

## Fusão de imagens multitemporais SPOT-5 e CBERS-2 utilizando transformada *wavelet*

Miguel Archanjo Bacellar Goes Telles Junior<sup>1,2</sup>  
Antônio Nuno de Castro Santa Rosa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Brasília –IG/UnB  
Campus Universitário Darcy Ribeiro – ICC Sul – 70910-000 – Brasília-DF, Brasil  
miguel@cic.unb.br – nunos@unb.br

<sup>2</sup> Centro de Ensino Universitário de Brasília – FAET/UniCEUB  
SEPN 707/907 – Campus do UniCEUB – 70790-075 - Brasília-DF, Brasil  
miguel045243@ceub.br

**Abstract.** The objective of this research is to present results of image fusion using CBERS 2 and SPOT 5 data. The image fusion method used in this research is based on the wavelet transform and multi-resolution analysis. The goal of the image fusion method used in this paper is to separate fusion and resampling in different stages, allowing the use of different filters in each stage to reach better results in the fusion of these data. The goal of image fusion is to aggregate the spatial and spectral advantages of two different images in a single synthetic product. The statistical analysis showed good results regarding this new method in the study case considered in this paper.

**Palavras-chave:** transformada *wavelet*, fusão de imagens, biortogonal, sensoriamento remoto, CBERS 2, wavelet transform, image fusion, biorthogonal, remote sensing.

### 1. Introdução

O objetivo desta pesquisa é apresentar a fusão multitemporal das imagens dos satélites CBERS 2 e SPOT 5. As imagens utilizadas são de Brasília-DF e foram adquiridas em 8 de setembro de 2004 e 29 de abril de 2003 respectivamente. O método de fusão utilizado é o aditivo de sub-bandas, Telles (2003), que é uma variação dos métodos que empregam a transformada *wavelet* (TW) e a análise e multiresolução (AMR). Este método apresenta como vantagem a separação dos estágios de reamostragem e fusão, e possibilitando com isso o uso dos diferentes filtros em cada um desses estágios. Os resultados obtidos com a fusão são comparados com a imagem CBERS 2 original reamostrada. Os métodos que utilizam a TW e a AMR são pesquisados há quase uma década, com variações entre eles no processo de seleção de coeficientes, filtros, escalas e sensores.

Para que a fusão de imagens possa ser realizada é necessário que elas estejam sob um mesmo sistema de coordenadas, ou que tenham sido pré-processadas, de tal forma que estejam representando a mesma região espacial. Isto é chamado de alinhamento ou georreferenciamento, após o qual as imagens podem ser superpostas e operações matemáticas possam ser realizadas em cada pixel.

O alinhamento das imagens pode ser obtido por intermédio do registro das imagens que serão objetos da fusão. O erro desse registro deve ser menor que um pixel.

O registro é um processo de sobreposição de duas ou mais imagens de uma mesma cena. A imagem registrada é chamada de imagem de referência, e a outra é chamada de imagem de ajuste. Este processo é realizado de tal forma que as coordenadas de um ponto em cada uma das imagens correspondam à mesma região física Fonseca e Manjunath (1996), Pohl e Tournon (1999).

### 2. Transformada *wavelet* e análise em multiresolução

A transformada *wavelet* insere-se no conceito de algoritmos piramidais, os quais são imagens transformadas em cópias da imagem em diferentes resoluções Watt e Policarpo (1998). Uma imagem piramidal pode ser definida como a imagem base da pirâmide, sendo a mais alta e com maior resolução, junto a cópias mais baixas de menor resolução. A *wavelet* é a mais utilizada e pode ser definida como um tipo de banda passante, com a diferença de armazenar separadamente os detalhes da imagem por meio de informações horizontais (LH), diagonais (HH) e verticais (HL). As informações do espectro da imagem são armazenadas na banda de aproximação (LL). As imagens de detalhes nada são que a representação das bordas, em cada uma das direções obtidas pela transformada.

A TW é capaz de diferenciar na imagem partes representadas em diferentes resoluções Watt e Policarpo (1998). Ela é um método adaptativo, pois consegue tratar partes de uma imagem de modos diferentes. Além de possuir suporte compacto, as *wavelets* possuem as seguintes características:

- O número de pixels da transformada é igual ao número de pixels da imagem;
- A transformada possui uma estrutura recursiva, com resolução em nível de árvore.

A TW contínua é obtida reunindo-se as propriedades de dilatação e translação em um único protótipo de função de base. Com isso, obtemos funções *wavelet* contínuas ortonormais, onde as dilatações e as translações são dadas por duas variáveis nomeadas  $a$  e  $b$ , respectivamente.

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right). \quad (1)$$

Nossa percepção do universo utiliza o conceito de escala, onde cada observação realizada é feita em uma escala adequada para a compreensão dos diferentes detalhes de que precisamos. O conceito de análise em multiresolução foi utilizado por Mallat (1989). Por intermédio da aplicação deste conceito podemos construir famílias de *wavelets* discretas e desenvolver algoritmos rápidos para o cálculo da transformada. A AMR parte da existência de duas funções básicas, uma função *wavelet* mãe  $\Psi(t)$  e uma função de escala mãe  $\phi(t)$ , ortogonais entre si e tais que, ao longo dos diversos níveis de resolução, as várias funções de escala  $\phi_{m,n}(t)$  e *wavelet*  $\Psi_{m,n}(t)$  estão relacionadas às respectivas funções-mãe por meio das seguintes equações:

$$\phi_{m,n}(t) = 2^{-m/2} \phi(2^m t - n), \quad (3)$$

$$\Psi_{m,n}(t) = 2^{-m/2} \Psi(2^m t - n). \quad (4)$$

Os níveis de resolução são descritos sob a forma de um aninhamento de espaços de função, onde cada espaço de maior resolução contém os espaços de menor resolução, conforme expresso abaixo:

$$\dots \subset V_{-2} \subset V_{-1} \subset V_0 \subset V_1 \subset V_2 \subset \dots \quad (5)$$

A transformada *wavelet* bidimensional de uma imagem é obtida aplicando-se a transformada unidimensional às colunas da imagem depois, sobre as linhas. Isto é possível uma vez que a transformada *wavelet* é uma transformação unitária e, sendo assim, a transformada bidimensional torna-se separável caindo no caso da aplicação, da transformada unidimensional sobre cada dimensão da imagem.

### 3. Fusão de imagens

A fusão de dados pode ser dividida em três níveis : fusão de dados em nível de *pixel*; fusão em nível de feições (*feature level*); e fusão em nível de decisão (*decision level*), segundo Wald (1999) e Chao *et al.* (2002).

Fusão de imagens no nível de *pixel* significa: fundir no mais baixo nível de processamento e corresponde a fusão de parâmetros físicos da imagem. Neste método, dados

em formato *raster* têm que estar registrados. Uma imagem com erros significativos de registro pode levar a uma mal interpretação, surgimento de falsas cores e feições artificiais após a fusão. O registro inclui a reamostragem dos dados para um novo espaçamento entre os *pixels* e uma nova projeção. Uma comparação entre os métodos de correção geométrica e radiométrica pode ser obtida em Cheng *et al.* (1995) e Toutin (1994).

A correção geométrica tem por objetivo assegurar que as imagens a serem fundidas representem o mesmo espaço independente de terem sido adquiridas por diferentes sensores e possuírem diferentes resoluções espaciais.

O objetivo de efetuar a fusão de imagens pancromáticas, com maior resolução espacial e imagens multiespectrais, com menor resolução espacial é incrementar os detalhes da imagem e preservar a informação espectral. O resultado é uma imagem sintética com resolução espacial da imagem pancromática e contendo informações espectrais

A correção radiométrica consiste no ajuste do brilho e do contraste da imagem pancromática, com o brilho e o contraste das bandas espectrais. Ela é necessária, pois a qualidade da fusão depende fortemente da correlação entre as imagens.

#### 4. Método de fusão aditivo de sub-bandas

O método de fusão utilizado nesta pesquisa é realizado em duas etapas: fusão e reamostragem. Seu objetivo é permitir o uso de diferentes funções de base para a transformada *wavelet* em cada uma das etapas, com diferentes possibilidades em relação aos níveis de fusão e reamostragem.

Antes da fusão e reamostragem, há uma etapa de pré-processamento na qual as imagens são avaliadas quanto à razão entre seus números de linhas e colunas. Isto é feito por dois motivos: verificar se a razão entre elas é uma potência de dois, e se não for uma reamostragem da imagem é feita para a potência de 2 mais próxima, e para isso, é utilizado o interpolador vizinho mais próximo.

A etapa de fusão é dividida em três fases: decomposição, soma de sub-bandas e fusão propriamente dita. A soma de sub-bandas é utilizada como uma etapa intermediária da fusão, e seu objetivo é enriquecer a sub-banda LL da imagem multiespectral, com os coeficientes de detalhes das sub-bandas LH, HL e HH da imagem pancromática por intermédio de uma soma direta entre os coeficientes das sub-bandas de detalhes da imagem pancromática e de aproximação da imagem multiespectral. Essa soma irá produzir uma imagem  $\tilde{B}$ , com informação espectral e detalhes da imagem pancromática no nível intermediário da fusão.

A fusão é feita a partir das imagens  $\tilde{B}$  e multiespectral. Nesta etapa as imagens possuem a mesma dimensão e são decompostas em um nível de fusão  $l_{Fusão}$ , ocorrendo nesse nível, a substituição da sub-banda LL de  $\tilde{B}$  pela sub-banda LL da imagem multiespectral, sendo produzida a imagem sintética  $\tilde{\tilde{B}}$  que é reconstruída, terminando desta forma a etapa da fusão. **Figura 2.**

Para a etapa de reamostragem é necessário que a imagem pancromática tenha seu histograma ajustado com o histograma da imagem multiespectral. Esse ajuste aproxima os valores da média e variância da imagem pancromática aos valores de média e variância da imagem multiespectral. O diagrama da reamostragem pode ser observado na **figura 3.**

Um algoritmo de escala é utilizado para calcular a razão entre as imagens. O resultado é um nível mínimo de reamostragem  $l_R$ , a partir do qual as imagens podem ser decompostas pela transformada *wavelet*.

A reamostragem pela TW é realizada decompondo a imagem pancromática ajustada e a imagem  $\tilde{B}$ , em um nível de reamostragem  $\geq l_R$ . Uma vez decompostas é feita a substituição da sub-banda LL da imagem pancromática ajustada pela sub-banda LL da imagem  $\tilde{B}$ . Após a substituição, é utilizado o Algoritmo Aditivo com Fator de Compensação de Cor (AAFCC), proposto por Ventura (2002), para a seleção dos coeficientes de detalhes da transformada *wavelet* inversa.

O AAFCC é utilizado para permitir que parte dos coeficientes de detalhes da imagem multiespectral seja introduzida na imagem sintética para compensar a perda de informação espectral nas bordas dessa imagem. Os detalhes da imagem multiespectral são inseridos em função do fator de correlação entre a imagem pancromática ajustada e a imagem  $\tilde{B}$ .

Após a reconstrução é obtida a imagem sintética com resolução espacial da imagem pancromática original e com informação espectral da imagem multiespectral de menor resolução espacial.

## 5. Fusão de imagens multitemporais CBERS 2 e SPOT 5

A fusão multitemporal deste trabalho de pesquisa é um experimento que utiliza imagens dos sensores CCD do CBERS 2 e HRG do SPOT 5. As imagens utilizadas são da região de Brasília-DF e foram adquiridas em 8 de setembro de 2004 e 29 de abril de 2003, respectivamente. Na **tabela 3** são apresentadas as resoluções espectrais e espaciais das imagens utilizadas na pesquisa.

As bandas utilizadas foram as bandas CCD 1, CCD 2 e CCD 3 do sensor CCD. A banda de alta resolução é banda XS 2, com resolução espacial de 10 metros, e que teve seu histograma ajustado a cada uma das bandas do sensor CCD. O ajuste do histograma é uma técnica onde a distribuição dos níveis de cinza de uma imagem é utilizada para ajustar o histograma de outra imagem, ou seja, a distribuição dos valores de pixel de uma imagem é igualada ou aproximada ao de uma outra imagem. Em última análise, o ajuste do histograma aproxima os valores da média e variância da imagem de ajuste à imagem de referência. Todo o processamento foi feito a partir dessas bandas ajustadas.

A **tabela 1** apresenta os parâmetros utilizados para fusão e reamostragem. De acordo com Yocky (1995), a imagem sintética resultante da fusão depende da base *wavelet* usada na decomposição. A imagem resultante da fusão e reamostragem, **figura 5**, é chamada de imagem sintética.

**Tabela 1** – Parâmetros da fusão e reamostragem

Parâmetros de Processamento	Tipo de Processamento	
	Fusão	Reamostragem
Nível de decomposição	4	2
Nível de fusão	4	2
Algoritmo de fusão	Soma de subbandas	-
Tipo de filtro	Coef03 (Cheong <i>et al.</i> , 1992)	Coef05 (Cheong <i>et al.</i> , 1992)

Para avaliar o resultado da fusão foi produzida, a partir da imagem original, uma outra imagem reamostrada, para o tamanho da imagem de maior resolução espacial, **figura 4**. Foram realizadas medidas estatísticas entre a imagem sintética e a imagem original reamostrada.

Observa-se na **tabela 2**, que há uma variação muito pequena entre os valores da média e do desvio padrão entre a imagem original e a imagem reamostrada. Isso é importante, pois valida as análises e comparações entre a imagem sintética e reamostrada. Analisando os dados

contidos na **tabela 2**, podemos observar que os valores da média entre a imagem original reamostrada e a imagem sintética são bastantes próximos um do outro. O valor da média serve ainda com uma medida do brilho da imagem. Valores como os encontrados na **tabela 2**, indicam uma imagem de pouco brilho.

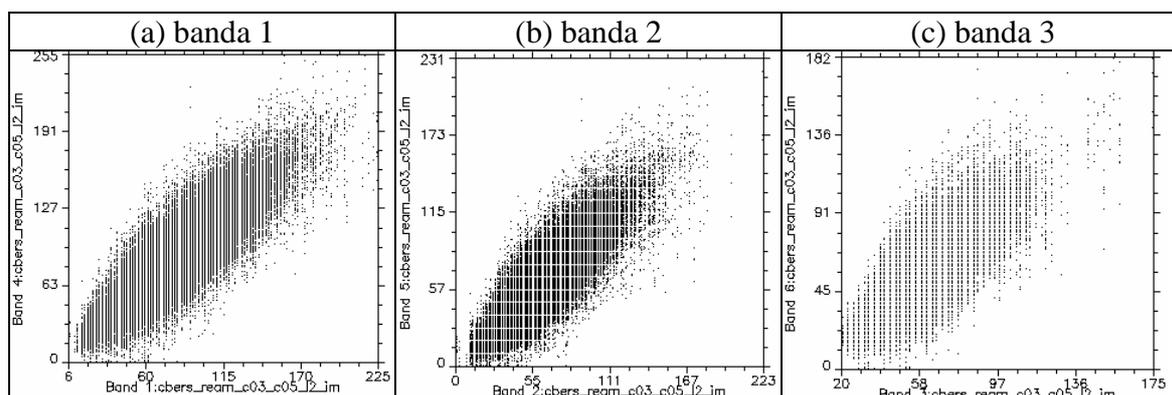
Na **tabela 3** são apresentados os coeficientes de correlação entre as imagens reamostrada e sintética. A menor correlação na banda 1, se deve à influência do intervalo espectral da imagem SPOT 5, que em função de seu intervalo espectral original apresenta uma baixa correlação com o intervalo da banda 1, mesmo com o ajuste de histograma e com a compensação de informação espectral para as bordas. Apesar disso os *scatter plot* da **figura 1** apresenta uma boa correlação entre as imagens reamostrada e sintética.

**Tabela 2** – Medidas estatísticas das CBERS reamostrada, sintética e CBERS original.

Banda	Imagem	Média	Desvio Padrão
1	CBERS_reamostrada	54,3284	16,5956
	sintética	49,1623	18,8128
	CBERS original	54,3011	16,6001
2	reamostrada	53,8759	25,3246
	sintética	53,7507	27,3241
	CBERS original	53,8477	25,3196
3	CBERS reamostrada	71,5590	30,2370
	sintética	76,1103	32,8359
	CBERS original	71,5242	30,2309

**Tabela 3** – Coeficientes de correlação entre imagem CBERS reamostrada e Sintética.

Banda	Imagem	Correlação
1	CBERS_reamostrada	0,862884
	sintética	
2	reamostrada	0,907458
	sintética	
3	CBERS reamostrada	0,908996
	sintética	



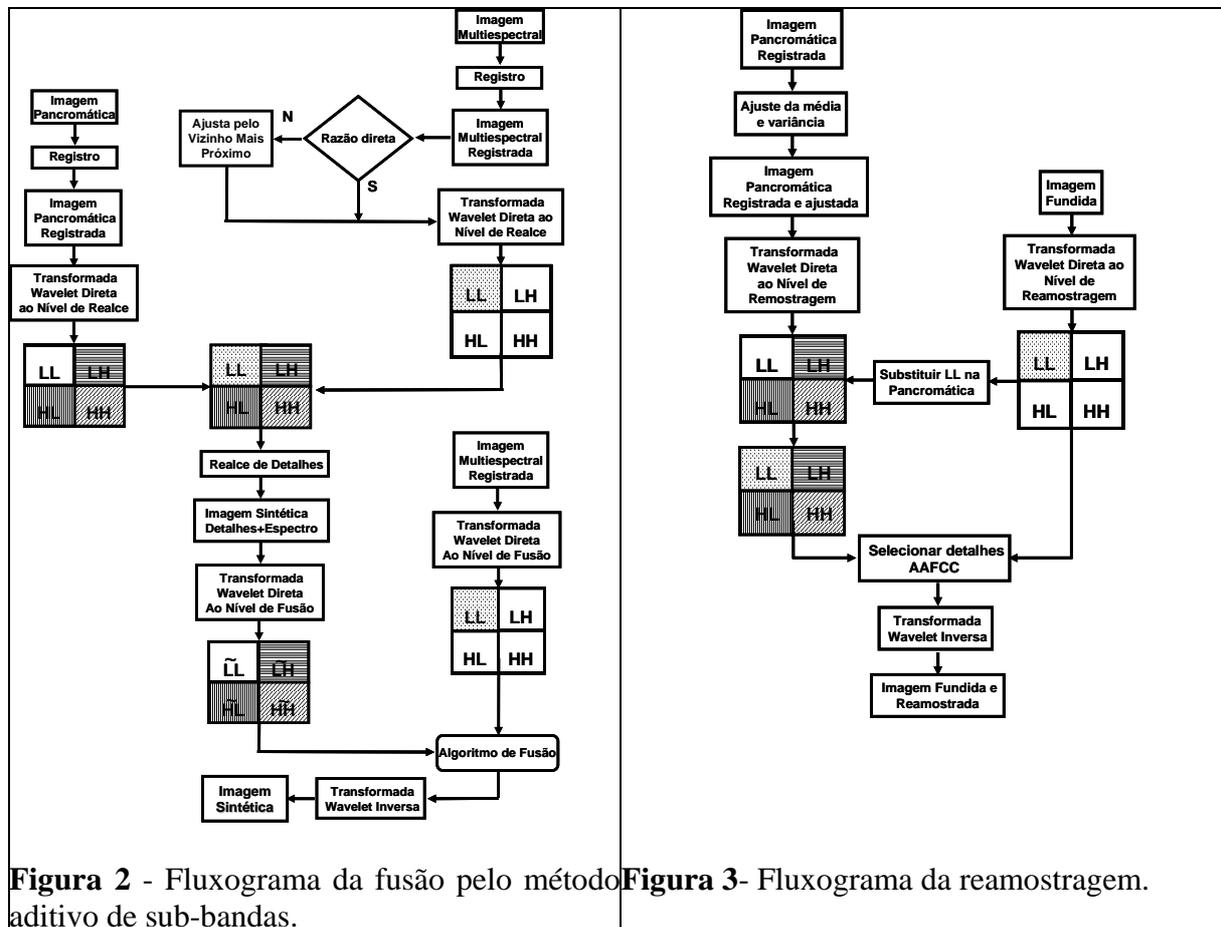
**Figura 1** – *scatter plot* entre as imagens CBERS reamostrada e sintética

O desvio padrão serve com indicador do grau de afastamento médio em relação à média. Para este caso observamos um valor baixo, indicando que a maioria dos pixels situam-se em valores próximos aos da média.

Comparando-se os valores da média e desvio padrão verifica-se que as imagens apresentam similaridade com valores da média e do desvio padrão muito próximos. Em uma análise visual, apesar de sua subjetividade, isso é observado.

**Tabela 4 – Resolução espectral e espacial das imagens CBERS 2 e SPOT 5**

		satélites/sensores		
		CBERS2 CCD	SPOT 5 HRG/XS	
Bandas espectrais utilizadas	azul	0,45 - 0,52	-	μm
	verde	0,52 - 0,59	0,50 - 0,59	
	vermelho	0,63 - 0,69	0,61 - 0,68	
	infravermelho próximo	0,77 - 0,89	0,79 - 0,89	
	infravermelho médio	-	-	
	pancromática	0,51—0,73	-	
Resolução espacial. Multiespectral		20	10	m
Resolução espacial pancromática		20	5	



## 6. Conclusão

O método utilizado na fusão mostrou-se adequado no que se refere à preservação do espectro e das bordas na imagem sintética. A cena escolhida apresenta como alvo predominante áreas urbanas e áreas antropizadas em diferentes estágios que são ricos em bordas, além de áreas com matas galeria e algumas fitofisionomias do cerrado.

A fusão preservou o espectro e as bordas da imagem de maior resolução espacial. O método utilizado mostrou-se flexível ao possibilitar a realização da fusão e da reamostragem em diferentes níveis, independentes entre si, assim como o uso de diferentes bases da transformada *wavelet* para cada uma dessas etapas.

As imagens utilizadas nesse estudo apresentaram diferentes: intervalos espectrais, resoluções espaciais, datas de aquisição e geometrias de aquisição e demonstram a flexibilidade do método utilizado em fundir imagens de diferentes sensores.

A fusão de imagens CBERS 2 com outros sistemas sensores é uma possibilidade que deve ser considerada nos estudos de vegetação, uso do solo, meio ambiente entre outras áreas.

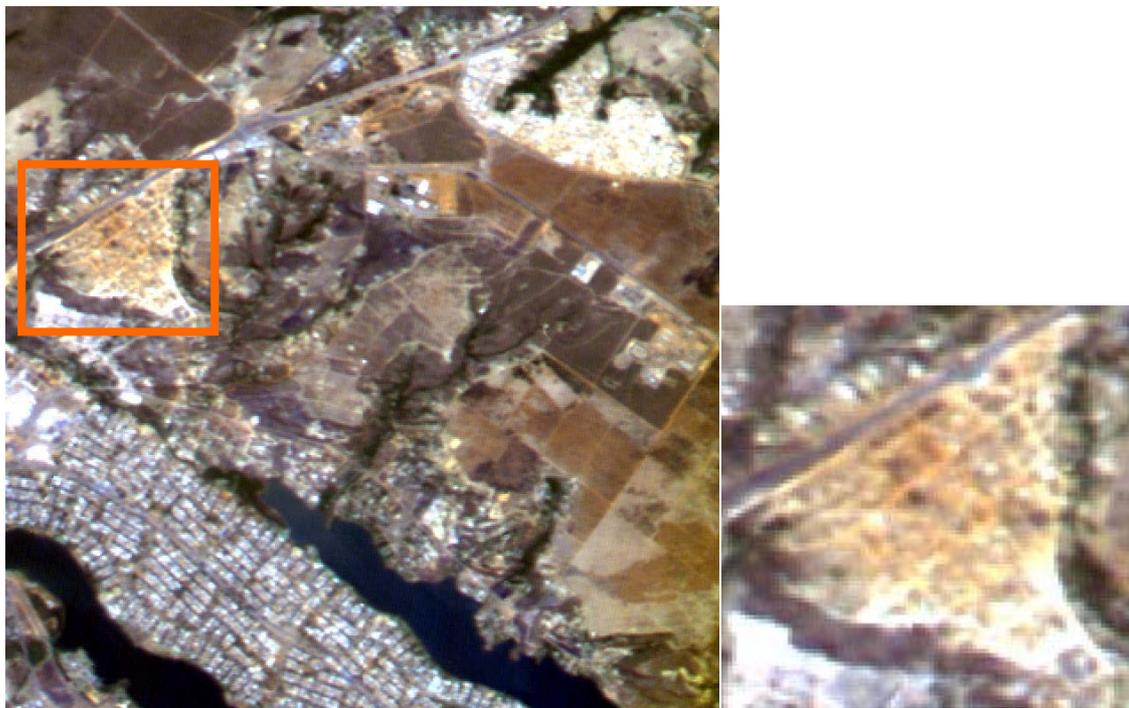
A avaliação da fusão de imagens CBERS 2 com outros sensores de maior resolução espacial de áreas de vegetação, e sua análise fica como sugestão para trabalhos futuros.

## 8. Agradecimentos

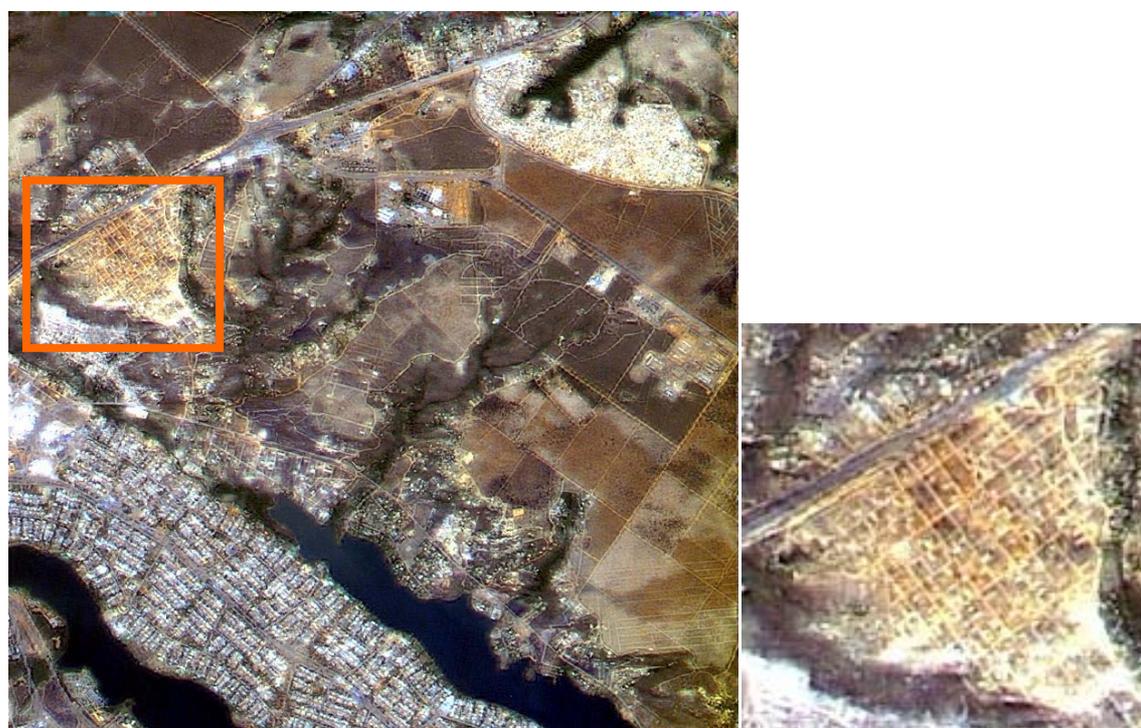
Gostaríamos de agradecer a iniciativa do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE em permitir o acesso público e gratuito às imagens CBERS e a empresa IMAGEM pela cessão da cena SPOT 5 utilizada neste trabalho.

## 7. Referências bibliográficas

- Chao, W.; Jishuang, Q.; Zhi, L. *Data fusion, the core technology for future on-board data processing system*. International Society for **Photogrammetry and Remote Sensing**, Future Intelligent Earth Observing Satellites - FIEOS 2002 Conference Proceedings. Denver – USA 2002.
- Cheng, P.; Toutin, T.; Pohl, C. *A Comparisson of geometric models for multisource data fusion*, **Proceedings of International Symposium GeoInformatics '95**, Hong Kong. p. 11-17. 1995.
- Cheong, C.; Aizawa, K.; Saito, T; Hatori, M. Subband image coding with biorthonormal wavelets, **EICE Trans. Fundamentals of Eletronics, Communications and Computer Sciences**. p. 871-881. 1992.
- Fonseca, L. M. G.; Manjunath, B.S. Registration techniques for multisensor remotely sensed imagery. **Journal of Photogrammetry Engineering & Remote Sensing**. Vol. 62 (9). p. 1049-56, Sep. 1996.
- Mallat, S. A Theory form multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v.11, n. 7, p. 674-693, 1989.
- Pohl, C., Genderen, J.L. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 19, n. 5, p.823- 854. 1998.
- Telles Jr, M. A. B. G. **Fusão de Imagens de Sensoriamento Remoto Utilizando a Transformada Wavelet**. 2003. 127p. Dissertação de Mestrado em Computação – Universidade de Brasília, Brasília. 2003.
- Toutin, T. *Multisource data integration with an integrated and unified geometric modeling*. Proceedings of 14th **EARSel Symposium on Sensors and Enviromental Applications**. p.163-174. Goteborg, 1994.
- Ventura, F. N. **Fusão de imagens de sensores remotos utilizando a transformada wavelet**. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 2002.
- Wald, L. Definitions and terms of reference in data fusion. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 32, part 7-4-3, W6, 1999.
- Watt, A.; Policarpo, F. **The Computer Image**, New York: Addison-Wesley, 1998.
- Yocky, D.A. Multiresolution wavelet decomposition image merger of Landsat Thematic Mapper and SPOT panchromatic data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 62, n. 9, p. 1067-1074. 1996.



**Figura 4** - Imagem CBERS-2 CCD321 reamostrada para 10 metros



**Figura 5** – Imagem sintética