http://www.digitalglobe.com/downloads/spacecraft/FeatureClassification-DS-FEAT.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2010.

FONSECA, L.M.G. **Processamento digital de imagens**. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – São José dos Campos), 2000. Apostila curso disciplina SER-437 Processamento Digital de Imagens de Sensores Remotos – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto.

FUCKNER, M. A.; ROSA, V. G. C.; ROSEMBACK, R. Análise comparativa da aplicação de transformações radiométricas e técnicas de fusão de imagens em área urbana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6343-6350. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. (INPE-16376-PRE/10954). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.17.39>>. Acesso em: 27 set. 2010.

ITT Visual Information Solutions. **ENVI User's Guide**. ENVI Version 4.7. Edição de Agosto de 2009.

LEONARDI, F.; OLIVEIRA, C. G.; FONSECA, L. M. G.; ALMEIDA, C. M. Fusão de Imagens CBERS 2B: CCD-HRC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 6951-6958. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15913-PRE/10523). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.16.12.28>>. Acesso em: 02 nov. 2010.

LI, J. **Spatial quality evaluation of fusion of different resolution images**. IAPRS. Vol. 33. Amsterdam, 2000.

PINHO, C. M. D. **Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos-SP**. 2005. 178 p. (INPE-14183-TDI/1095). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/11.23.13.40>>. Acesso em: 13 out. 2010.

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, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4225-4232. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. (INPE-12768-PRE/8058). Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.22.20.14>>. Acesso em: 01 set. 2010.

SILVA, F. C. **Implementação e avaliação de métodos de fusão para geração de imagens coloridas de alta resolução**. 2009. 89 p. (INPE-15730-TDI/1476). Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/m18@80/2009/01.27.14.15>>. Acesso em: 05 nov. 2010.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing**. 3ª ed. San Diego: Academic, 2007. 515p.

SMALL, C. A Global analysis of urban reflectance. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 4, p. 661- 681. 2005.

WALD, L. Some terms of reference in data fusion. **IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing**. v. 37, n. 3, p.1190-1193, 1997.

ZHANG, Y. Problems in the fusion of commercial high-resolution satellite, Landsat 7 images, and initial solutions. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 34, Part 4, Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa, 2002.