

Simulação de uma imagem WFI/CBERS-3 para a classificação de massas d'água no Reservatório de Ibitinga – SP

Allan Saddi Arnesen¹
Rafael Damiani Ferreira¹
Fernando Bezerra Lopes²
Lino Augusto Sander de Carvalho¹
Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo¹
Leila Maria Garcia Fonseca¹
Giovanni de Araujo Boggione¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{allan, lino, evlyn}@dsr.inpe.br; {rafael, leila, giovanni}@dpi.inpe.br

²Universidade Federal do Ceará - UFC
Caixa Postal 12168 - 60455-970 - Fortaleza - CE, Brasil
lopesfb@yahoo.com.br

Abstract. Even though currently there are a lot of sensors with adequate spectral and radiometric resolutions and field of view to the water properties characterization, the low spatial resolution limits the application of their images on the inland water study. The WFI sensor that will be launched at the CBERS-3 satellite may fill this gap by having spectral, radiometric and spatial characteristics that attend the application needs for inland water studies. To assess a sensor performance before its launch there are available image simulation methods. This article aimed to assess the potential of a WFI/CBERS-3 image to distinguish optically distinct water masses in the Ibitinga Reservoir–SP. Therefore, it was accomplished the image simulation of this sensor from a QuickBird scene, which has similar spectral and radiometric properties to the WFI sensor. Unsupervised classifications were performed with different numbers of spectral classes for the simulated image and for a TM/Landsat-5 image (resampled to the same pixel size). It was realized that the application of high radiometric resolution images allows the obtaining of better results for the optically distinct water masses classification. However, the use of high spatial resolution images on the simulation process may complicate the water masses distinction due to the direct surface reflection of the Sun light. The surface water ripples caused by the wind action intensify the brightness in these images, damaging the classification. Nevertheless, the WFI/CBERS-3 image simulation indicated a high potential of this sensor to water quality studies in inland aquatic systems.

Palavras-chave: water quality, image simulation, unsupervised classification, WFI/CBERS-3, qualidade da água, simulação de imagens, classificação não-supervisionada.

1. Introdução

A qualidade de águas superficiais pode ser avaliada a partir de medidas da radiação solar refletida. A energia refletida é afetada pela presença de componentes opticamente ativos nas águas, tais como sedimentos suspensos, biomassa fitoplantônica e matéria orgânica dissolvida (SVÁB et al., 2005). Segundo Chernetskiy et al. (2009), uma abordagem para estes estudos é a classificação de imagens, na qual tais componentes não precisam necessariamente ser quantificados, mas sua proporção relativa pode ser estimada.

Apesar de atualmente existirem diversos sensores com resolução espectral e radiométrica adequadas à caracterização de propriedades da água e da cor dos oceanos (SeaWiFS, MODIS e MERIS, por exemplo), suas baixas resoluções espaciais limitam a aplicação de suas imagens a sistemas aquáticos continentais, nos quais a heterogeneidade da água em escala local é o foco de investigação (TYLER et al., 2006). Futuros sensores com resoluções espaciais, espectrais e radiométricas adequadas para estudos da qualidade da água de sistemas aquáticos continentais poderão fornecer dados mais adequados para tais análises.

O satélite CBERS-3, com previsão de lançamento em 2011, terá a bordo uma Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada (WFI), com quatro bandas espectrais, resolução espacial de 64 metros, resolução radiométrica de 10 bits, largura de campo de visada de 866 km e período de revisita de 5 dias (INPE, 2010). A ampla faixa de visada deste sensor e a resolução radiométrica de 10 bits favorecem os estudos de águas continentais, principalmente, por possibilitar o imageamento de extensos corpos d'água em apenas uma cena e por aumentar a frequência de revisita sobre um mesmo local, fatores importantes considerando a dinâmica dos ambientes aquáticos.

A avaliação do potencial de imagens de futuros satélites em aplicações de sensoriamento remoto pode ser realizada por meio de técnicas de simulação de imagens, que permitem gerar imagens com características específicas de resolução espacial, espectral e radiométrica (CARVALHO, 2010). Segundo Banon (1990), por meio da aplicação das técnicas de simulação de imagens é possível estimar as características das imagens que serão adquiridas pelos sensores planejados, possibilitando dar aos futuros usuários um panorama sobre as aplicações das imagens geradas. Estas técnicas têm sido utilizadas para simular imagens de diferentes sensores, tais como MSS e TM do Landsat e HRC e WFI do CBERS (FONSECA et al., 1989; BANON, 1990; BOGGIONE et al., 2003; CARVALHO, 2010; MAEDA et al., 2008).

O presente trabalho objetiva avaliar o potencial das imagens WFI/CBERS-3 para distinguir massas de água opticamente distintas no reservatório de Ibitinga – SP. Para isso, simulou-se uma imagem deste sensor a partir de uma cena QuickBird, que possui propriedades espectrais e radiométricas semelhantes ao sensor WFI por meio de técnicas de simulação de imagens. Resultados da classificação da imagem simulada e de uma imagem TM/Landsat da mesma data de aquisição foram utilizados para avaliar o potencial de uma melhor resolução radiométrica em estudos em corpos d'água continentais. É importante salientar também que o termo massas d'água utilizado neste trabalho difere do conceito oceanográfico, sendo adotado aqui apenas o relativo às propriedades ópticas da água.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo deste trabalho localiza-se no Reservatório de Ibitinga e é formada por uma subcena (Figura 1) de 15,1 km², definida com base no tamanho da imagem de alta resolução (QuickBird). O Reservatório de Ibitinga, no Estado de São Paulo, localiza-se no médio Rio Tietê, à jusante da barragem da Usina Hidrelétrica Mário Lopes Leão (Promissão), e à montante da Usina Hidrelétrica Álvaro de Souza Lima (Bariri). Trata-se de um reservatório que apresenta problemas sérios de eutrofização da água relacionados à cultura da cana, sendo, portanto, um ambiente aquático favorável à realização desse estudo.

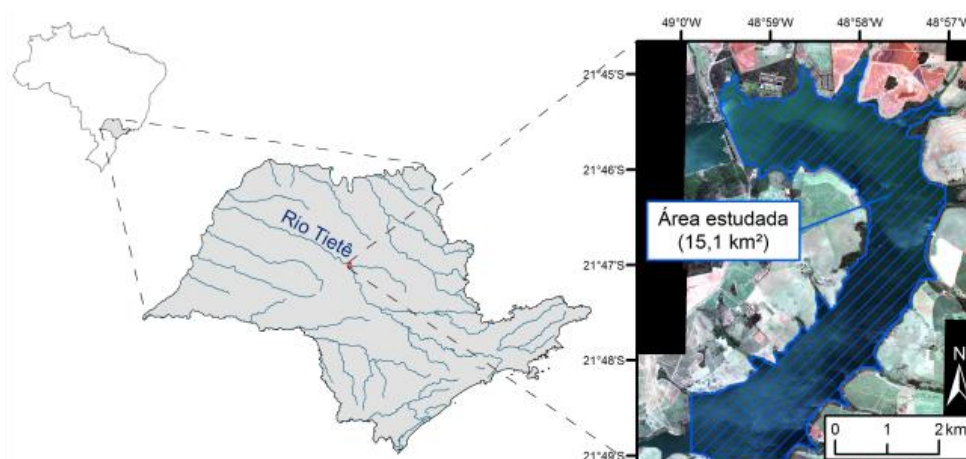


Figura 1. Mapa de localização da área estudada no Reservatório de Ibitinga/SP. (imagem QuickBird, composição R3G2B1).

Os dados utilizados para simular a imagem WFI/CBERS-3 foram uma imagem QuickBird de 01/09/2010 e uma imagem do sensor TM do satélite Landsat-5 de 01/09/2010. As características dos sensores cujas imagens foram utilizadas no trabalho e do sensor WFI/CBERS-3 estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características gerais do sensor WFI/CBERS-3, TM/Landsat-5 e QuickBird II.

	WFI/CBERS-3*	TM/Landsat-5 **	QuickBird II***
Bandas espectrais	0,45 – 0,52 μm	0,45 – 0,52 μm	0,45 – 0,52 μm
	0,52 – 0,59 μm	0,52 – 0,60 μm	0,52 – 0,60 μm
	0,63 – 0,69 μm	0,63 – 0,69 μm	0,63 – 0,69 μm
	0,77 – 0,89 μm	0,76 – 0,90 μm	0,76 – 0,90 μm
	-	1,55 – 1,75 μm	-
	-	2,08 – 2,35 μm	-
Largura da faixa imageada	866 km	185 Km	16,5 km
Resolução espacial	64 m	30 m	2,44 m
Resolução radiométrica	10 bits	8 bits	11 bits
Resolução temporal	5 dias	16 dias	1 a 3,5 dias, dependendo da latitude

* INPE (2010); **King e Greenstone (1999); *** DIGITALGLOBE (2010).

As principais etapas do trabalho estão esquematizadas no fluxograma da Figura 2.

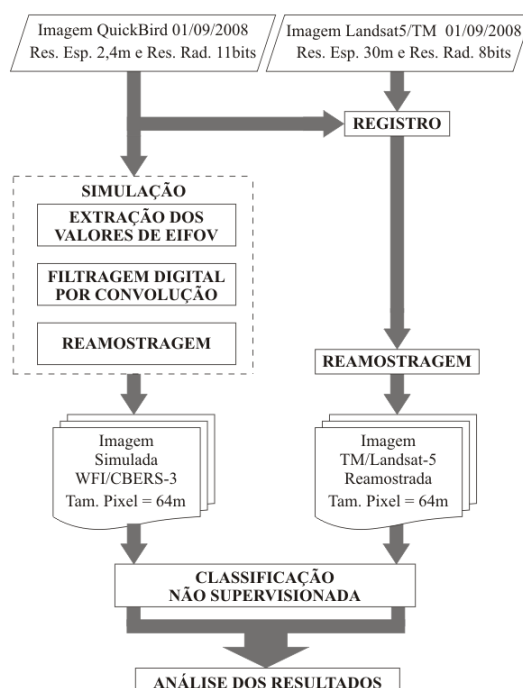


Figura 2. Fluxograma da metodologia usada no trabalho.

Inicialmente foi realizado o registro da imagem TM/Landsat-5 a partir da imagem QuickBird, a qual já estava ortorretificada no sistema de projeção cartográfica UTM e datum WGS-1984. Foram utilizados 107 pontos de controle e um polinômio de primeira ordem com reamostragem pelo vizinho mais próximo (SCHOWENGERDT, 1997), cujo erro residual (RMS) foi estimado em 0,408.

A técnica de simulação de imagens teve como objetivo simular a resolução espacial do sensor WFI do satélite CBERS-3, a partir de uma imagem do sensor multiespectral do satélite Quickbird, de 01/09/2010. A escolha da imagem QuickBird para a simulação foram dois motivos: i) melhor resolução espacial do sensor, o que aproxima a imagem da cena a um produto próximo do “ideal”, ii) os intervalos espectrais e radiométricos dos sensores são semelhantes. A simulação das respostas espectrais das bandas do sensor WFI não foi realizada, pois consideramos que elas eram similares às do Quickbird. A imagem WFI simulada foi posteriormente comparada com a imagem do sensor TM do satélite Landsat-5 adquirida na mesma data.

Previamente ao processo de simulação é necessário que se caracterize a Função de Espalhamento Pontual (FEP) do sensor WFI, com o intuito de introduzir os efeitos de degradação inerentes ao processo de imageamento. Para tanto, utilizaram-se dados de medidas da FEP (ótica e detector) obtidos em laboratório. A FEP é modelada por uma função Gaussiana, de onde é medido o valor do EIFOV para cada uma das bandas do sensor. Foi adotado o mesmo valor de EIFOV para as direções *Along Track* e *Across Track*. A Tabela 2 apresenta os valores de EIFOV calculados a partir das curvas da FTM.

Tabela 2. Valores de EIFOV para as bandas do sensor WFI/CBERS-3

Banda	EIFOV (m)
Banda 1	78,82
Banda 2	73,66
Banda 3	86,58
Banda 4	94,31

A partir dos valores de EIFOV, um filtro passa-baixas gaussiano é projetado. Este filtro é aplicado para processar a imagem QuickBird e assim simular a resolução espacial da imagem WFI. A imagem WFI filtrada é reamostrada para o o tamanho de pixel de 64 metros, utilizando o método de agregação de pixel a partir da média. Para que a comparação entre as imagens classificadas seja consistente, a imagem TM/Landsat-5 foi reamostrada para o mesmo tamanho de pixels da imagem simulada (i.e., 64 metros).

A região de corpos d'água limitada ao Reservatório foi isolada nas imagens usando uma máscara. Um algoritmo de classificação não supervisionada (“IsoData”) foi utilizado no processamento, uma vez que não foram realizadas medições simultâneas em campo, as quais seriam necessárias na etapa de treinamento de uma classificação supervisionada (CHERNETSKIY et al., 2009). Três diferentes números de classes espectrais (4, 8 e 12 classes) foram definidos, e os parâmetros de classificação foram mantidos constantes para as duas imagens. Por fim, o número de classes resultante para cada conjunto de dados foi avaliado.

3. Resultados e Discussão

A Figura 3 mostra as imagens TM e WFI simulada com o mesmo tamanho de pixel igual a 64 m, na composição colorida R3G2B1. Pode-se observar o impacto da resolução radiométrica na discriminação de massas d'água com características ópticas distintas. A imagem TM/Landsat-5 (Figura 3a) apresenta baixa capacidade de distinção entre as áreas

homogêneas, enquanto que a imagem WFI simulada (Figura 3b) consegue registrar pequenas variações de cor da água que possam estar associadas à sua composição.

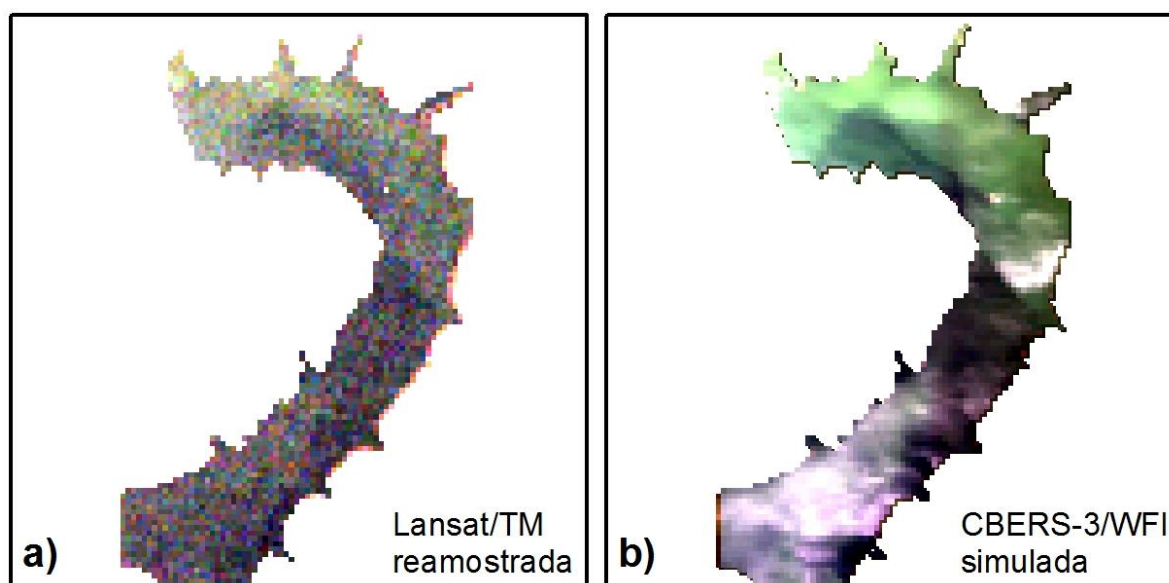


Figura 3. Imagens reamostradas para tamanho de pixel de 64 metros e na composição de cor verdadeira (R3G2B1): (a) TM/Landsat-5 e (b) WFI/CBERS-3 simulada.

Na imagem simulada foram observadas áreas de alto brilho não encontradas na imagem TM. Considerando que as imagens TM/Landsat-5 e a QuickBird possuem pequena diferença de horário de aquisição (aproximadamente 45 minutos), e que não havia cobertura de nuvens sobre nenhuma das cenas, este aspecto pode ser atribuído à intensificação do efeito da reflexão direta da luz do Sol na superfície da água, resultante das condições hidrodinâmicas do reservatório. A ação do vento provoca ondulações na superfície, o que implica em um maior brilho nas áreas afetadas por este processo, principalmente em imagens de alta resolução espacial. Isto ocorre porque o menor elemento de resolução da imagem QuickBird, em relação ao elemento da TM/Landsat-5, registra o sinal refletido pelas ondas.

Os resultados da classificação das imagens TM e WFI simulada, considerando 4, 8 e 12 classes, podem ser observados na Figura 4. É possível verificar a maior capacidade do classificador em discriminar massas d'água na Imagem WFI simulada (Figura 4 d, e e f) do que na imagem TM reamostrada, fato este que pode ser atribuído à melhor resolução radiométrica daquela imagem.

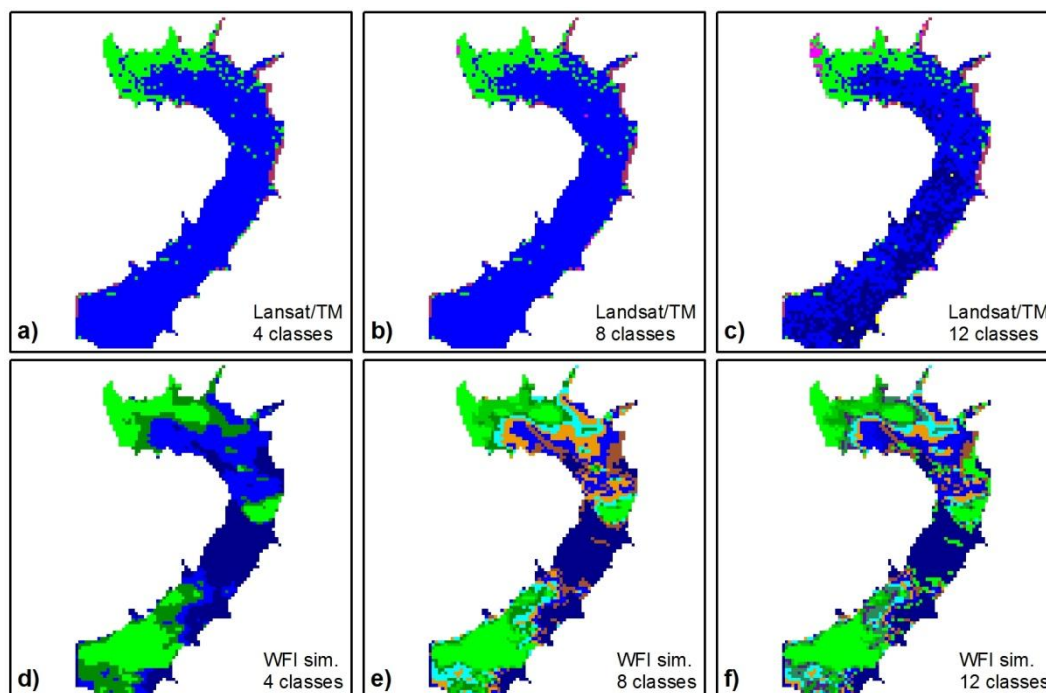


Figura 4. Resultados da classificação não-supervisionada das imagens TM/Landsat-5 reamostrada (a, b e c) e WFI simulada (d, e e f) com diferentes números de classes (4, 8 e 12).

Para avaliar a capacidade do classificador em distinguir massas d'água nas imagens analisadas, as porcentagens de pixels classificados para cada classe foram extraídas e são mostradas na Figura 5. Para cada classificação (4, 8 e 12 classes), foi obtido também o número de classes efetivamente identificadas (apresentando mais do que 1% dos pixels). Os valores estão apresentados na Tabela 3.

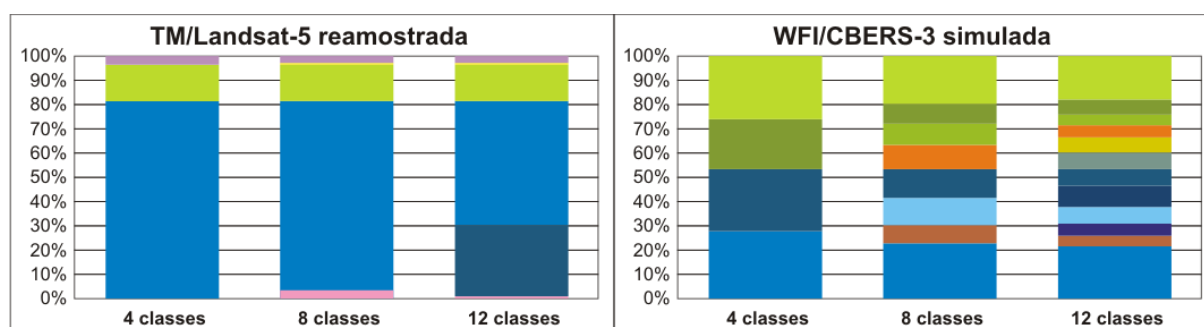


Figura 5. Distribuição dos pixels classificados (em %).

Tabela 3. Número de classes que apresentou mais de 1% dos pixels.

Imagem	4 classes	8 classes	12 classes
TM/Landsat-5 reamostrada	3	4	5
WFI/CBERS-3 simulada	4	8	12

Um aspecto importante a ser observado é que o classificador considerou as áreas que sofreram influência da reflexão direta da luz do Sol e as que apresentam características de águas ricas em fitoplâncton como pertencendo à mesma classe. Estes erros de classificação, entretanto, podem ser corrigidos com a análise das curvas espectrais. As respostas destas regiões podem ser diferenciadas através da análise dos números digitais em função das bandas

do sensor. Para exemplificar esta análise, três pontos foram selecionados: i) o ponto 1 em uma massa d'água com características da ocorrência de fitoplâncton; ii) os pontos 2 e 3 em massas de água influenciadas pela reflexão direta, conforme mostra a Figura 6.



Figura 6. Detalhes da imagem QuickBird original de três áreas do Reservatório com os pontos amostrados (1, 2 e 3), em composição R3G2B1.

No gráfico da Figura 7, pode-se observar o maior brilho do ponto 1 na banda 2, a qual está posicionada na região espectral do verde ($0,52 - 0,60 \mu\text{m}$). Já os pontos 2 e 3 apresentam maior brilho, principalmente, em outros comprimentos de onda (bandas 1, 3 e 4), o que confere o caráter esbranquiçado nestas áreas. Este fato reforça a hipótese de que a área da imagem em que o ponto 1 está localizado é a que apresenta maior concentração de fitoplâncton.

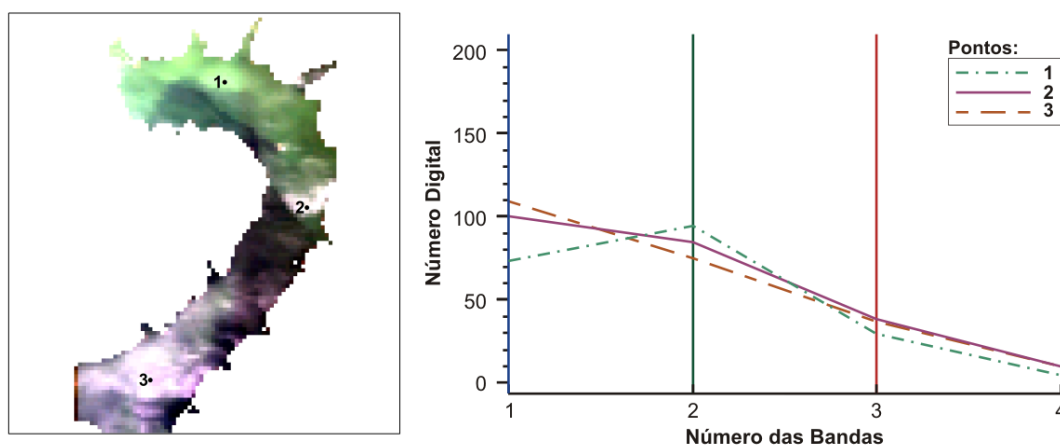


Figura 7.

Comparação das curvas de números digitais em função do número das bandas espectrais de três pontos.

4. Conclusões

A simulação de imagens através da técnica de filtragem digital mostrou ser uma boa ferramenta para avaliar o potencial de imagens de sensores futuros. Neste trabalho, a simulação foi usada para analisar o potencial do futuro sensor WFI/CBERS-3 na caracterização de componentes opticamente ativos na água, e os resultados foram promissores.

Entretanto, a utilização de imagens de alta resolução espacial como base para a simulação pode influenciar negativamente na caracterização de corpos d'água, atuando como um ruído que dificulta a identificação de propriedades intrínsecas do meio aquático. Isto ocorre porque estes sensores apresentam pequenos elementos de resolução que sensibilizam o alto brilho

provocado pela reflexão direta do Sol, intensificado pelas condições hidrodinâmicas dos sistemas aquáticos.

Contudo, os resultados indicam, para a pequena área da imagem livre desse efeito, que as imagens WFI/CBERS-3 prometem ser úteis para aplicações em águas continentais. Isto ocorrerá porque o sensor WFI apresentará maior elemento de resolução, sendo menos sensível ao efeito da reflexão direta da luz do Sol, assim como o sensor TM/Landsat-5.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem a Bráulio Fonseca Carneiro de Albuquerque que forneceu o relatório técnico de teste funcionais da câmera WFI/CBERS 3 e 4, a Carlos Alberto Stelle pelo auxílio no tratamento dos dados, ao CNPq pelo apoio financeiro e à Empresa IMAGEM, que forneceu a imagem QuickBird.

Referências Bibliográficas

- Banon, G. J. F. Simulação de imagens de baixa resolução. **SBA: Controle e Automação**, v. 2, n. 3, p. 180-192, 1990.
- Boggione, G. A., Pires, E. G., Santos, P. A., Fonseca, L. M. G. Simulation of a panchromatic band by spectral combination of multispectral ETM+ bands In: International Symposium on Remote Sensing of Environmental, 2003, Honolulu. **International Symposium on Remote Sensing of Environmental**, 2003.
- Carvalho, L. A. S. **Geração e avaliação de produtos híbridos CBERS-2B para a identificação de fragmentos de vegetação arbórea**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE, São José dos Campos, 2010. 137 p.
- Chernetskiy, M.; Shevyrnogov, A.; Shevnina, S.; Vysotskaya, G.; Sidko, A. Investigations of the Krasnoyark Reservoir waters based on the multispectral satellite data. **Advances in Space Research**, 43, p. 206-213, 2009.
- Digitalglobe, Disponível em <<http://www.digitalglobe.com/>> Acesso em: 09 de Ago. 2010.
- Fonseca, L. M. G.; Banon, G. J. F. Duas técnicas de filtragem espacial para simular a resolução espacial ao Nadir do satélite de sensoriamento remoto brasileiro. In: Simpósio Brasileiro de computação gráfica e Processamento De Imagens, 2., 1989, Águas de Lindóia, BR. **Anais...** 1989. p. 69-76.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. **CBERS: Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestre**. 15 Agosto 2010. Disponível em <<http://www.cbbers.inpe.br/>> Acesso em: 5 jun. 2010.
- King, M. D.; Greenstone, R. **EOS reference handbook**. Greenbelt, NASA, 1999. 361p.
- Maeda, E. E.; Arcoverde, G. F. B.; Formaggio, A. R.; Shimabukuro.; Y. E. Evaluation of the potentiality of WFI/CBERS-3 Sensor data for land use and land cover classification. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 60, p. 79-87, 2008.
- Schowengerdt, R. A. **Remote sensing**, models and methods for image processing. 2 ed. San Diego: Academic Press, 1997. 522 p.
- Sváb, E.; Tyler, A. N.; Preston, T.; Présing, M.; Balogh, K. V. Characterizing the spectral reflectance of algae in lake waters with high suspended sediment concentrations. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 5, p. 919-928, 2005.
- Tyler, A. N.; Sváb, E.; Preston, T.; Présing, M.; Kovács, W. A. Remote sensing of the water quality of shallow lakes: A mixture modelling approach to quantifying phytoplankton in water characterized by high-suspended sediment. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 8, p. 1521-1537, 2006.