

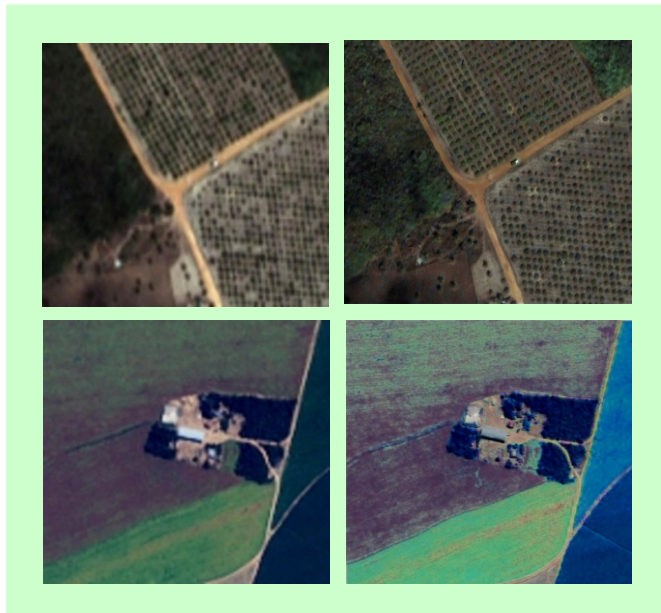
Comunicado 84

Técnico

Dezembro, 2007
Campinas, SP

ISSN 1677-8464

Fusão Espectral de Imagens de Satélite no Espaço de Cores

José Iguelmar Miranda¹
Marcello Antonio Marabita²

O objetivo deste comunicado é divulgar a implementação Java™ de algoritmos de fusão de imagens de satélite de média com alta resolução espacial usando informações espectrais, transformadas no espaço de cores. A implementação atende a necessidades de projetos desenvolvidos na Embrapa Informática Agropecuária na área de processamento de imagens aplicados a agropecuária.

O uso da tecnologia espacial através de sensores transportados em satélites de recursos naturais, como LANDSAT, SPOT e CBERS, tem sido de grande auxílio no estudo de uma variedade de áreas de pesquisa (Almeida & Valeriano, 2007; Adami et al., 2007a; Alves & Rossete, 2007). Na agricultura, particularmente, essa tecnologia tem trazido muitos benefícios, como o estudo de avanços ou recuos da fronteira agrícola, identificação de áreas degradadas, mapeamento de cobertura vegetal, monitoramento de queimadas, estatísticas agrícolas, previsão de safras e segurança alimentar, entre outros.

Os sensores mapeiam a superfície da Terra em diferentes bandas espectrais. Geralmente, três bandas no espectro visível, para as cores azul, verde e vermelho, e uma no infravermelho próximo, daí o nome

bandas multiespectrais. Alguns satélites levam a bordo um quinto sensor, que mapeia todo o espectro visível, gerando imagens *pancromáticas*. As imagens geradas possuem, no mínimo, duas características: resolução espacial e resolução espectral. A primeira diz respeito à largura da banda no espectro eletromagnético. Sensores que mapeiam faixas mais estreitas do espectro geram imagens espectrais com maior discernimento da cobertura vegetal, ou outro tipo de cobertura. A segunda característica se refere ao menor objeto discernível na superfície da Terra. Quanto menor a resolução espacial de cada área mapeada, maior capacidade de discernir os objetos na superfície.

No que diz respeito à resolução espacial, o mais comum é que os sensores gerem imagens nas quatro, ou mais bandas, com a mesma resolução espacial. Por exemplo, o satélite sino-brasileiro CBERS leva a bordo cinco sensores, conforme as bandas multiespectrais citadas anteriormente, e com resolução espacial de 20m. Portanto, ele é capaz de discernir alvos terrestres com área mínimo de 400m². Os alvos terrestres são armazenados em áreas conhecidas como *pixels*.

Porém, existem satélites com sensores que geram pixels de tamanhos diferentes. Como exemplo, o

¹ Ph.D. em Geoprocessamento, Analista da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas, SP. (e-mail: miranda@cnptia.embrapa.br)

² Bolsista PIBIC, Engenharia da Computação, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas, SP. (e-mail: marcello@cnptia.embrapa.br)

SPOT, do consórcio franco-belga-sueco, gera imagens de 20m nas bandas multiespectrais e de 10m na pancromática. Ultimamente, a banda pancromática chega a ter 2,5m de resolução espacial.

Tem-se, portanto, sensores com boa informação espectral mas com média resolução espacial. Os primeiros satélites tinham resolução espacial de 80m, reduzidos posteriormente para 30m; atualmente, o mais comum é 20m. Na última década, dois satélites revolucionaram a resolução espacial: o Ikonos, russo, com pixels de 4m nas bandas multiespectrais e 1m na banda pancromática; e o Quickbird, americano, com 2,4m e 0,60m, respectivamente.

O padrão de trabalhos de pesquisa em sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais de satélites é usar essas imagens no espaço de cores RGB (*red, green, blue*), termo mais usado na comunidade. Porém, existem outros espaços de cores, como IHS (*intensity, hue, saturation*), LHS (*luminosity, hue, saturation*) e CMY (*cyan, magenta, yellow*)³. Ehlers et al. (1990) foram os primeiros a implementarem o processo de fusão entre os espaços de cores RGB e IHS. Adami et al. (2007b), por exemplo, usaram a fusão IHS para identificar o uso e cobertura do solo de elementos amostrais usando imagens do Landsat. Nos próximos parágrafos, será analisado esses espaços e realizado um estudo de caso de transformações nos mesmos.

Espaço de cores RGB (*red, green, blue*)⁴

Esse espaço usa um sistema de coordenadas cartesianas. O subespaço de interesse é um cubo unitário (Fig. 1). As cores primárias RGB são aditivas, porque as contribuições individuais de cada primária são adicionadas para formar um resultado. A diagonal principal do cubo, com valores iguais para cada cor primária, representa os níveis de cinza. Existe um grande conjunto de conhecimentos sobre a resposta e sensibilidade do olho às cores especificadas em triplas (R, G, B). Esse sistema de cores é usado na TV e na maioria dos monitores (Foley & Dam, 1984).

O sistema RGB foi proposto pelo National Television Systems Committee (NTSC). As cores cian, magenta e amarelo são complementares ao vermelho, verde e azul, respectivamente. São chamadas cores subtrativas primárias.

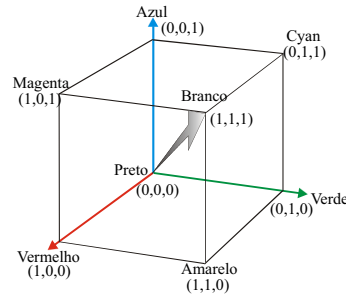


Fig. 1. Cubo de cores RGB.

Espaço de cores IHS (*intensity, hue, saturation*)

O modelo RGB é derivado de considerações de *hardware* e podem não responder adequadamente à percepção visual, que envolve três atributos: *hue*, *saturation* e *lightness* ou *luminosity*. *Hue* é usado para distinguir cores, por exemplo, vermelho, amarelo, azul e para determinar a quantidade de verde ou vermelho etc., contidos na luz. Se a fonte de luz é monocromática, *hue* é um indicador do comprimento de onda da luz. *Saturation* é a medida da porcentagem de luz branca que é adicionada a uma cor pura ou grau de pureza da cor predominante. Por exemplo, vermelho é uma cor altamente saturada, enquanto cor-de-rosa é menos saturada. *Intensity* se refere à intensidade de luz percebida ou ao total de energia incidente em todos os comprimentos de onda percebidos pelo olho (Huang & Hsieh, 2007; Pitas, 2000; Centeno & Ribeiro, 2007).

O modelo de cores IHS forma um sistema de coordenadas cilíndricas, cujo eixo é a linha R = G = B do espaço RGB (Fig. 2). As cores visíveis do sistema de coordenadas cilíndricas IHS são as mesmas incluídas no cubo do sistema RGB. Assim, o intervalo de saturação disponível é mais estreito para largas intensidades de luz (próximas do branco) e para pequenas intensidades de luz (próximo do preto). Na Fig. 2, o eixo da *intensity* passa verticalmente pelo centro do plano do círculo da esquerda.

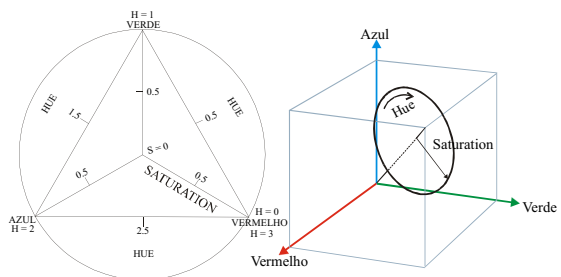


Fig. 2. Relação entre os sistemas RGB e IHS. A Fig. da direita apresenta secção do cone IHS. *Hue* é medido ao longo da circunferência.

O fator *hue* muda no sentido anti-horário em torno do triângulo, do vermelho (H = 0), para o verde (H = 1), para o azul (H = 2) e novamente para o vermelho (H = 3). *Saturation* vale 0 no centro do círculo e crescem até 1, nas bordas.

³ No documento, usam-se as iniciais dos termos em inglês. Tradução dos termos: *intensity* - intensidade; *hue* - matiz; *saturation* - saturação; *luminosity* - luminosidade; *cyan* - cian; *yellow* - amarelo.

⁴ No documento, usam-se as iniciais dos termos em inglês. Tradução: *red* - vermelho; *green* - verde; *blue* - azul.

A conversão do espaço RGB para o sistema de coordenadas IHS é feito em dois passos (Pitas, 2000). No primeiro passo, as coordenadas RGB são giradas para formar o sistema de coordenadas (I, V_1, V_2) , cujo eixo é a linha $R = G = B$. A rotação é descrita pelas seguintes transformações:

$$\begin{bmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{3}/3 & \sqrt{3}/3 & \sqrt{3}/3 \\ 0 & 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 2/\sqrt{6} & -1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{6} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

As coordenadas retangulares (V_1, V_2) são transformadas em coordenadas polares no segundo passo:

$$H = \tan^{-1}\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$$

$$S = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}$$

O intervalo das coordenadas de *hue* é $[0, 2\pi]$, equivalendo a $[0, 360]$ graus. A transformação inversa, HSI para RGB é feita da seguinte forma:

$$V_1 = S \cos H$$

$$V_2 = S \sin H$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{3}/3 & 0 & 2/\sqrt{6} \\ \sqrt{3}/3 & 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{6} \\ \sqrt{3}/3 & -1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{6} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

Existem variações desse conjunto de equações, usando o mesmo raciocínio.

Espaço de cores LHS (*lightness, hue, saturation*)

Esse modelo de cores é formado por dois subespaços hexacone (Fig. 3). *Hue* é o ângulo ao redor do eixo vertical de hexacone duplo, com o vermelho em 0° . As cores ocorrem ao longo do perímetro na mesma ordem que ocorrem no diagrama da Commission Internationale L'Eclairage (CIE), quando percorrido no sentido anti-horário: vermelho, amarelo, verde, cian, azul e magenta. O complemento de qualquer *hue* está localizado a 180° . *Saturation* é medido radialmente a partir do eixo vertical, de 0 no eixo até 1 na superfície. *Lightness* é 0 para preto e 1 para branco (Foley & Dam, 1984).

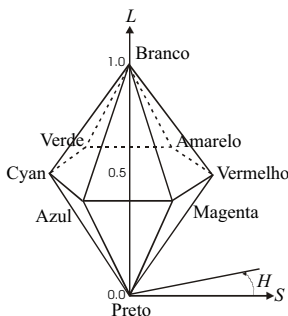


Fig. 3. Hexacone duplo do modelo de cores LHS.

Na conversão de RGB para LHS, os valores de R, G, B são normalizados em $[0, 1]$. Encontra-se um valor máximo (*MAX*) e mínimo (*MIN*) para R, G, B. Então, os valores de LHS são calculados:

$$H = \text{indefinido} \quad \text{Se } MAX = MIN$$

$$H = 60^\circ \frac{G-B}{MAX-MIN} + 0^\circ \quad \text{Se } MAX = R \text{ e } G \geq B$$

$$H = 60^\circ \frac{G-B}{MAX-MIN} + 360^\circ \quad \text{Se } MAX = R \text{ e } G < B$$

$$H = 60^\circ \frac{B-R}{MAX-MIN} + 120^\circ \quad \text{Se } MAX = G$$

$$H = 60^\circ \frac{R-G}{MAX-MIN} + 240^\circ \quad \text{Se } MAX = B$$

$$S = 0 \quad \text{Se } L = 0 \text{ ou } MAX = MIN$$

$$S = \frac{MAX-MIN}{MAX+MIN} = \frac{MAX-MIN}{2L} \quad \text{Se } 0 < L \leq 1/2$$

$$S = \frac{MAX-MIN}{2-(MAX+MIN)} = \frac{MAX-MIN}{2-2L} \quad \text{Se } L > 1/2$$

$$L = \frac{1}{2}(MAX+MIN)$$

Para converter de LHS para RGB, o valor de *H* varia entre 0.0 (inclusive) até 360.0 (exclusivo). Ele indica o ângulo, em graus, ao redor do círculo de cores aonde o *hue* está localizado. Os valores de *S* e *L* são normalizados em $[0.0, 1.0]$. Os valores de RGB encontrados estão no intervalo $[0.0, 1.0]$.

Primeiro, se $S = 0.0$, então a cor resultante é acromática ou cinza. Nesse caso, R, G, B são iguais a *L*. Quando *S* é diferente de zero, usar:

$$Q = L*(1.0 + S) \quad \text{Se } L < 0.5$$

$$Q = L + S - (L*S) \quad \text{Se } L \geq 0.5$$

$$P = 2.0*L - Q \quad \text{Se } L \geq 0.5$$

$$H_k = H/360 \quad \text{Normaliza em } [0.0, 1.0]$$

$$T_R = H_k + 1/3$$

$$T_G = H_k$$

$$T_B = H_k - 1/3$$

$$T_c = T_c + 1.0, c = R, G, B; \quad \text{Se } T_c < 0$$

$$T_c = T_c - 1.0, c = R, G, B; \quad \text{Se } T_c > 1$$

Para cada $c = R, G, B$:

$$c = P + ((Q - P)*6.0*T_c) \quad \text{Se } T_c > 1/6$$

$$c = Q \quad \text{Se } 1/6 \leq T_c < 1/2$$

$$c = P + ((Q - P)*6.0*(2/3 - T_c)) \quad \text{Se } 1/2 \leq T_c < 2/3$$

$$c = P \quad \text{em caso contrário}$$

Métodos de Interpolação

Existem muitas abordagens de fusão de imagens de satélites usando o espaço de cores. Pode-se identificar dois grupos: fusão de imagens de diferentes satélites ou fusão de imagens da mesma família de satélites. Em ambos os casos, o objetivo é sempre usar informações das bandas multiespectrais, geralmente com menor resolução espacial e fundi-las com a banda pancromática, com maior resolução espacial. O resultado é uma imagem com maior resolução espectral e espacial. Os casos mais comuns do primeiro grupo são fusões entre as bandas multiespectrais do Landsat 5, com resolução espacial de 30m, com a banda pancromática do Spot, com resolução espacial de 10m. Um exemplo do segundo grupo é fundir as bandas multiespectrais do Spot, com resolução espacial de 20m, com a sua banda pancromática, com a dita resolução de 10m.

No presente Comunicado Técnico, apenas o segundo grupo de fusão é considerado. A Fig. 4 ilustra o processo de fusão no caso RGB-IHS. Para a transformação RGB-LHS, o processo é semelhante.

LHS, o processo é semelhante.

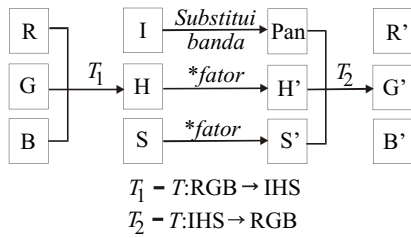


Fig. 4. Esquema do processo de fusão de bandas espectrais.

Três bandas espectrais são usadas no processo. Dependendo do satélite, elas podem ser escolhidas no espectro visível e até do infravermelho. A transformação T_1 , no caso, é responsável por mapear entre os espaços de cores RGB e IHS. O caso RGB e LHS seria semelhante. Uma vez no espaço IHS, ou LHS, substitui-se a banda I, ou L, pela banda pancromática. As bandas H e S são multiplicadas por um fator que explica a relação entre a resolução espacial das bandas multiespectrais e a pancromática.

Por exemplo, nos casos dos satélites Ikonos e Quickbird, o fator é quatro. A explicação é que a banda pancromática, nesses satélites, é quatro vezes mais precisa que as bandas multiespectrais.

Antes da substituição da banda I, ou L, pela pancromática, um processo comum é fazer um realce de histograma na banda pancromática. Justificativas da substituição de bandas podem ser encontradas em Ehlers et al. (1990), Jensen (1996) e Centeno & Ribeiro (2007). Com o novo conjunto de bandas, ainda no espaço IHS, ou LHS, ocorre a transformação inversa, de mapear esse espaço de cores de volta no RGB. As novas bandas, R', G', B' podem ser combinadas em falsa cor para melhor visualização. Após as transformações, as novas bandas contam com melhor resolução espacial das bandas originais e melhor resolução espacial da banda pancromática original.

Um ponto crítico na transformação de bandas é o uso do fator de multiplicação. Nesse caso, os novos valores de pixels são interpolados dos originais. Portanto, o algoritmo de interpolação pode influenciar no resultado, principalmente quando se busca uma melhor resolução espacial. Com essa consideração, implementou-se quatro algoritmos de interpolação no software de fusão, para testar os resultados: vizinho mais próximo, bilinear e dois algoritmos de convolução cúbica paramétrica. Esses interpoladores estão disponíveis na API Java Advanced Imaging (JAI). A seguir, uma breve descrição dos algoritmos.

Na interpolação por vizinho mais próximo, também considerado de ordem zero, o valor do novo pixel é igual ao valor do seu vizinho mais próximo na imagem original. Computacionalmente, é o mais eficiente. Porém, o resultado visual não é bom (Fig. 5a). Na interpolação bilinear, ou de primeira ordem, o novo pixel é resultado de uma interpolação linear dos quatro pixels mais

próximos, considerando duas direções ortogonais da imagem original. Cada interpolação linear se baseia na distância ponderada desses pontos. Esse procedimento lembra um filtro espacial móvel que atenua valores extremos na imagem original. Computacionalmente, requer mais tempo que o vizinho mais próximo, mas resulta numa melhora na qualidade da imagem ampliada (Fig. 5b).

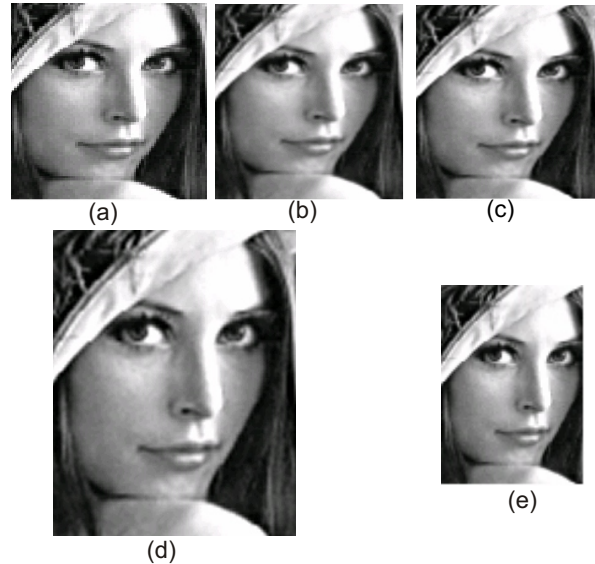


Fig. 5. Ampliação de (e) em 2,5 vezes usando quatro métodos de interpolação.

No caso da interpolação por convolução cúbica paramétrica, também chamada de bicúbica, os novos valores são calculados numa maneira similar ao processo bilinear, com exceção de que os valores ponderados de dezesseis pixels vizinhos são considerados. Ela preserva os detalhes finos da imagem original, às custas do tempo adicional necessário para realizar a interpolação (Fig. 5c). O JAI implementa dois algoritmos de convolução cúbica paramétrica. O primeiro considera os seguintes polinômios bicúbicos, com $\alpha = -0.5$ (Schowengerdt, 1997; Han & Baek, 2000):

$$\begin{aligned}
 r(\Delta, \alpha) &= (\alpha + 2)|\Delta|^3 - (\alpha + 3)|\Delta|^2 + 1 & 0 \leq |\Delta| < 1 \\
 r(\Delta, \alpha) &= \alpha|\Delta|^3 - 5\alpha|\Delta|^2 + 8\alpha|\Delta| - 4\alpha & 1 \leq |\Delta| < 2 \\
 r(\Delta, \alpha) &= 0 & |\Delta| \geq 2
 \end{aligned}$$

O segundo método bicúbico usa as mesmas equações polinomiais, considerando $\alpha = -1.0$. Não foi realizado um teste comparando o tempo gasto por cada método, pois não é objetivo do presente trabalho. A conclusão sobre um método gastar mais tempo que o outro é inferida por motivos óbvios da quantidade de operações a mais que um tem sobre o outro, além do número de pixels vizinhos considerados.

A Fig. 6 mostra um gráfico comparando as duas implementações da convolução cúbica paramétrica e a função $\text{sinc}(x)$ ⁵. Em vermelho, tem-se o gráfico da função $\text{sinc}(x)$. A convolução cúbica paramétrica (CCP), com $\alpha = -1.0$ tem a cor laranja e com $\alpha = -0.5$, a cor azul. Os valores no eixo x representam pixels. Conforme as equações anteriores, o valor de Δ é de no máximo dois pixels. A implementação da CCP com $\alpha = -0.5$ tende a suavizar mais a imagem do que a implementação com $\alpha = -1.0$.

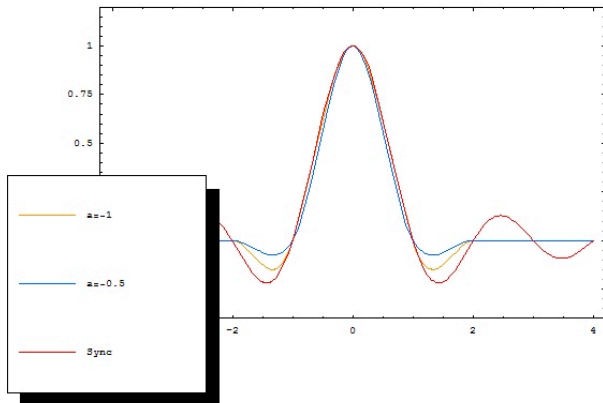


Fig. 6. Comparação entre as funções $\text{sinc}(x)$ e convolução cúbica paramétrica.

Estudo de Caso

Para estudo de caso, apresenta-se a fusão das bandas multiespectrais do satélite Ikonos e Quickbird. A área coberta pelo Ikonos está localizada em Campo Alegre, GO e do Quickbird, em Beberibe, CE.

As bandas multiespectrais do Ikonos têm resolução espacial de 4m e a pancromática, de 1m. No Quickbird, essas medidas são 2,4m e 0,60m, respectivamente. Bandas multiespectrais com resolução espacial de 4m e 2,4m, são muito superiores às existentes atualmente nos satélites de recursos naturais comerciais. Com essa resolução espacial, muitos problemas de identificação de tipos de cobertura vegetal, por exemplo, antes existentes, são resolvidos. Mesmo assim, pode-se emprestar a altíssima resolução espacial das bandas pancromáticas e realizar o conhecido processo de fusão de bandas, gerando novas imagens com melhores resoluções espectrais e espaciais, facilitando ainda mais o processo de reconhecimento de padrões nessas imagens.

A Fig. 7a mostra uma cena retirada da imagem Ikonos, com composição de falsa cor no espaço RGB, mapeando as bandas espectrais vermelha em R, verde em G e azul em B. A Fig. 7b mostra o resultado da fusão usando o espaço de cores IHS fazendo o mapeamento inverso no espaço RGB, com a banda pancromática substituindo a banda I. É visível o ganho de resolução espacial na Fig. b.

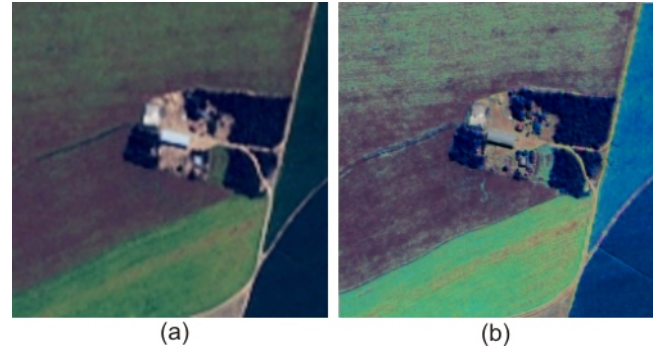


Fig. 7. Fusão de bandas Ikonos no espaço IHS.

A Fig. 8 mostra a mesma cena, mas com o fusão feita no espaço LHS. O algoritmo de fusão IHS se comportou melhor que o LHS, apresentado imagens mais nítidas. Para ambos os casos, o algoritmo de interpolação (x4) das bandas H e S usado foi o bilinear.

O mesmo exercício foi repetido para uma cena do Quickbird. Os resultados são mostrados nas Fig. 9a, 9b e 10.



Fig. 8. Fusão de bandas Ikonos no espaço LHS.

⁵ $\text{sinc}(x) = \text{seno}(\pi x) / \pi x$

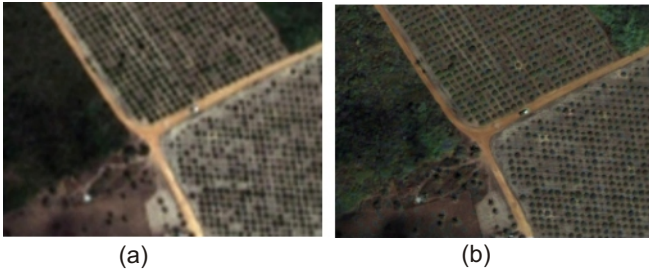


Fig. 9. Fusão de bandas Quickbird no espaço IHS.



Fig. 10. Fusão de bandas Quickbird no espaço LHS.

Para ambos os casos, o algoritmo de interpolação (x4) das bandas H e S usado foi o bilinear.

A Fig. 11 mostra a interface do programa. Na barra de ferramentas dentro do menu *Arquivo* encontram-se as seguintes funções:

1. *Abrir* imagens.
2. *Salvar* imagens.
3. *Fechar* aba com imagem aberta.
4. *Configurações*, permite escolher algoritmo de ampliação: vizinho mais próximo, bilinear, bicúbico 1 ($\alpha = -0,5$) e bicúbico 2 ($\alpha = -1,0$).

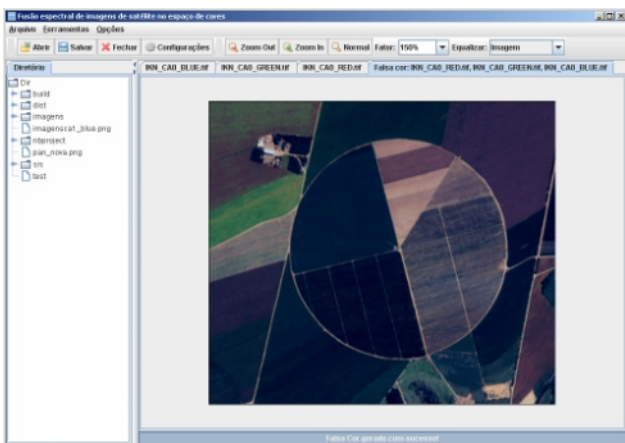


Fig. 11. Interface do programa de fusão de imagens.

No menu *Ferramentas* encontram-se as seguintes funções:

1. *Zoom Out*, *Zoom In*, *Normal* e *Fator*, todos se referem a ampliação, para mais ou para menos, da imagem. Na opção *Fator*, o usuário pode escolher entre vários fatores definidos ou inserir novo valor.
2. *Equalizar*, permite que a imagem seja equalizada, através de seu histograma, usando um dos seguintes algoritmos: probabilidade (*Equaliza*), valores máximo e mínimo (*MiniMax*), logaritmo (*Log*), raiz quadrada (*Raiz*) e ± 1 desvio padrão (*Porcentagem*). A opção *Imagem* retorna a imagem ao formato original.
3. *Histograma*: permite visualizar o histograma de uma determinada banda espectral.

No menu *Opções*, o usuário pode escolher entre as transformações possíveis:

1. *RGB para HLS*: transformação das bandas espectrais do espaço de cor RGB para HLS.
2. *RGB para IHS*: mesmo procedimento acima, entre os espaços RGB e IHS.
3. *HLS para RGB*: fazer a transformação inversa entre o espaço de cores HLS e RGB.
4. *IHS para RGB*: mesmo procedimento acima, entre os espaços IHS e RGB.
5. *Falsa Cor*: construir uma composição colorida em falsa cor. Permite que o usuário combine três bandas espectrais para formar uma banda em falsa cor. Na Fig. 11, a imagem é resultado de uma combinação das bandas vermelho, verde e azul da cena Ikonos.
6. *Fusão*: permite fazer a transformação por fusão entre a banda pancromática e as bandas H e S do espaço de cores HLS ou IHS. A banda pancromática contribui com a melhor resolução espacial e as bandas H e S, com as informações espectrais.

Na aba principal, o programa mostra a banda que foi aberta. Existe ainda uma barra de progresso, na parte inferior da aba principal, que permite o usuário acompanhar a execução da transformação escolhida.

Na aba secundária (onde aparece a palavra *Diretório*), o usuário pode utilizar uma árvore de diretórios para abrir os arquivos de imagens com maior agilidade.

Conclusões

- Os algoritmos de fusão de bandas espectrais nos espaços de cores RGB, IHS e LHS se comportaram conforme o esperado, conseguindo melhorar sensivelmente a resolução espacial das bandas fusionadas.

- O processo mostrou-se eficiente na preservação das informações multiespectrais, através das bandas H e S, apresentando, ao mesmo tempo, ganho de resolução espacial com o uso da banda pancromática, com maior resolução espacial que as bandas multiespectrais.
- O uso de algoritmos de interpolação mais eficientes melhora também a qualidade final da resolução espacial das bandas fusionadas.
- O algoritmo de interpolação bilinear se comportou melhor que o vizinho mais próximo.
- O ganho na interpolação usando o algoritmo bicúbico em relação ao bilinear foi pequeno. Como o ganho computacional é maior com o algoritmo bilinear, para interpolar imagens grandes pode-se usar o bilinear sem perdas perceptíveis de definição das bordas dos elementos, principalmente em objetos que possuam linhas diagonais na sua forma geométrica.
- A mudança no valor de α (-0,5 e -1,0) para a interpolação bicúbica não produziu mudanças perceptíveis nas imagens interpoladas.
- A implementação Java da fusão de bandas nos espaços RGB, IHS e LHS se encontra operacional e disponível. Para a obtenção do programa, visitar o endereço eletrônico:
<<http://repositorio.agrolivre.gov.br/projects/pid/>>.

Referências

ADAMI, M.; HASTENREITER, F. A.; FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. Estimativa de área foliar de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* [São José dos Campos]: INPE, 2007a. p. 9-14.

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., 2007, Florianópolis. *Anais...* [São José dos Campos]: INPE, 2007b. p. 1-8.

ALMEIDA, C. A.; VALERIANO, D. M. Avaliação das imagens WFI-CBERS2 a partir de imagens CCD-CBERS2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* [São José dos Campos]: INPE, 2007. p. 709-715.

ALVES, H. Q.; ROSSETE, A. N. Áreas de uso e de conflito em APP na microbacia hidrográfica do Córrego Murinho, Nova Xavantina - MT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* [São José dos Campos]: INPE, 2007. p. 3701-3708.

CENTENO, J. A. S.; REBEIRO, S. R. A. Um método simplificado de fusão de imagens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* [São José dos Campos]: INPE, 2007. p. 5667-5673.

EHLERS, M.; JADKOWSKI, M. A.; HOWARD, R. R.; BROSTUEN, D. E. Application of SPOT data for regional growth analysis and local planning. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 56, n. 2, p. 175-180, 1990.

FOLEY, J. D.; DAM, A. van. *Fundamentals of interactive computer graphics*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1984. 664 p.

HAN, J.-K.; BAEK, S.-U. Parametric cubic convolution scaler for enlargement and reduction of image. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, v. 46, n. 2, p. 247-256, 2000.

HUANG, H.-H.; HSIEH, Y. S. Geometric and spectral analysis of merged remotely sensed images. Disponível em: <<http://www.aars-acrs.org/acrs/proceeding/ACRS1999/Papers/PS199-3.htm>>. Acesso em: 15 jun. 2007.

JENSEN, J. R. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1996. 316 p.

PITAS, I. *Digital image processing algorithms and applications*. New York, NY: John Wiley, 2000. 419 p.

SCHOWENGERDT, R. A. *Remote sensing, models and methods for image processing*. 2nd ed. San Diego, CA: Academic Press, 1997. 522 p.

Comunicado Técnico, 84

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



Embrapa Informática Agropecuária
Área de Comunicação e Negócios (ACN)
Endereço: Caixa Postal 6041 - Barão Geraldo
13083-970 - Campinas, SP
Fone: (19) 3789-5743
Fax: (19) 3289-9594
e-mail: sac@cnptia.embrapa.com.br

1ª edição on-line - 2007

© Todos os direitos reservados.

Comitê de Publicações

Presidente: Kleber Xavier Sampaio de Souza.
Membros Efetivos: Adriana Farah Gonzalez (secretária), Ivanilde Dispatto, Marcia Izabel Fugisawa Souza, Martha Delphino Bambini, Sílvia Maria Fonseca Silveira Massruhá, Stanley Robson de Medeiros Oliveira.

Suplentes: Goran Neshich, Leandro Henrique Mendonça de Oliveira, Luiz Manoel Silva Cunha, Maria Goretti Gurgel Praxedes.

Expediente

Supervisor editorial: Ivanilde Dispatto
Normalização bibliográfica: Marcia Izabel Fugisawa Souza
Editoração eletrônica: Área de Comunicação e Negócios