

Comparação de Técnicas de Fusão Aplicadas à Imagem Quickbird-2

Vagner Alex Pesck¹, Attilio Antonio Disperati² (*in memoriam*),
João Roberto dos Santos³

¹Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO

²Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo testar quatro técnicas de fusão para melhoria da qualidade espacial da imagem Quickbird-2. As técnicas testadas foram: HSV e Brovey utilizando três bandas espectrais na composição colorido normal (3R2G1B), *Gram-Schmidt* e Principais Componentes utilizando as quatro bandas disponíveis na imagem. A área de estudo está inserida na Floresta Nacional de Irati, Estado do Paraná com 1600 ha. Analisando a qualidade visual das imagens fusionadas, os melhores resultados, em face de melhor conservação de cores, foram gerados pela técnica de *Gram-Schmidt* e Principais Componentes. Quanto à fidelidade espectral das imagens fusionadas (média e desvio padrão) com relação à multiespectral original, a técnica de Principais Componentes, preservou melhor o contraste da imagem original, mas a técnica de *Gram-Schmidt* forneceu melhor resultado quanto à conservação do brilho da imagem. Neste trabalho, pode-se concluir que qualquer uma das imagens fusionadas geradas pelas técnicas de Principais Componentes e *Gram-Schmidt* pode ser usada para atividade de mapeamento temático por gerar imagem de melhor qualidade em relação às demais técnicas testadas.

Palavras-chave: fidelidade espectral, fusão de imagens, Quickbird 2.

Comparison of Fusion Techniques Applied Image Quickbird-2

ABSTRACT

This study aimed to test four fusion techniques in order to improve the spatial quality of the Quickbird-2 satellite image. The four techniques used were the following: HSV and Brovey, utilizing three spectral bands in a color composite (3R2G1B); Gram-Schmidt and Principal Components, using the four spectral bands available in the image. The study area was a part of the 'Irati' National Forest in the State of Parana, Brazil. The image used was from the Quickbird-2 satellite, with one panchromatic and four multi-spectral bands. Analyzing the visual quality of the fused images, the best results, due to better retention of color, were generated by the Gram-Schmidt and Principal Components techniques. As the spectral fidelity of the fused images concerns the original multi-spectral, the Principal Component technique preserved the contrast of the original image better, while the Gram-Schmidt technique provided better results concerning the preservation of image brightness. Any of the fused images generated by the Gram-Schmidt and Principal Components methods can be used for thematic mapping activity to generate better picture quality compared to the original image.

Keywords: spectral fidelity, image fusion, Quickbird 2.

1. INTRODUÇÃO

Para melhor aproveitamento das informações produzidas por diferentes sensores, alguns métodos de processamento digital de imagens têm sido propostos (Ventura, 2002). Estas técnicas combinam imagens de diferentes características espectrais e espaciais para sintetizar uma nova imagem com melhor resolução espacial do que a imagem multiespectral original. A estas técnicas dá-se o nome de fusão de imagens.

Técnicas de fusão de dados são amplamente utilizadas na comunidade científica para explorar a potencialidade dos dados complementares (Pohl & van Genderen, 1998). Isto é devido à quantidade crescente de dados multiespectrais adquiridos pelos novos sensores espaciais, tais como IKONOS-2 e Quickbird-2. A utilidade dos dados fusionados tem sido demonstrada em diversas aplicações ambientais, (Couloigner et al., 1998; Fanelli et al., 2001; Gonzáles Audicana & Seco, 2002; Yang et al., 2000). Há uma variedade de técnicas de fusão, que têm sido propostas na literatura (Wang et al., 2005; Chavez Junior et al., 1991; Zhang, 2002), visando melhorar a qualidade (qualitativa e/ou quantitativa) das imagens de satélite. Por este fato, a qualidade resultante de uma imagem fusionada está relacionada a fatores espaciais, radiométricos e espectrais e, portanto, diferentes técnicas têm sido desenvolvidas visando objetivos diferentes.

A transformação *Brovey* consiste numa combinação aritmética entre uma imagem multiespectral de baixa resolução espacial representada no espaço RGB e uma imagem pancromática de alta resolução. No processo em questão, cada banda da imagem multiespectral é multiplicada pela razão da imagem pancromática dividida pela soma das bandas da imagem multiespectral (Vrabel, 1996). A fusão *Brovey* possui as mesmas limitações da IHS, pois trabalha com o sistema de cores RGB.

HSV é a sigla para *hue*, *saturation* e *value*, que significam, respectivamente, matiz, saturação e brilho. É um espaço de cor mais uniforme que o espaço RGB e que separa a cromaticidade da luminância. Matiz é a cor pura dominante percebida pelo observador. Saturação é o quanto a cor pura

dominante (matiz) é diluída pela luz branca. Brilho (ou valor) é a quantidade de luz refletida (claro/escuro), ou a quantidade de luz branca na cor (Nuñez, 2006). A transformação RGB-HSV separa a informação acromática (valor) e cromática (matiz e saturação) de uma imagem RGB (Schneider et al., 2003). No método de fusão pela transformada HSV, três bandas espectrais de baixa resolução espacial são transformadas do espaço RGB de cores para o espaço HSV. A componente V é substituída pela imagem PAN, e é efetuada a operação inversa, retornando para o espaço RGB (Schneider et al., 2003).

A fusão por Principais Componentes (PC) inicia-se com a transformação das bandas multiespectrais (sem limitação do número de bandas) em um mesmo número de componentes não correlacionadas. A primeira componente principal (CP1) é substituída pela banda pancromática que antes passa por um processo de equalização de média e variância para que fique a mais parecida possível com a CP1. Em seguida é realizada uma transformação inversa.

O método de *Gram-Schmidt* (GS), assim como o de Principais Componentes, é uma operação sobre vetores com o objetivo de torná-los ortogonais (maiores detalhes desta transformação podem ser encontrados em Smith, 2007). A fusão inicia-se com a simulação de uma banda pancromática a partir das bandas multiespectrais de baixa resolução espacial. Em sequência, a transformação de *Gram-Schmidt* é aplicada à banda pancromática simulada e às bandas multiespectrais, e 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 (RSI, 2009).

Os métodos de substituição de componentes (CS) ou fusão de imagens por substituição, tais como aqueles baseados em IHS (Carper et al., 1990; Edwards & Davis, 1994; Liu, 2000; Tu et al., 2001), sobre a transformação *Brovey* (Gillespie, 1987) e na análise dos Componentes Principais (Schowengerdt, 1997), têm sido testados para melhorar a qualidade das imagens. Estas técnicas citadas acima são rápidas de serem processadas computacionalmente, resultam em bom desempenho espacial e são úteis para muitas

tarefas de interpretação visual (Wang et al., 2005), mas os métodos PC e IHS são altamente sensíveis ao desalinhamento das bandas, como acontece para algumas imagens de alta resolução, tais como IKONOS-2 (Zhang, 2004). Por isso, nesse contexto, a técnica de *Gram-Schmidt* (GS) foi desenvolvida para melhorar a precisão dos métodos CS.

O presente trabalho teve como objetivo testar e avaliar as técnicas de fusão *HSV*, *Brovey*, *Gram-Schmidt Spectral Sharpening* e *Principais Componentes* aplicadas a imagens do sensor Quickbird-2 para identificação de alvos como vegetação estradas e agricultura, que posteriormente serão utilizadas para classificação da área de estudo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo, com aproximadamente 600 ha, está inserida na Floresta Nacional de Irati (FLONA de Irati), nos municípios de Fernandes Pinheiro e Teixeira Soares, e a aproximadamente 150 km oeste de Curitiba - Estado do Paraná. Com área de 3.495 ha, a FLONA tem 36% (1.272,9 ha) de floresta nativa com predominância de araucária e com o sub-bosque rico em espécies folhosas como *Ilex paraguariensis*, *Ocotea porosa*, *Ocotea odorifera*, *Cedrela fissilis* entre outras. Segundo a classificação climática de Köppen, a região tem clima do tipo Cfb com geadas frequentes no inverno. A temperatura média máxima é de 24,2 °C e a média mínima de 11,0 °C. A precipitação média mensal é de 193,97 mm e a umidade relativa média mensal do ar, de 79,58%.

Foi utilizada a imagem Quickbird-2 (11bits) obtida em março de 2008, com resolução espacial de 60 cm no modo pancromático e 2,4 m no modo multiespectral e com quatro bandas multiespectrais: banda 1 (azul), banda 2 (verde), banda 3 (vermelho) e banda 4 (infravermelho próximo). A banda pancromática recobre todo o intervalo das bandas multiespectrais, fator importante na conservação de cores da imagem sintética (Fusionada). Para a realização dos testes foi utilizado o programa ENVI 4.6.1.

As bandas multiespectrais e a pancromática da imagem Quickbird-2 foram fusionadas com o objetivo de melhorar a resolução espacial das imagens. Para esse estudo, foram testadas quatro técnicas de fusão disponíveis no *software* ENVI 4.6.1:

HSV (três bandas), *Color Normalized (Brovey)* (três bandas), *Gram-Schmidt Spectral Sharpening* (quatro bandas) e *Principais Componentes* (quatro bandas). As bandas selecionadas para participarem da fusão foram as bandas 1, 2 e 3 para as fusões com 3 bandas e foi incluída a banda 4 (infravermelho próximo) nas fusões com 4 bandas.

Para analisar o resultado das fusões, foram realizados dois testes, sendo o primeiro uma análise visual entre os resultados das diversas técnicas de fusões utilizadas e a imagem multiespectral original. No segundo teste, foi verificada a fidelidade espectral das imagens fusionadas com relação à imagem multiespectral original. Como as imagens fusionadas possuem resoluções espaciais diferentes em relação à imagem original, não foi possível compará-las diretamente. Sendo assim, a imagem Quickbird-2 (pancromática e multiespectral) teve de ser reamostrada, de tal forma que as imagens fusionadas tivessem a mesma resolução espacial da imagem multiespectral original. A fusão entre as imagens degradadas é considerada uma fusão simulada somente para efeito de avaliação. No presente estudo, a imagem pancromática original foi degradada para resolução de 2,4 m e a multiespectral original para 9,6 m. A fusão entre essas duas imagens gerou uma nova imagem fusionada com resolução de 2,4 m. Para a comparação das imagens, foram utilizadas a média, desvio padrão e correlação entre bandas. Para efeito de comparação entre as bandas da imagem original e das fusionadas, os histogramas de cada imagem foram plotados para melhor visualização.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Podemos analisar na Figura 1 o resultado das técnicas de fusão testadas neste presente trabalho.

Em todas as imagens fusionadas neste presente trabalho, foi possível ver o ganho em detalhes, como estradas mais visíveis e, principalmente, a vegetação ficou com melhor definição.

Após a aplicação das técnicas de fusão na imagem Quickbird-2, os resultados mostraram visualmente melhor conservação de cores em *Principais Componentes* e *Gram-Schmidt*, empregando as 4 bandas multiespectrais (Figura 2b e 2e). Todas as técnicas testadas produziram imagens fusionadas

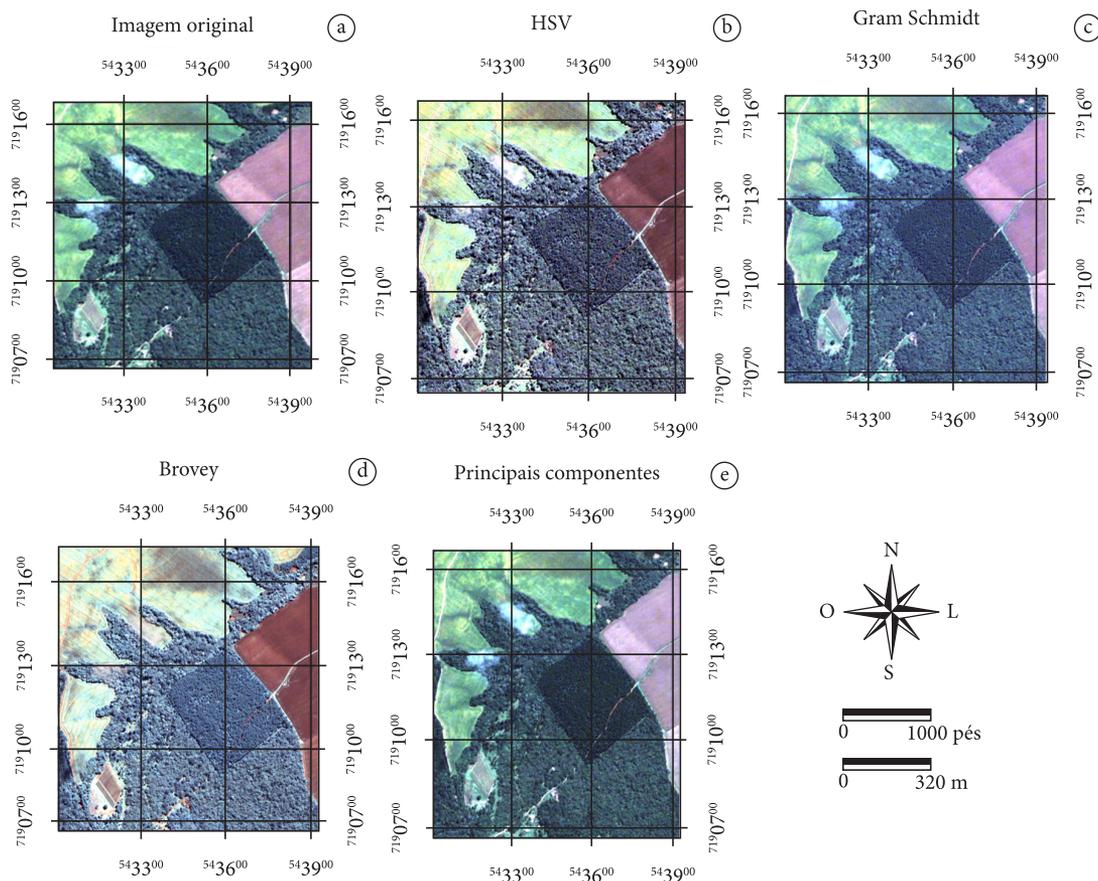


Figura 1. Comparação entre a imagem multiespectral original (a) e as técnicas de fusão testadas.
Figure 1. Comparison between the original multispectral image (a) and fusion techniques tested.

com uma variação de cores bastante significativa em comparação com a imagem original, destacando-se as fusões *HSV* e *Brovey* que apresentaram, nas áreas com vegetação, cores variando do verde brilhante até o azul escuro. Nas técnicas que utilizaram três e quatro bandas, verificou-se uma diferença de tonalidade também para as áreas cobertas com vegetação. Nas fusões com três bandas, a cor da vegetação ficou com tom verde mais brilhante.

Estes dois problemas detectados acima são decorrentes da amplitude espectral da imagem pancromática do sensor Quickbird-2, que se estende até o infravermelho próximo, região do espectro onde a vegetação possui resposta muito alta (Pinho et al., 2005). Desta forma, processos de fusão que utilizam as imagens do referido sensor devem incorporar a banda 4 (infravermelho) para que não apresentem grandes mudanças de cores. O

mesmo autor também encontrou que, em relação à conservação de cores, o melhor resultado foi obtido pela técnica de Principais Componentes.

Luz (2009), utilizando o sensor ALOS Palsar, verificou que as fusões pelo método *Gram-Schmidt* apresentaram as cores mais vibrantes, principalmente na operação que utilizou as quatro bandas. O método *Brovey* apresentou cores semelhantes ao método *Gram-Schmidt* com quatro bandas, apresentando tons azulados por toda a imagem, o que não pode ser verificado neste trabalho, sendo que as fusões que apresentaram mais semelhanças foram às técnicas de *Gram-Schmidt* e Principais Componentes.

Santurri et al. (2010) estudaram a qualidade das imagens fusionadas para mapear o deslizamento de terra. A avaliação foi feita através de uma escala de detecção baseada em interpretação qualitativa da imagem, com base em cinco níveis de classificação,

sendo: 5 (insuficiente), 4 (mau), 3 (médio), 2 (bom), 1 (excelente) para as classes de textura, cor e contraste. Para estes autores, os métodos de Principais Componentes e o de *Gram-Schmidt* forneceram os melhores resultados no contexto da detecção de deslizamento de terra entre os métodos de fusão testados.

No segundo teste, foi analisada a fidelidade espectral das imagens fusionadas com relação à multiespectral original. Na Tabela 1, são

apresentados os valores de média dos pixels, desvio padrão e correlação para a imagem multiespectral e para as fusões.

Pode-se observar que a média e o desvio padrão do método HSV se mostraram bem diferentes dos valores da imagem original. A média e o desvio padrão estão relacionados com o brilho e contraste da imagem, respectivamente (Luz, 2009). Havendo uma menor variação na média, o brilho é conservado.

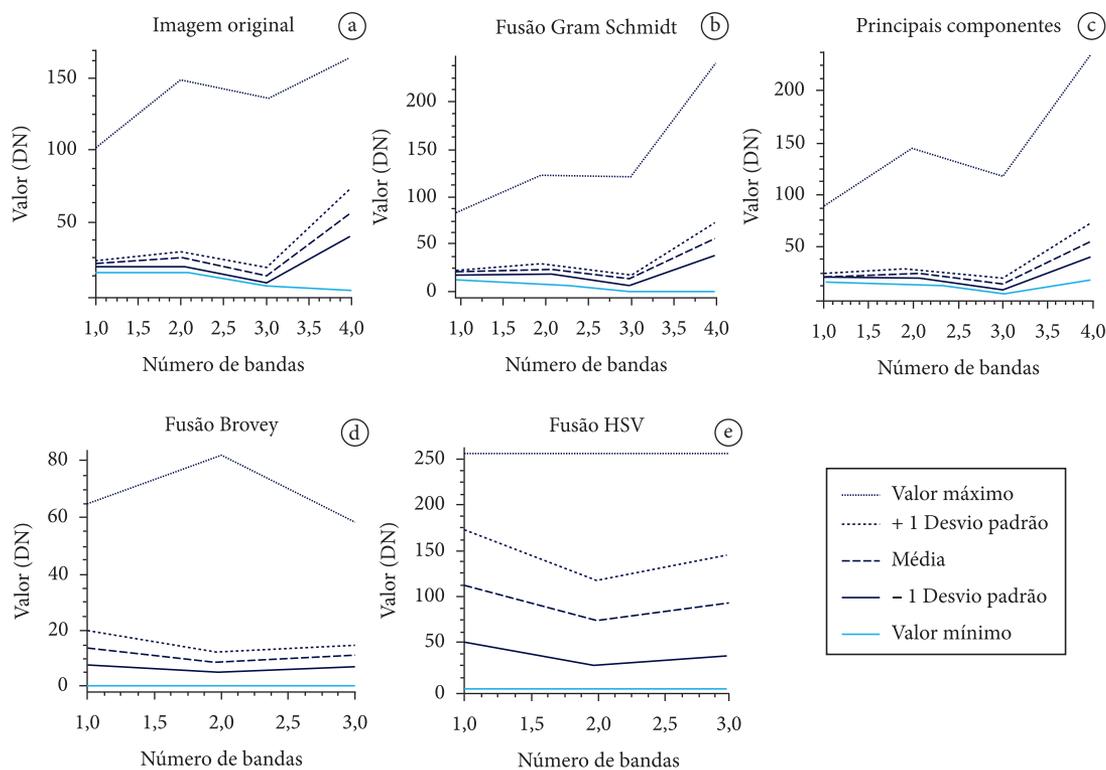


Figura 2. Histogramas comparando imagem original e imagem simulada.
Figure 2. Histograms comparing the original image and image simulated.

Tabela 1. Comparação entre os parâmetros estatísticos da imagem multiespectral original e da sintética simulada.
Table 1. Comparison between statistical parameters of the original multispectral image and the synthetic simulated.

Método	Banda 1			Banda 2			Banda 3			Banda 4			Média
	Média	DP	Cor.										
Orig.	19,7	1,9	1	24,1	4,8	1	12,2	5,4	1	56,3	16,6	1	1,00
HSV	111,4	60,7	0,75	72,8	46,8	0,92	90,6	54,2	0,92	-	-	-	0,92
Brovey	13,5	5,6	0,37	8,4	3,7	0,75	10,6	3,8	0,75	-	-	-	0,75
GS	19,7	1,9	0,92	24,2	4,8	0,92	12,3	5,6	0,93	56,1	16,9	0,39	0,93
PC	19,7	2,0	0,95	24,4	5,1	0,95	12,4	5,8	0,95	56,8	14,5	0,55	0,95

Orig. = imagem original; GS = *Gram Schmidt*; DP = desvio padrão; PC = principais componentes; Cor. = correlação.

Uma menor variação entre os valores de desvio padrão demonstra melhor preservação do contraste da imagem (Pinho et al., 2005). Por outro lado, a técnica de fusão HSV teve alta correlação entre as bandas devido à banda pancromática apresentar um intervalo espectral que engloba o intervalo das três bandas multiespectrais de entrada. Segundo Fuckner (2007), a fusão pela técnica IHS apresenta bons resultados quanto à representação de cores somente quando a imagem pancromática apresenta um intervalo espectral que engloba o intervalo das três bandas multiespectrais de entrada. Apesar de o sistema de cores HSV não ser o mesmo do IHS, o princípio da técnica de fusão é o mesmo. Luz (2009) obteve baixa correlação (0,318) testando esta técnica por utilizar a composição falsa cor devido a banda 4 (infravermelho próximo) englobar apenas uma pequena parte da banda pancromática, sendo que, neste trabalho, esta mesma técnica obteve correlação de 0,92, sendo ligeiramente maior que o resultado obtido por Luz (2009).

Na fusão, a técnica Principais Componentes resultou em uma menor variação entre os valores de desvio padrão, ou seja, preservou-se melhor o contraste da imagem original. Já a técnica de *Gram-Schmidt* forneceu melhores resultados para o valor média, indicando uma conservação do brilho da imagem.

A comparação entre os histogramas (imagem original / imagem simulada) também revelou resultados interessantes como mostra a Figura 2.

Novamente o melhor desempenho foi obtido pelas técnicas Principais Componentes e *Gram-Schmidt*, sendo que a primeira apresentou histogramas mais coerentes com a imagem original.

Com base nos dois testes efetuados, podemos verificar que as técnicas de *Gram-Schmidt* e Principais Componentes se mostraram superiores às demais técnicas (*HSV e Brovey*) testadas neste presente estudo.

4. CONCLUSÕES

Considerando a qualidade visual das imagens fusionadas e, principalmente, devido à melhor conservação das cores, as técnicas de *Gram-Schmidt*

e Principais Componentes forneceram os melhores resultados. Em relação à fidelidade espectral das imagens fusionadas relativas à multiespectral original, a técnica de fusão Principais Componentes preservou melhor o contraste da imagem original, mas a técnica de *Gram-Schmidt* forneceu melhor resultado quanto à conservação do brilho da imagem.

A imagem Quickbird-2 se mostrou eficiente para a identificação de alvos, sendo as técnicas de Principais Componentes e *Gram-Schmidt* ligeiramente superiores às demais técnicas testadas.

Recomenda-se testar novas técnicas de fusão e a utilização de outros sensores como Worldview-2 e Geoeye, inserindo novos tipos de alvos como áreas urbanas, reflorestamentos, corpos de água, etc.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); à Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná (UNICENTRO); o suporte técnico à SULSOFT; e ao Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho a aquisição da imagem, que, juntamente, contribuíram para a realização deste projeto.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 02/12/2010

Aceito: 20/06/2011

Resumo publicado online: 25/06/2011

Artigo completo publicado: 30/06/2011

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Vagner Alex Pesck

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, PR-153, Km 7, Bairro Riozinho, CEP 84500-000, Irati, PR, Brazil
e-mail: vagneralex@yahoo.com.br

Attilio Antonio Disperati (*in memoriam*)

Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, PR-153, Km 7, Bairro Riozinho, CEP 84500-000, Irati, PR, Brazil
e-mail: disperati@avalon.sul.com.br

REFERÊNCIAS

- Carper WJ, Lillesand TM, Kiefer, RW. The use of intensity- hue-saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 1990; 56:459-467.
- Chavez Junior PS, Sides SC, Anderson JA. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 1991; 57(3):295-303.
- Couloigner I, Ranchin T, Valtonen VP, Wald L. Benefit of the future SPOT-5 and of data fusion to urban road mapping. *International Journal of Remote Sensing* 1998; 19(8):1519-1532. <http://dx.doi.org/10.1080/014311698215324>
- Edwards K, Davis PA. The use of Intensity-Hue-Saturation transformation for producing color shaded-relief images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 1994; 60(11):1369-1374.
- Fanelli A, Leo A, Ferri M. Remote sensing images data fusion: A wavelet transform approach for urban analysis. In: *Proceedings of the Joint IEEE/ISPRS Workshop Remote Sens. Data Fusion Over Urban Areas*; 2001; Rome. Rome: University of Rome; 2001. p. 112-116.
- Fuckner MA, Rosa VGC, Rosembach R. Análise comparativa da aplicação de transformações radiométricas e técnicas de fusão de imagens em área urbana. In: *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*; 2007; Florianópolis. São José dos Campos: INPE; 2007. p. 6343-6350.
- Gillespie AR, Kahle AB, Walker RE. Color enhancement of highly correlated images—II. Channel ratio and 'chromaticity' transformation techniques, *Remote Sensing of Environment* 1987; 22(3): 343–365.
- González Audicana M, Seco A. Fusion of multispectral and panchromatic images using wavelet transform. Evaluation of crop classification accuracy. In: *Proceedings of the XXII EARSeL Annual Symposium "Geoinformation for European-wide integration"*; 2003; Prague, Czech Republic. Prague ; 2003. p. 265-272.
- Liu JG. Smoothing filter-based intensity modulation: A spectral preserve image fusion technique for improving spatial details. *International Journal of Remote Sensing* 2000; 21(18):3461-3472. <http://dx.doi.org/10.1080/014311600750037499>
- Luz J. *Imagens Alos para o Mapeamento da Vegetação Arbórea e Outros Usos do Solo em Área de Floresta Ombrófila Mista* [dissertação]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2009.121 p.
- Nuñez JR. *Segmentação automática e classificação em vídeos esportivos* [dissertação]. Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná; 2006. 178 p.
- Pinho CMD, Rennó CD, Kux HJH. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird. In: *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*; 2005; Goiânia, Brasil. RBC; 2005. p. 4225-4232.
- Pohl C, van Genderen JL. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing* 1998; 19:823-854. <http://dx.doi.org/10.1080/014311698215748>
- Research Systems Inc. – RSI. *Tutorial Envi FX: Classificação por regras-segmentação orientada ao objeto*; 2009. 15 p.
- Schneider MJ, Bellon ORP, Araki H. Experimentos em fusão de imagens de alta resolução. *Boletim de Ciências Geodésicas* 9(1):75-88, 2003.
- Schowengerdt RA. Spectral Transforms. In: Schowengerdt RA. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. London: Academic Press; 1997. 522 p.
- Santurri L, Carlà R, Fiorucci F, Aiazzi B, Baronti S, Cardinali M, Mondini A. Assessment of very high resolution satellite data fusion techniques for landslide recognition. In: Wagner W, Székely B, editor. *ISPRS TC VII Symposium – 100 Years*. ISPR: Viena; 2010.
- Smith JO. Gram-Schmidt Orthogonalization. In: Smith JO. *Mathematics of discrete Fourier transforms (DTF), with Audio Applications*; [online]. 2007. [cited 2011]. Available from: https://ccrma.stanford.edu/~jos/dft/Gram_Schmidt_Orthogonalization.html#11780
- Tu T-M, Su S-C, Shyu H-C, Huang PS. A new look at IHS-like image fusion methods. *Information Fusion* 2001; 2:177-186. [http://dx.doi.org/10.1016/S1566-2535\(01\)00036-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1566-2535(01)00036-7)
- Ventura FN. *Fusão de imagens de sensores remotos utilizando a transformação wavelet* [dissertação]. São José dos Campos: Instituto Nacional de pesquisas Espaciais; 2002.
- Vrabel J. Multispectral imagery band sharpening study. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 1996; 62(9): 1075-1083.
- Wang Z, Ziou D, Armenakis C, Li D, Li Q. A comparative analysis of image fusion methods. *IEEE Transactions On*

Geoscience And Remote Sensing 2005; 43(6):1391-1402.
<http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2005.846874>

Yang W, Cauneau F, Paris J-P, Ranchin T. Influence of landscape changes on the results of the fusion of P and XS images by different methods. In: *Proceedings III Conference Fusion of Earth Data: Merging Point Measurements, Raster Maps Remotely Sensed Images*; 2000; Sophia Antipolis. European Association of Remote Sensing Laboratories; 2000. 47-56.

Zhang Y. Problems in the fusion of commercial highresolution satellite images as well as Landsat 7 images and initial solutions. In: *Geospatial Theory, Processing and Applications: Proceedings of the ISPRS Commission IV Symp*; 2002; Ottawa. Ottawa: Canadian Institute of Geomatics; 2002.

Zhang Y. Understanding image fusion. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 2004; 70(6):657-661.