

Um método simplificado de fusão de imagens

Jorge Antonio Silva Centeno
Selma Regina Aranha Ribeiro
Universidade Federal do Paraná – Setor de Ciências da Terra
C.P. 19001- 81531-990 – Curitiba-PR- Brasil
(centeno, selmar)@ufpr.br

Abstract. Image merging is a subject that drew new interests due to the simultaneous acquirement of multispectral and PAN images with different resolutions. The merging approach was greatly recognized when multispectral Landsat images could be matched with SPOT ones. It generated hybrid images that combine properties from the originals in a new unique image, still maintaining spectral information and allow adds to spatial information. The result is a new image with better spatial and the same spectral resolution. This paper presents the I1I2I3 merging method, introduced by Ohta et al. (1980) like a simplified option to image merging through substitution. In order to apply this method, I1I2I3, two high resolutions images were used, IKONOS II and Quickbird.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, images merging, sensoriamento remoto, processamento de imagens, fusão de imagem.

1 Introdução

A fusão de imagens é um tema que despertou novo interesse devido à coleta simultânea de imagens multiespectrais e pancromáticas com diferentes resoluções. O método de fusão ganhou grande reconhecimento quando imagens Landsat multiespectral, puderam ser combinadas com imagens SPOT pancromáticas, gerando imagens híbridas que combinam as propriedades das imagens originais numa única nova imagem preservando a informação espectral e permite que se adicione informações espaciais.

O conteúdo de informação de uma imagem digital encontra-se diretamente associado a sua resolução, radiométrica, espacial e espectral (Carper et al. [1990]). Uma imagem ideal deveria ter alta resolução espacial, espectral e radiométrica, oferecendo todas as vantagens ao usuário ou intérprete, e facilitando a extração de informações. Porém, em termos práticos, as imagens de sensoriamento remoto apresentam limitações técnicas e operacionais que

A resolução espacial aparente de dados multiespectrais, e sua interpretação, pode ser melhorada combinando seus dados com dados de melhor resolução espacial, porém de baixa resolução espectral, como as imagens pancromáticas. Existem diferentes opções para isto, sendo os métodos de substituição os mais comuns. Segundo Leonardi et al, (2005), um método de fusão eficiente é caracterizado por preservar a informação espectral da imagem original e incorporar a informação espacial da banda pancromática para o produto híbrido.

Neste artigo apresenta-se o método de fusão intitulado de I1I2I3, sugerido por Ohta et al. (1980), como uma alternativa simplificada para a fusão de imagens por substituição. Duas imagens de alta resolução foram utilizadas para as fusões, a IKONOS II e a Quickbird.

2 Revisão de Literatura

O objetivo da fusão de imagens é manter a informação espectral e incluir, na medida do possível, a informação espacial derivada da imagem com *pixel* menor - melhor resolução espacial - (Chaves e Bowel, 1988).

Para Welch e Ehlers (1987), a transformação RGB-IHS pode ser usada para a geração de imagem híbrida. O método foi proposto originalmente para efetuar fusão de dados da imagem pancromática com as bandas multiespectrais, do SPOT, ou a fusão da banda pancromática do SPOT com as bandas multiespectrais do Landsat visando melhorar a interpretação da imagem especialmente em áreas urbanas. Este tipo de fusão é chamado de substituição onde inicialmente, a imagem multiespectral, composta por três bandas, é transformada do sistema de cores RGB para o sistema IHS. Então, a imagem associada à intensidade é substituída pela banda pancromática e depois a transformação inversa é aplicada, retornando ao sistema RGB com uma imagem multiespectral. O resultado é uma imagem colorida com melhor resolução espacial.

O princípio básico neste tipo de operação é que a imagem intensidade, do sistema IHS, é muito similar a imagem pancromática da mesma área, podendo substituí-la sem alterar as características espectrais, com a vantagem de oferecer maior grau de detalhe espaciais. Os cuidados com o registro das imagens e ajuste do histograma da imagem pancromática em relação à banda intensidade são cruciais, para que a nova imagem gerada tenha maiores detalhes e possa ser apresentada em cores. Este mesmo princípio pode ser utilizado para combinar imagens de RADAR com dados de sensores multiespectrais, como é mostrado por Harris e Murray (1990).

A maior desvantagem do método de fusão por substituição IHS é o fato de utilizar apenas três bandas multiespectrais. Esta limitação pode ser superada quando se utiliza a transformação das componentes principais em lugar da transformação IHS (Chaves e Anderson, 1991). O processo que utiliza as componentes principais é similar ao anterior, sendo que a primeira componente é substituída pela imagem pancromática. A justificativa para a substituição da primeira componente é baseada na afirmação de que a primeira componente, por ser a componente que armazena a informação comum a todas as bandas é praticamente similar a uma imagem pancromática, enquanto a informação associada à cor é representada pelas outras componentes.

Os resultados da aplicação de diferentes métodos de fusão podem ser avaliados segundo dois aspectos: qualidade espectral e qualidade espacial. A qualidade espacial é analisada pelo tamanho do *pixel*, elemento mínimo da imagem. E a qualidade espectral é avaliada pelo número e largura de bandas do espectro eletromagnético.

2.1 Sistema RGB

A maneira de visualizar dados espectrais usando um computador é associar às leituras do contador digital em diferentes bandas as intensidades de cor no monitor, associando à energia refletida dos objetos aos níveis de cinza ou tonalidades. O monitor representa as cores pela combinação aditiva das cores básicas: vermelho (Red), verde (Green) e azul (Blue), do que decorre o nome RGB (Red, Green, Blue). Qualquer cor a ser representada na tela deve ser o resultado da combinação destas três cores básicas. Isto, segundo Hunt (1992), resulta numa quantidade limitada de cores que é, porém, muito grande em relação à capacidade de percepção do olho humano. As cores podem ser representadas por um vetor tridimensional (RGB) e os valores digitais possíveis dependem da resolução radiométrica da imagem. Para uma imagem de oito *bits*, o espaço assume a forma de um cubo de 256 valores digitais em cada eixo.

2.2 Sistema IHS

Com a finalidade de descrever as cores usando termos mais comuns ao ser humano foram criados sistemas alternativos, como o sistema IHS: Intensidade (*Intensity*), tonalidade ou matiz (*Hue*) e saturação (*Saturation*). O matiz é o aspecto colorido da impressão visual, que

corresponde ao estímulo da retina por determinados comprimentos de onda. A saturação se refere ao grau de pureza da cor predominante, ou também é descrita como o conteúdo de branco de um estímulo percebido (Harris e Murray, 1990). Finalmente, a intensidade corresponde ao total de energia incidente em todos os comprimentos de onda percebidos pelo olho.

Para se entender a transformação RGB-IHS, pode-se representar o sistema IHS dentro do cubo definido pelo sistema RGB, como é mostrado na **Figura 1**. A intensidade deveria ser medida como o afastamento entre a origem e a posição do *pixel* no cubo, porém, para evitar o cálculo da raiz quadrada, a intensidade pode ser estimada pela média das componentes RGB. A saturação é medida como o afastamento da cor em relação à diagonal principal (Schowengerdt, 1983). Finalmente, a tonalidade é a medida angular entre a linha que une a diagonal principal e a cor vermelho puro e a linha que une a diagonal principal e a cor em questão. Para a determinação do ângulo associado à tonalidade, é conveniente projetar ambas as linhas num plano perpendicular à diagonal principal, como é mostrado na **Figura 1**.

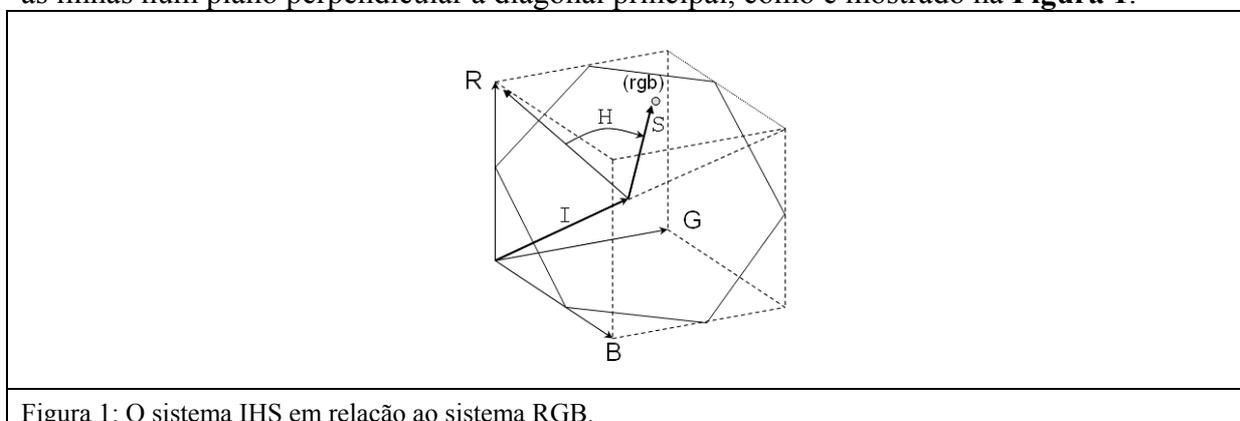


Figura 1: O sistema IHS em relação ao sistema RGB.

A transformação RGB-IHS depende da versão encontrada nos programas para processamento de imagens. Uma descrição detalhada pode ser encontrada em Gonzales e Woods (2002) e é apresentada resumidamente nas **Equações 1, 2 e 3**.

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (1)$$

$$S = 1 - \left(\frac{3}{(R + G + B)} \right) * \min(R, G, B) \quad (2)$$

$$H = \text{ACOS} \left[\frac{0,5 * (R - G) + (R - B)}{\left[(R - G)^2 + (R - G) * (G - B) \right]^{0,5}} \right] \quad (3)$$

Se o valor da saturação (S) for nulo, então a definição de H torna-se desnecessária, sendo geralmente adotado $H=0$, o que atribuiria H de vermelho aos níveis de cinzas. Como H é medido em ângulos, deve-se tomar cuidado com a ocorrência de ângulos próximos de zero (**Equação 4**).

$$\frac{B}{I} > \frac{G}{I}, \text{ então } H = 360^\circ - H \quad (4)$$

A transformação inversa (IHS-RGB) é calculada levando em consideração diferentes situações para H. Uma descrição desta transformação pode ser encontrada em Ohta et al. (1980).

Além da transformação IHS, outros sistemas alternativos são comumente encontrados na literatura e nos programas de processamento de imagens, como HSL (*Hue, Saturation, Luminance*) ou HSV-hexacônico (*Hue, Saturation, Value*), disponíveis, por exemplo, no programa ENVI de processamento de imagens.

2.3 O sistema I1I2I3 (Ohta et al. 1980)

Na busca de um sistema ótimo para a segmentação, de fotografias de cenas naturais, Ohta et al. (1980) avaliaram às diferenças, entre várias opções, para a representação da cor e as opções incluem, além do sistema IHS (*Intensity, Saturation e Hue*) e as componentes principais (CP), sistemas como os YIQ (*Luminance-Inphase Quadrature* – Sistema de cor para sinal de TV), rgb (Sistema de cor normalizado), XYZ (Sistema de cor X-Y-Z CIE – Comissão Internacional sobre Iluminação) e L*a*b* (*Cube root color system L-a-b*, CIE). Analisando os resultados obtidos na segmentação de oito fotografias coloridas, Ohta et al. (1980) concluem que uma transformação simples, composta de três vetores, que originam a rotação do sistema RGB, é eficiente e pode ser usada na segmentação sem grandes perdas na variável cor.

Após calcular as componentes principais das diferentes imagens, Ohta et al. (1980) perceberam que existe uma disposição das componentes principais de serem semelhantes entre si, independentemente da natureza da fotografia. Os coeficientes da primeira componente principal tendem a ser todos iguais e com o mesmo sinal, logo, esta componente tende a ser paralela à diagonal principal do sistema RGB e as outras duas se localizam num plano perpendicular à primeira. Assim eles propuseram a aproximação das componentes principais por uma rotação simples e as componentes deste novo sistema, denominado por eles de I1I2I3, são descritas pela matriz de rotação da **Equação 5**.

$$MI = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 0 & -1/2 & 1/2 \\ 1/2 & -1/4 & -1/4 \end{bmatrix} \quad (5)$$

A primeira componente é a média das três bandas do sistema RGB; a segunda é a diferença entre o vermelho (R) e o verde (G) e azul (B); a terceira é a diferença entre azul (B) e verde (G). Eventualmente, os sinais podem estar trocados em função da direção do vetor. As duas últimas componentes armazenam a informação de cor e a primeira a intensidade.

3 Materiais

Imagens: Quickbird bandas PAN, com resolução espacial de 0,70m e multiespectral com 2,80m, datada de 02 junho 2003 e IKONOS II com resolução espacial de 1,0m e multiespectral com 4,0m, datada de 02/junho/2002.

Programas: Matlab 6.1–Implementação: Sistema I1I2I3.

4 Metodologia

Como primeira etapa, foi realizado o registro das cenas, e as bandas multiespectrais tiveram suas resoluções espaciais alteradas de acordo com a resolução das bandas PAN, 1m e 0,7m, para as imagens IKONOS II e Quickbird, respectivamente. Dois recortes foram extraídos das imagens e para o processamento das fusões três bandas multiespectrais foram consideradas: as bandas 2 (verde - G: 0.52 - 0.60 μm), 3 (vermelho - R: 0.63 - 0.69 μm) e 4 (infra-vermelho próximo - V: 0.76 - 0.90 μm). A mesma região foi recortada nas imagens pancromáticas (Pan: 0.45 - 0.90 μm) das cenas registradas pelos sensores IKONOS II e Quickbird. As **Figuras 2 e 3** mostram as cenas das imagens IKONOS II (**Figura 2**) e Quickbird (**Figura 3**). Visualmente pode-se notar a diferença de resolução espacial entre as imagens PAN (**Figura 2 (a)** e **3 (a)**) e as multiespectrais (**Figura 2 (b)** e **3 (b)**).



Figura 2 – Recortes imagem IKONOS II – PAN e multiespectral falsa-cor 4R3G2B.

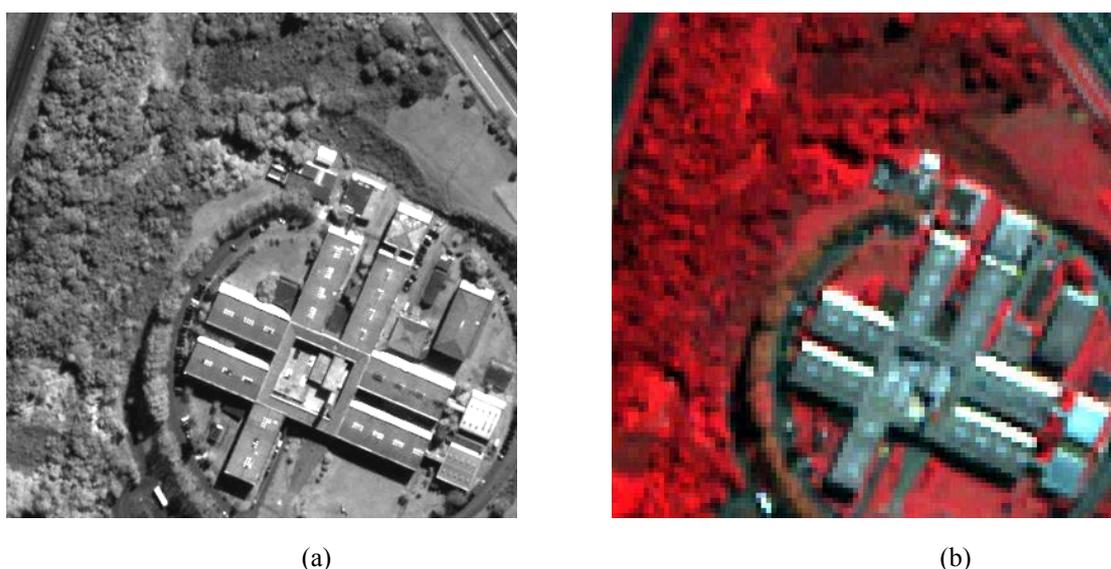


Figura 3 – Recortes imagem Quickbird – PAN e multiespectral falsa-cor 4R3G2B

A matriz de rotação proposta por Ohta et al (1980) foi adotada para a fusão das imagens pelo método de substituição. Assim sendo, as seguintes etapas foram aplicadas:

- a) As três bandas foram transformadas utilizando a matriz de rotação de Ohta et al. (1980), como consta na **Equação 5**.

$$I1I2I3 = MI * (RGB)$$
- b) A imagem correspondente a I1 foi substituída pela imagem pancromática.

$$I1I2I3 \rightarrow PANI2I3$$
- c) A transformação inversa foi aplicada a este novo conjunto:

$$rgb = inv(MI) * PANI2I3$$

5 Resultados e Discussões

A **Figura 4** mostra os resultados das fusões, para as duas imagens com diferentes resoluções espaciais. Na **Figura 4 (a)** se vê a imagem híbridas, isto é, a fusão já processada, do sensor

IKONOS II e a **Figura 4 (b)** é o resultado da fusão do recorte da imagem do sensor Quickbird.



(a)

(b)

Figura 4 – Resultados da fusão com imagens as imagens IKONOS II (a) e Quickbird (b).

No estudo foi apresentado um método de fusão de imagens, por substituição, simplificado, o método foi utilizado com o intuito de aumentar a resolução espacial e manter a resolução espectral, melhorando a interpretação visual; o método é nomeado de I1I2I3, sugerido por Ohta et al. (1980).

Como se pode notar, visualmente, comparando-se as imagens das **Figuras 2(a e b)** e **3 (a e b)** com as da **Figura 4 (a e b)**, obteve-se imagens de melhor resolução espacial, com os detalhes derivados da imagem pancromática, tendo como vantagem sobre a imagem PAN (original) de se poder realizar a composição colorida, pois a resolução espectral foi mantida.

Alguns problemas existem quando se usa o sistema IHS em processamento de imagens. Por exemplo, a aproximação da componente “intensidade”, “valor”, ou “luminosidade” pela diagonal principal não condiz com o conceito real usado na percepção de cor. Este sistema também apresenta a desvantagem de incluir medidas angulares, como no caso da componente H, que geralmente é dada em graus (0-360°). Além disso, as operações envolvidas, especialmente na transformação inversa, separam o círculo do matiz (Hue) em faixas e 60 graus, o que pode introduzir descontinuidades.

Considerando-se a transformação I1I2I3, utilizada neste trabalho, destaca-se que ela é uma simples rotação, como descrito na metodologia quando da apresentação da matriz de rotação (**Equação 5**). É de fácil execução, pois três etapas são necessárias: transformação direta (rotação), substituição da primeira componente pela imagem PAN e a transformação inversa, portanto não apresenta os problemas da transformação RGB-IHS, acima citados. A transformação gera o resultado esperado, isto é, a imagem resultante apresenta-se melhor que as imagens originais, PAN e multiespectrais, para fins de interpretação visual.

Referências Bibliográficas

Carper, W., Lillesand, T. e Kiefer, R. [1990], **The use of Intensity-Hue-Saturation transformation for merging SPOT panchromatic and multispectral image data**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 56(4):459-467.

Chaves e Bowel, {1988}, **Comparison of spectral information content of Landsat thematic mapper and SPOT for three different sites in Phoenix**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54(12):1699-1708.

Chaves, P. S. Jr. Sides, S. e Anderson, J. A. [1991], **Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 57(3):295-303.

Chaves, P. S. J., Sides, S. e Anderson, J. A. [1986], **Digital merging of Landsat TM and digitized NHAP data for 1:24.000-scale image processing.**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52(10):1637-1646.

Gonzales, R. C. E Woods, R. E.; **Processamento de Imagens Digitais**; São Paulo; Editora Edgard Blücher Ltda; 2000. 509 p.

Harris, J. R. e Murray, R. [1990], **IHS transform for the integration of radar imagery with other remotely sensed data**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 56(12):1631-1641.

Hunt, R. W. G. [1992], **Measuring colour**, Ellis Horwood Ltd., Chichester.

Ohta Y., Kanade T., and Sakai T., "**Color Information for Region Segmentation**," Computer Graphics and Image Processing, vol. 13, pp. 222-241, 1980.

Schowengerdt, R. A. [1983], **Techniques for image processing and classification in remote sensing**, Academic Press, New York.

Leonardi S. S. Ortiz, J.O. e Fonseca L.M.G. **Comparação de técnicas de fusão de imagens para diferentes sensores orbitais**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 4111-4113.

Wang, Z. Bovik A. C. A Universal Quality Index. IEEE Signal Processing Letters, V.XX, NO.Y., 2002.

Welch, R. e Ehlers, M. [1987], Merging multiresolution SPOT HRV and Landsat TM data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51(8):301-303.