

## **Análise comparativa da aplicação de transformações radiométricas e técnicas de fusão de imagens em área urbana**

Marcus Andre Fuckner<sup>1</sup>  
Viviane Gomes Cardoso Rosa<sup>1</sup>  
Roberta Rosemback<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{marcus, vivian, roberta}@dsr.inpe.br

**Abstract.** This paper is about radiometric corrections of CCD/CBERS-2 images of Campinas metropolitan region, São Paulo State, your influence on image classification and your fusion with LISS-IV/IRS-P6 data. The fusion techniques tested were: IHS, Principal Components and Transformada *Wavelet*. The results obtained with the CCD data fusion were compared to fusion involved a TM/Landsat-5 image of the same area. For the urban area classification, the best results were obtained with the surface reflectance data in relationship to digital levels and at-sensor reflectance data. For the data fusion, the best results were obtained with the IHS technique application.

**Palavras-chave:** data fusion, CBERS, IRS, digital imagery processing, urban studies, fusão de imagens, CBERS, IRS, processamento digital de imagens, estudos urbanos.

### **1. Introdução**

A paisagem urbana é composta por um vasto número de elementos e materiais definindo tal paisagem como sendo radiometricamente heterogênea e complexa (Small, 2005). Estas características tornam o uso de imagens de alta resolução espacial imprescindível para estudos intra-urbanos. Por outro lado, embora apresentem resolução espacial média, imagens CCD/CBERS-2 podem ser utilizadas para estudos em mesoescala, como o mapeamento da expansão urbana, sobretudo em grandes aglomerações, aproveitando-se do acesso gratuito às imagens e menor custo computacional para processamento das mesmas.

Este trabalho tem como objetivo testar a influência de transformações radiométricas sobre a classificação de imagens CCD bem como técnicas de fusão de imagens CCD com uma imagem do sensor LISS-IV acoplado na plataforma IRS-P6.

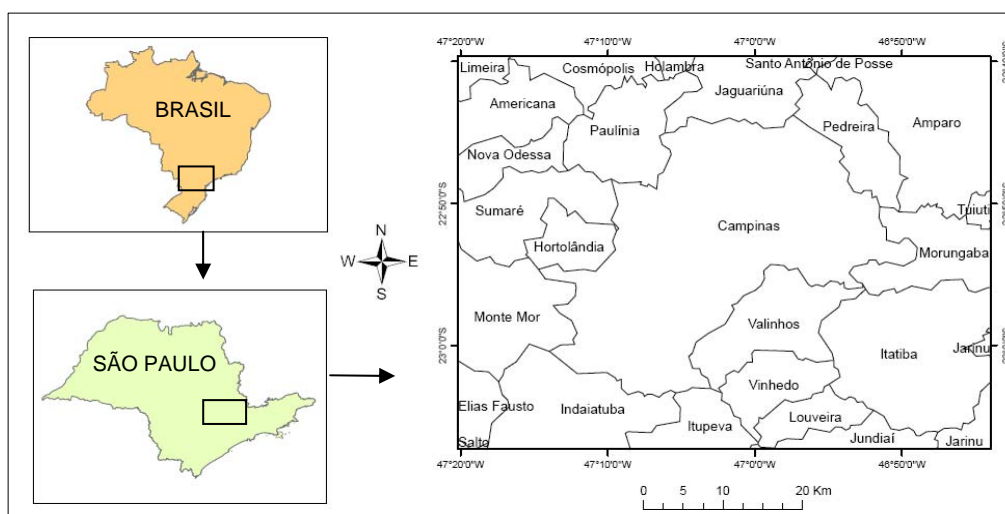
Na atualidade, são utilizados diversos métodos para a aplicação de transformações radiométricas e fusão de imagens de sensoriamento remoto. A partir das transformações, espera-se obter dados que representem grandezas físicas. A análise da influência de transformações radiométricas (caso específico da reflectância aparente e de superfície) sobre a classificação de imagens é uma área recente de pesquisa.

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 que operem em microondas. Um exemplo de fusão de imagens voltada a estudos urbanos pode ser encontrada no trabalho de Terrettaz (1998). Este autor efetuou uma comparação entre métodos de fusão de imagens multiespectrais e pancromáticas SPOT, avaliando os seus resultados sobre área urbana.

No Brasil, podem ser citadas como referências os trabalhos de Leonardi et al. (2005) e Telles Júnior e Rosa (2005). Leonardi et al. (2005) compararam três métodos de fusão: IHS, Componentes Principais e Transformada *Wavelet* utilizando dados dos satélites CBERS, SPOT, Landsat e Quickbird. Seus resultados apontaram o método da fusão por Componentes Principais como tendo apresentado o melhor resultado para a área em estudo. Telles Júnior e Rosa (2005) enfocaram a fusão pela Transformada *Wavelet* e aplicaram seus estudos com imagens SPOT e CBERS.

A área escolhida para o desenvolvimento desta pesquisa foi o Município de Campinas, devido à disponibilidade de dados. Localizado na porção centro-leste do Estado de São Paulo, a aproximadamente 100 quilômetros da capital, Campinas é a maior cidade do interior de São Paulo, e é caracterizada por uma forte industrialização, intensificada a partir da década de 1970. Além deste, a proximidade com a capital e a estrutura remanescente da economia cafeeira são fatores que respaldam o intenso crescimento urbano do município, que no ano 2000 teve uma população total registrada de 907.997 habitantes (IPEA, 2002).

Processos típicos das regiões metropolitanas brasileiras ocorrem em Campinas, como a formação de favelas e cortiços e a forte expansão urbana, intensificando-se o processo de verticalização no núcleo central bem como a conurbação com cidades vizinhas (**figura 1**).



**Figura 1:** Localização do município de Campinas.

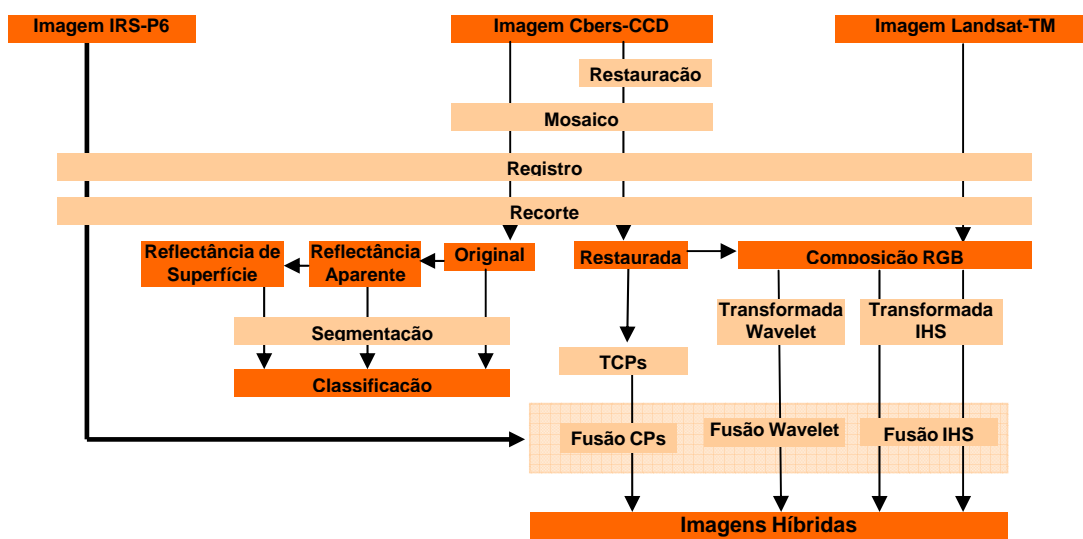
## 2. Material e Métodos

A primeira etapa do trabalho compreendeu a seleção das imagens (**tabela 1**) e o pré-processamento. Os *software* utilizados para o processamento digital das imagens nas diversas etapas foram o SPRING 4.2, ENVI 4.1 e ERDAS Imagine 8.5, além de aplicativos desenvolvidos para transformações e fusões. Na **Figura 2** é apresentado o fluxograma metodológico do trabalho.

Na etapa de pré-processamento as duas cenas CCD foram mosaicadas. Em seguida, as imagens CCD e TM foram recortadas e registradas em relação a imagem IRS-P6, recortada inicialmente. Na imagem CCD foi aplicado um filtro de restauração e na imagem IRS um aumento linear de contraste.

**Tabela 1:** Características das imagens utilizadas

Satélite (Sensor)	Resolução Espacial	Bandas	Faixa imageada	Resolução temporal	Cena (Órbita/Ponto)	Data de aquisição
IRS-P6 (LISS-IV)	5,8m	Monocromática 0,62 - 0,68 $\mu$ m (vermelho)	70 km	5 dias	331/94	11/02/05
CBERS-2 (CCD)	20m	Multiespectrais 0,45 - 0,52 $\mu$ m (azul) 0,52 - 0,59 $\mu$ m (verde) 0,63 - 0,69 $\mu$ m (vermelho) 0,77 - 0,89 $\mu$ m (IVP)	113 km	26 dias	155/125 e 155/126	17/02/05
LANDSAT-5 (TM)	30m	Multiespectrais 0,52 - 0,60 $\mu$ m (verde) 0,63 - 0,69 $\mu$ m (vermelho) 0,76 - 0,90 $\mu$ m (IVP)	185 km	16 dias	219/76	19/03/05



**Figura 2:** Fluxograma metodológico.

Além da restauração, a imagem CCD original foi convertida para valores de reflectância aparente e reflectância de superfície. Estas transformações efetuaram-se através do aplicativo *SCORADIS* (Machado et al., 2003), desenvolvido pelo Centro de Estudos Meteorológicos e Climáticos Aplicados à Agricultura da Universidade Estadual de Campinas (CEPAGRI/UNICAMP) para aplicar o modelo 5S (*Simulation du Signal Satellitaire dans le Spectre Solaire*) de correção atmosférica. O modelo inclui como parâmetros de entrada a data de aquisição da imagem, longitude e latitude, modelo de aerossóis (continental, marítimo, urbano, particular, sem aerossóis), modelo atmosférico (verão, inverno, tropical, sem absorção gasosa) e visibilidade, apresentando versatilidade conforme a realidade da cena.

As imagens em nível digital originais, em reflectância aparente e de superfície foram submetidas à segmentação segundo o método de crescimento de regiões e, posteriormente, classificadas pelo método não-supervisionado ISOSEG, para avaliar os impactos das transformações radiométricas. A etapa seguinte compreendeu a execução de transformadas nas imagens originais que precederam as fusões.

A fusão por IHS foi executada a partir de uma transformação das composições coloridas falsa-cor R3G4B2 e R4G3B2 (dados de entrada), resultando em três bandas: I (*Intensity*) – Intensidade, H (*Hue*) – Matiz e S (*Saturation*) – Saturação. Na transformação IHS inversa foi substituída a componente I pela banda monocromática LISS-IV e inseridas as componentes H e S (sem ou com *offset* de 50 níveis de cinza na componente S).

A fusão também foi efetuada a partir da Transformação por Componentes Principais, comumente empregada para a redução da dimensionalidade dos dados. Para a fusão, a primeira componente foi substituída pela imagem monocromática, que apresenta como característica intrínseca uma maior variância, refletindo na quantidade de informação.

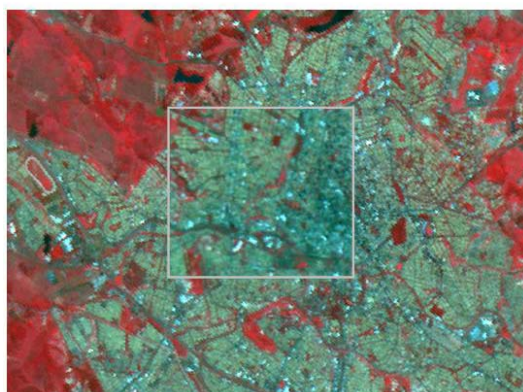
O terceiro método de fusão empregado foi a Transformada *Wavelet*, através do aplicativo *Wavefusion*, desenvolvido por Ventura (2002). O método *Wavelet* efetua inicialmente uma uniformização da imagem pancromática em relação às imagens multiespectrais. Em seguida, o algoritmo efetua a transformação da imagem em cópias de diferentes resoluções, armazenando separadamente os detalhes da imagem por meio de informações horizontais, diagonais e verticais.

Os produtos das diferentes técnicas de fusão empregadas foram avaliados visualmente, quanto à manutenção das cores originais da composição multiespectral. O resultado da fusão pelo método IHS também foi comparado com a fusão considerando as bandas multiespectrais 2, 3 e 4 do sensor TM/Landsat-5.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Pré-Processamento

Para a restauração das bandas originais CCD foram testados diversos valores de EIFOV, tendo a avaliação dos resultados sido feita visualmente. Os melhores resultados foram encontrados com 40 em X e 34 em Y, coeficientes que foram adotados para todas as bandas. Os resultados da restauração em uma visão geral da imagem são apresentados na **Figura 3**.



**Figura 3:** Visualização da imagem CCD restaurada (R4G3B2). No detalhe, imagem original.

Visivelmente não foi observado ruído e, por essa razão, acredita-se que a quantidade de informação apresentada seja maior, em virtude do aumento proporcional na variância das imagens, considerando todas as bandas, como mostra a **Tabela 2**.

**Tabela 2:** Variância das bandas originais e transformadas do sensor CCD/CBERS-2

Banda CCD/CBERS	Original	Restaurada <sup>1</sup>	Reflectância Aparente	Reflectância de Superfície <sup>2</sup>
<b>Banda 1</b>	966,86	1047,97	18,33	32,02
<b>Banda 2</b>	370,69	414,68	26,18	42,92
<b>Banda 3</b>	162,48	175,92	42,43	64,09
<b>Banda 4</b>	594,87	649,10	96,39	136,95

<sup>1</sup> As bandas originais foram restauradas através do método do Filtro Inverso Modificado.

<sup>2</sup> A correção atmosférica das imagens foi efetuada segundo o método 5S.

#### 3.2 Transformações Radiométricas

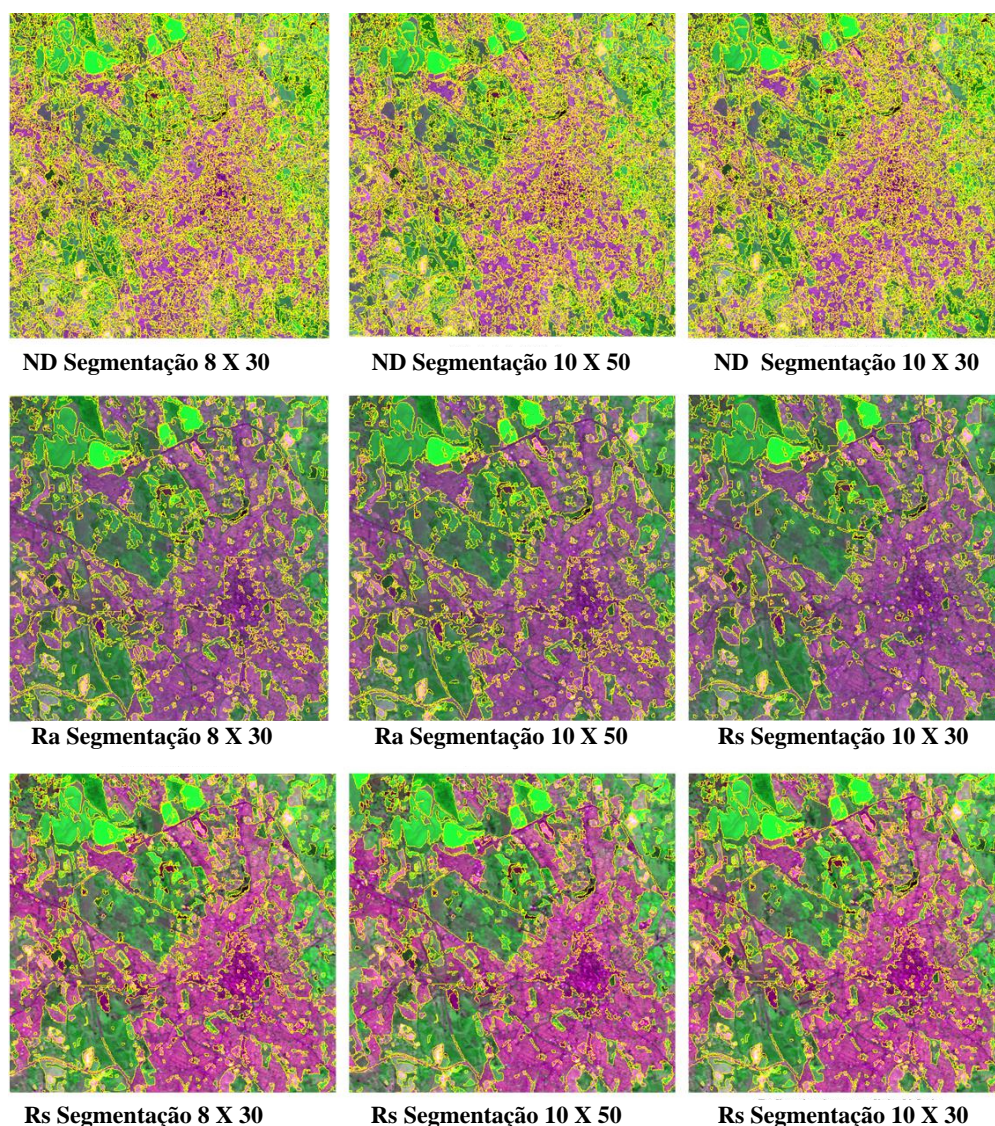
As imagens CCD em reflectância aparente e reflectância de superfície são apresentadas na **Figura 4**. Os parâmetros utilizados no modelo 5S foram: modelo tropical de atmosfera, modelo continental de aerossóis e 20 km de visibilidade.



**Figura 4:** Imagem CCD original (ND) e imagens transformadas para reflectância aparente (Ra) e reflectância de superfície (Rs). Composição colorida R3G4B2 sem contraste.

As imagens transformadas e a imagem original foram segmentadas considerando os valores de 8 e 10 níveis de cinza para a similaridade e de 30 e 50 pixels para a área, a partir das bandas 2, 3 e 4 dos sensor CCD. Os diferentes limiares foram aplicados a fim de avaliar

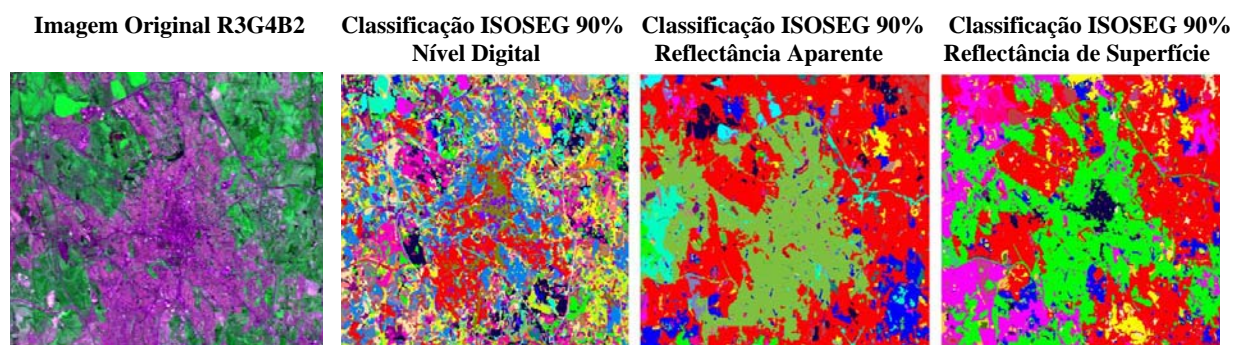
visualmente o valor mais adequado à cena. A **Figura 5** apresenta o resultado da segmentação com os diferentes limiares para um recorte da imagem CCD. O limiar escolhido para a segmentação foi de 10 níveis de cinza de similaridade e 30 pixels como área mínima de aceitação. Apesar de visualmente as segmentações das imagens de reflectância aparente e de superfície apresentarem melhor separabilidade dos alvos, o procedimento de classificação foi realizado também para a imagem em nível digital original.



**Figura 5:** Testes de Segmentação da imagem CCD com diferentes limiares.

Partindo da segmentação considerando o limiar 10 x 50, as imagens foram classificadas sem a escolha de áreas de treinamento pelo ISOSEG, considerando um limiar de aceitação de 90% (**figura 6**). O limiar 10 x 50 foi escolhido por apresentar, no espaço intra-urbano, a melhor separação de áreas mais densamente ocupadas em relação às demais.

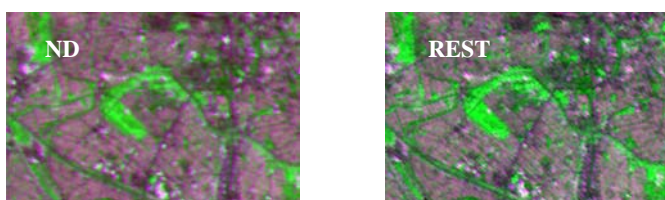
O resultado da classificação utilizando como base a imagem que sofreu correção atmosférica apresentou melhor desempenho. Pode-se observar que, neste caso, a área urbana (aparece na figura em verde) foi diferenciada das áreas de vegetação (em vermelho). Além disso, foi diferenciada a área de ocupação urbana mais densa, correspondente à porção central do município de Campinas (em preto).



**Figura 6:** Classificação não-supervisionada das imagens CCD/CBERS.

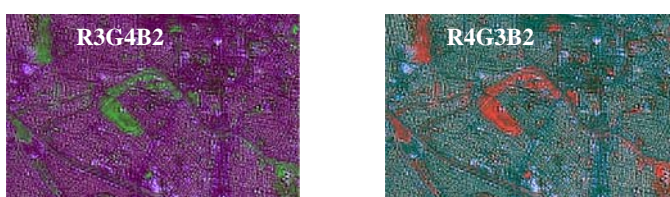
### 3.3 Fusão de imagens

A fusão de imagens CCD e LISS-IV foi efetuada segundo três métodos de transformação: IHS, *Wavelet* e Componentes Principais. Os resultados da fusão pelo método de Componentes Principais são apresentados na **Figura 7**, considerando a fusão com a substituição da primeira componente pela imagem monocromática.



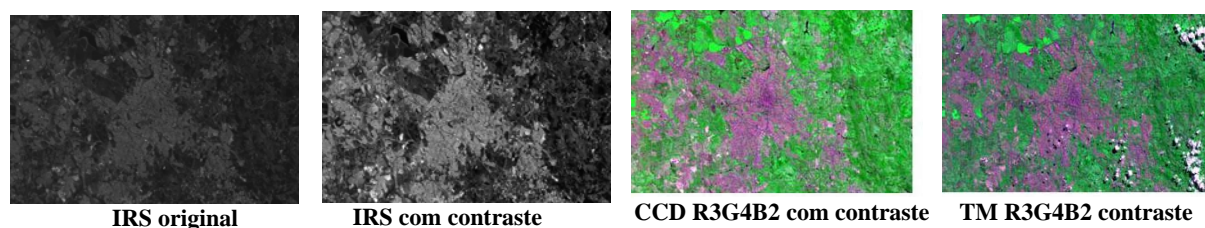
**Figura 7:** Imagem híbrida (detalhe) para a imagens original (ND) e restaurada (REST).

A fusão pela Transformada *Wavelet* através do aplicativo *Wavefusion* gerou três imagens que, em falsa-cor, podem ser visualizadas, para um recorte da imagem, na **Figura 8**. Comparando com a fusão por Componentes Principais, observa-se que a *Wavelet* preservou melhor a informação de cores e os atributos espaciais, possivelmente como consequência da filtragem realizada na imagem ao ser transformada.



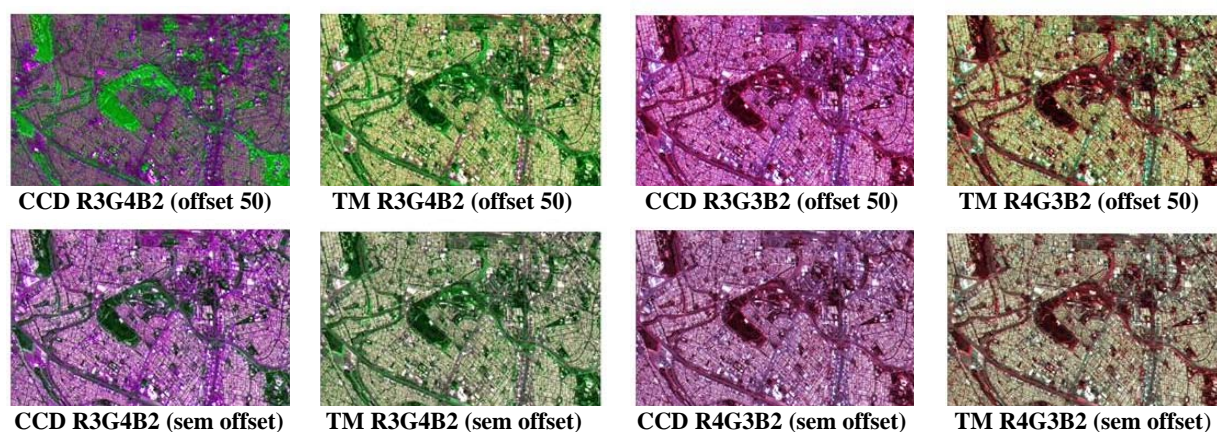
**Figura 8:** Fusão através da Transformada *Wavelet* (detalhe).

A fusão por IHS foi aplicada tanto às imagens CCD quanto às imagens TM. A **Figura 9** apresenta as imagens originais realçadas por contraste e a imagem monocromática.



**Figura 9:** Imagens IRS, CBERS e LANDSAT utilizadas para a fusão de imagens.

Os resultados obtidos com a aplicação do método de fusão IHS podem ser visualizados na **Figura 10**. Visualmente, o método IHS foi o que apresentou os melhores resultados na fusão. Embora os intervalos espectrais das bandas utilizadas (2, 3 e 4) sejam praticamente os mesmos, a representação das cores dos alvos no espaço RGB foi diferente para o TM em relação ao CCD. A aplicação de um *offset* de 50 níveis de cinza na componente S – Saturação inserida na transformação inversa não tornou as imagens mais nítidas, como era esperado.



**Figura 10:** Resultados da fusão pelo método IHS para as imagens CCD e TM com e sem aplicação de *offset* na componente Saturação.

### 3.3.1 Avaliação dos Resultados

Os aspectos mais importantes a serem avaliados nos resultados de uma fusão de imagens, conforme apontam Leonardi et al. (2005), são a qualidade espectral e a qualidade espacial da imagem híbrida. Um método de fusão eficiente seria aquele capaz de preservar a informação de cores das imagens originais multiespectrais (qualidade espectral) e os detalhes espaciais da imagem pancromática, no produto híbrido gerado a partir da fusão. As autoras (op. cit.) citam como formas de avaliação medidas estatísticas, imagem diferença e o IQI (*Image Quality Index*), desenvolvido por Wang e Bovik (2002).

Por sua vez, Telles Júnior e Rosa (2005) consideram que uma imagem com erros de registro pode levar ao surgimento de falsas cores e feições artificiais após a fusão. Além disso, é importante considerar que a fusão pelo método 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.

Embora visualmente os melhores resultados com a fusão de imagens tenham sido obtidos com o método IHS, não houve boa representação de cores porque a imagem utilizada não é pancromática, e sim, monocromática, tendo como intervalo espectral somente a faixa do vermelho, de 0,62 a 0,68  $\mu\text{m}$ . Embora o satélite IRS-P6, também conhecido como Resourcesat-1, seja um aprimoramento do satélite IRS-1D, o qual dispunha de uma banda pancromática com intervalo espectral de 0,5 a 0,75  $\mu\text{m}$  e 6 m de resolução espacial, ele não possui uma banda pancromática. Conforme NRSA (2003), o IRS-P6 possui três sensores a bordo: o *Linear Imaging and Self Scanning Sensor* (LISS-III), o *Advanced Wide Field Sensor* (AWiFS) e o LISS-IV. A LISS-IV é uma câmara multiespectral de alta resolução espacial, chegando a 5,8 m no nadir, e possui dois modos de aquisição. No multiespectral, os dados são adquiridos em três faixas espectrais: 0,52 – 0,59  $\mu\text{m}$ , 0,62 – 0,68  $\mu\text{m}$  e 0,76 – 0,86  $\mu\text{m}$ . No monocromático, apenas uma banda opera (no caso, a vermelha), obtendo imagens de uma faixa de 70 km, com a mesma resolução espacial do modo multiespectral, que imageia apenas

23 km. Por essa razão, as imagens monocromáticas deste sensor não estão entre as mais adequadas para a realização de processamentos digitais que envolvam a fusão de imagens.

#### 4. Conclusões

A aplicação das transformações radiométricas sobre imagens CCD, em especial a correção atmosférica, facilitou a classificação, considerando o método não-supervisionado ISOSEG. Embora tenha sido reduzida a variância das bandas após a conversão para reflectância e correção atmosférica, em virtude da forte heterogeneidade espectral das áreas urbanas conclui-se que uma variância elevada não é ideal para a classificação na área em questão.

Os métodos de fusão de imagens aplicados mostraram resultados distintos quanto à qualidade visual das imagens híbridas. Considerando as técnicas de Componentes Principais, Transformada *Wavelet* e IHS, os melhores resultados foram obtidos com o método IHS, embora a qualidade espectral tenha sido reduzida em função do não recobrimento do intervalo espectral das imagens CCD e TM pela banda pancromática utilizada que, na verdade, é uma imagem monocromática da faixa do vermelho.

Finalizando, este trabalho permitiu estender a possibilidade de aplicação dos dados CCD em estudos urbanos, consolidando sua utilidade nas pesquisas desenvolvidas no campo do sensoriamento remoto. Além disso, testou métodos de fusão de forma pioneira com uma imagem de um sistema sensor ainda pouco conhecido no Brasil, o indiano LISS-IV.

#### 5. Agradecimentos

Agradecemos à contribuição dos pesquisadores do INPE Madalena N. Pereira por ceder a imagem LISS-IV/IRS-P6 para a fusão; Flávio J. Ponzoni, pelo apoio na execução das transformações radiométricas e Sílvia S. Leonardi, na aplicação da Transformada *Wavelet*. Agradecemos também a OBT/INPE pelo acesso gratuito às imagens CCD/CBERS-2.

#### 6. Referências Bibliográficas

- IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Gestão do uso do solo e disfunções do crescimento urbano: instrumentos de planejamento e gestão urbana: São Paulo e Campinas**. Brasília: IPEA, 2002. 224 p.
- Leonardi, S. S.; Ortiz, J. O.; Fonseca, L. M. G. Comparação de técnicas de fusão de imagens para diferentes sensores orbitais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XII, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005, p. 4111-4113.
- Machado, H. M.; Lamparelli, R. A. C.; Rocha, J. V.; Zullo Júnior, J. Estudo da variação de parâmetros atmosféricos necessários para correção atmosférica de imagens de satélite. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XI, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003, p. 2537-2539.
- NRSA. National Remote Sensing Agency. **Resourcesat-1 IRS-P6 Data User's Handbook**. Hyderabad: NRSA, 2003. 142p.
- Small, C. A Global analysis of urban reflectance. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 4, p. 661-681. 2005.
- Telles Júnior, M. A. B. G.; Rosa, A. N. C. S. Fusão de imagens SPOT-5 e CBERS-2 utilizando transformada *wavelet*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XII, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005, p. 4335-4342.
- Terrettaz, P. Comparison of different methods to merge SPOT T and XS data: evaluation in an urban area. **Future trends in remote sensing**. Rotterdam, Holanda, 1998. p. 435-443.
- Ventura, F. N. **Fusão de imagens de sensores remotos utilizando transformada *wavelet***. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002.
- Wang, Z.; Bovik, A.C. A universal image quality index. **IEEE Signal Processing Letters**, v. 9, n. 3, p. 81-84, 2002.