

PROCESSAMENTO DE IMAGENS CBERS-2B PARA O MAPEAMENTO DE FLORAÇÕES FITOPLANCTÔNICAS NO RESERVATÓRIO HIDRELÉTRICO DE IBITINGA

Lino Augusto Sander de Carvalho

Proposta de Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pela Dra. Leila Maria Garcia Fonseca e pela Dra. Evlyn Márcia Leão de Morais Novo

> INPE São José dos Campos Fevereiro 2009

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE

PROCESSAMENTO DE IMAGENS CBERS-2B PARA O MAPEAMENTO DE FLORAÇÕES FITOPLANCTÔNICAS NO RESERVATÓRIO HIDRELÉTRICO DE IBITINGA

Lino Augusto Sander de Carvalho

Proposta de Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pela Dra. Leila Maria Garcia Fonseca e pela Dra. Evlyn Márcia Leão de Morais Novo

RESUMO

Historicamente, os ecossistemas aquáticos têm sido estudados de forma sinóptica usando imagens de satélites de média resolução espacial. Uma das informações passíveis de serem extraídas dessas imagens é a ocorrência de florações fitoplanctônicas, um indicador biológico de degradação da qualidade de água quando sua ocorrência é freqüente e localizada. Entretanto, para o estudo de corpos d água em uma escala pequena é importante o uso de imagens com resolução espacial mais fina. Alguns estudos têm sido realizados com imagens de satélites de altíssima resolução espacial (IKONOS e Quickbird), porém, o custo dessas imagens é muito elevado, principalmente se o objetivo é monitorar a incidência frequente e localizada das florações fitoplanctônicas. A distribuição gratuita de imagens do satélite CBERS-2B, que possui câmeras de baixa, média e alta resolução, torna estas imagens uma alternativa para o monitoramento da ocorrência dessas florações à baixo custo. Portanto, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para gerar produtos de alta resolução que permitam identificar a ocorrência das florações fitoplanctônicas a partir da aplicação de técnicas de processamento de imagens dos sensores HRC e CCD do satélite CBERS-2B. O desempenho dos produtos gerados, e aplicados à identificação das florações, será avaliado usando como referência imagens do satélite ALOS, sensores AVNIR-2 e PRISM de 10 m e 2,5 m de resolução nominal, respectivamente, e dados de campo. Espera-se que as imagens processadas do satélite CBERS-2B permitam identificar florações fitoplanctônicas de modo coerente com as medidas de campo e as imagens de referência.

LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS	6
1 INTRODUÇÃO	7
1.1 Objetivo	8
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1 Comportamento Espectral de Sistemas Aquáticos	9
2.2 Técnicas de Processamento de Imagens1	3
2.2.1 Ortorretificação	3
2.2.2 Correção Atmosférica1	4
2.2.3 Restauração de Imagens 1	4
2.2.4 Fusão de Imagens1	6
2.2.5 Critérios de avaliação de imagens1	8
3 MATERIAIS E MÉTODOS 1	9
3.1 Área de estudo	9
3.2 Dados de Entrada	1
3.3 Metodologia	5
4 RESULTADOS ESPERADOS E CRONOGRAMA	8
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	0

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectros de Reflectância dos COA's10)
Figura 2 - Variação do Comportamento Espectral de Corpos d'Água (FRB - Fator de	
Reflectância Bidirecional) em Função da Densidade de Células	
Fitoplanctônicas e Concentração de Clorofila -a11	
Figura 3 - Localização do Reservatório de Ibitinga20)
Figura 4 - Represa de Ibitinga	
Figura 5 - Fluxograma25	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do Reservatório de Ibitinga	.20
Tabela 2 - Características do sensor CCD	.21
Tabela 3 – Características do sensor HRC	. 22
Tabela 4 - Características do sensor AVNIR-2	.23
Tabela 5 - Características do sensor PRISM	.23
Tabela 6 - Cronograma de Atividades	. 29
e	

1 INTRODUÇÃO

As águas continentais têm atraído cada vez mais a atenção da comunidade científica devido à crescente preocupação mundial com a escassez de água potável. Dentre os corpos de águas continentais, os reservatórios hidrelétricos são de grande relevância pelas alterações rápidas (diretas e indiretas) que impõem ao funcionamento dos ecossistemas aquáticos. Como estes ecossistemas apresentam um grande número de benefícios sócio-econômicos como, por exemplo, a produção de energia, atividades recreativas e esportivas, pesca comercial e controle de inundações, muitas vezes tornase difícil discernir os impactos que sua construção, indiretamente traz à degradação da qualidade da água. Esta degradação acontece, geralmente, devido ao mau uso e/ou à inadequada ocupação do solo na região litorânea do reservatório o que pode causar a acumulação da descarga de esgotos ou de despejos agrícolas não-tratados em suas águas resultando consequentemente em eutrofização (PAPASTERGIADOU et al., 2007). Um exemplo são reservatórios que se localizam em regiões onde há concentração de atividades agrícolas. Essas regiões estão sujeitas a processos com impactos ambientais variáveis que podem levar à degradação do lago tais como erosão do solo, destruição da vegetação natural e ameaças as populações de organismos ali existentes (LONDE, 2008).

Diante deste quadro, o monitoramento da qualidade das águas continentais, e dos reservatórios em particular, representa uma importante aplicação de sensoriamento remoto. A determinação da composição da água por meio de imagens de satélite permite, teoricamente, o monitoramento mais freqüente e com menores custos quando comparado às técnicas de monitoramento de campo (WANG et al., 2004b). Em vista disso, estudos têm sido realizados com o objetivo de correlacionar medidas de sensoriamento remoto e medidas de campo, no intuito de construir modelos para estimar propriedades da água sem a necessidade de onerosos trabalhos de campo (COSKUN et al., 2008). Um outro aspecto que torna o sensoriamento remoto uma importante técnica para o estudo desse tipo de problema é o fato das imagens de satélite possibilitarem uma cobertura sinóptica de grandes áreas, o que é impossível através de coletas de campo.

Dentre as propriedades ópticas de componentes presentes nos corpos d'água, passíveis de serem extraídas de imagens de satélites destaca-se a ocorrência de florações

fitoplanctônicas, as quais podem ser utilizadas como um indicador biológico de degradação da qualidade de água, quando sua ocorrência é freqüente e localizada (BRIVIO et al., 2001). Todavia, o estudo de corpos d'água de menor escala requer o uso de imagens com resolução espacial mais fina (HELLWEGER et al., 2007). Alguns estudos têm sido realizados com imagens de satélites de altíssima resolução espacial (IKONOS e Quickbird), porém, seu custo é muito elevado, principalmente, se o objetivo é monitorar a incidência das florações (HELLWEGER et al., 2007, SAWAYA et al., 2003). Desta maneira, as imagens do satélite CBERS-2B, surgem como uma alternativa de baixo custo para esse monitoramento.

O satélite CBERS–2B, lançado em setembro de 2007, possui uma câmera multiespectral (CCD) com 20 metros de resolução espacial nominal, uma Câmera Pancromática de Alta Resolução (HRC - *High Resolution Camera*) com resolução espacial nominal de 2,7 m, além do Imageador de Amplo Campo de Visada (WFI - Wide Field Imager), com 260 m de resolução espacial nominal. Com isso, dados de alta resolução da câmera HRC podem ser usados conjuntamente com os dados de média resolução da câmera CCD para gerar produtos que permitam monitorar as propriedades espectrais da água e conseqüentemente identificar florações fitoplanctônicas.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para gerar produtos que permitam a identificação de florações fitoplanctônicas no reservatório de Ibitinga a partir da aplicação de técnicas de processamento digital de imagens CBERS-2B. Para atingir esse objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Testar algoritmos de restauração de imagens para melhorar a resolução espacial efetiva das câmeras HRC e CCD do satélite CBERS – 2B.
- Testar métodos de fusão das imagens HRC e CCD para gerar imagens coloridas com alta resolução espacial.
- 3. Avaliar os produtos obtidos, usando como referencia as imagens AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2) e PRISM (Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping), da plataforma ALOS (Advanced Land Observing Satellite)

4. Usar dados radiométricos *in situ* e parâmetros de qualidade da água, como concentração de clorofila e concentração do material em suspensão, para validar a metodologia.

Na seção 2, será apresentada a fundamentação teórica que abrange basicamente, o comportamento espectral dos corpos d'água e uma revisão das principais técnicas de processamento de imagens necessárias para melhorar o processo de extração de informações das imagens CBERS-2B. A seção 3 apresenta a metodologia proposta neste trabalho. Na seção 4, são apresentados os resultados esperados e o cronograma.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Comportamento Espectral de Sistemas Aquáticos

A aplicação do sensoriamento remoto em ambientes aquáticos baseia-se nas relações entre as propriedades da luz incidente e as propriedades ópticas dos componentes do meio aquático. Um primeiro aspecto que deve ser ressaltado é o conhecimento dos fluxos radiativos que atingem o sensor, visto que, a energia proveniente de corpos d'água é relativamente baixa. Segundo Kirk (1994) somente 10% a 15% do sinal registrado por um sensor possui informações sobre corpos d'água. A radiação que atinge o sensor orbital possui componentes que se originam do espalhamento atmosférico, da reflexão especular da superfície da água, da radiação direta e difusa e da radiação emergente do corpo d'água.

O primeiro dos meios a interferir na radiação incidente é a atmosfera. Esta interação acontece antes da radiação entrar em contato com o corpo d'água. A radiação espalhada pela atmosfera representa de 80 a 90 % da radiação que chega ao sensor e é decorrente do espalhamento de Rayleigh que é gerado por moléculas de ar e aerossóis (RUDORF, 2006).

O segundo destes meios é a superfície aquática que possui propriedades especulares que se baseiam na lei de Snell (KIRK, 1994). A radiação que interage com a superfície da água pode ser de duas naturezas: a solar direta, que provém do sol sem a interferência da atmosfera, e a solar difusa, que sofre interferência da atmosfera antes de entrar em contato com a superfície da água. Em função do ângulo de incidência da radiação direta ou difusa há maior ou menor penetração da radiação eletromagnética através da

interface ar/água. A radiação refletida não contém informações sobre o volume de água. (RUDORF, 2006). Apenas a radiação que atravessa a superfície de água interage com seus componentes e provoca modificações na sua cor. Estas alterações de cor da radiação emergente da superfície trazem informações sobre sua composição.

O comportamento espectral dos corpos aquáticos se baseia essencialmente nas propriedades de componentes opticamente ativos (COA) do ecossistema: água pura, sólidos em suspensão e matéria orgânica dissolvida e organismos fotossintetizadores. (BARBOSA, 2005). Na figura (1), são apresentados os espectros de reflectância da água de acordo com a presença de cada um dos componentes opticamente ativos (COA) previamente citados.



457 (B)548 (G) 660 (R)

Figura 1 - Espectros de Reflectância dos COA's Fonte: adaptado de RUDORF (2006).

Em especial o fitoplâncton apresenta diminuição da reflectância na faixa do azul, (400 a 515 nm) e aumento na faixa do verde (515 a 600 nm). Os espectros das florações fitoplantônicas apresentam picos de absorção nas regiões de 433 e 686 nm por ter alta concentração de clorofila-a. Outro aspecto importante é que as células fitoplanctônicas são refratoras da radiação o que aumenta o seu coeficiente de espalhamento na região do infravermelho próximo, de 700 a 900 nm, quando se apresentam na forma de florações de alta densidade de células. A figura (2) mostra a variação da resposta espectral com o aumento do material fitoplanctônico (LONDE, 2008).



Figura 2 - Variação do Comportamento Espectral de Corpos d'Água (FRB - Fator de Reflectância Bidirecional) em Função da Densidade de Células Fitoplanctônicas e Concentração de Clorofila –a. Fonte: adaptado de LONDE (2008).

Espectroscopia de Corpos d'Água

É chamado de espectroscopia o método utilizado para análise da radiação electromagnética que interage ou é emitida por um corpo. Os estudos que visam estimar a resposta espectral de um corpo d'água podem ser realizados utilizando os vários níveis de aquisição de sensoriamento remoto (laboratório, campo, aéreo e orbital) onde as características de faixa espectral, largura de bandas, amostragem espectral e a relação sinal ruído (SNR) descrevem a capacidade dos sensores utilizados. Entretanto os dados colhidos nestes diferentes níveis de aquisição, não são sempre comparáveis devido às diferenças inerentes a cada um deles, dentre as quais estão condições de iluminação e visada, resolução espectral e radiométrica.

Existe uma série de métodos propostos para relacionar dados adquiridos pelos diferentes níveis de sensoriamento remoto. No caso de medidas espectrais de campo e dados de satélites multiespectrais, um procedimento utilizado é a simulação das bandas do sensor multiespectral a partir da integração dos dados tomados pelo espectrômetro de campo. Este método, empregado por Souto et al. (2005) para a comparação de águas ricas em fitoplâncton, mostra-se eficiente, porém o autor argumenta acerca da necessidade de uma boa coincidência entre as medidas de campo e a passagem do satélite pelo local de coleta. Outra forma é a correlação entre medidas espectrais *in situ* e valores em número digital da imagem convertidos para reflectância. Wang et al. (2004b), utilizaram a correlação entre medidas espectrais da água tomados em campo e medidas espectrais da mesma região a partir das bandas 1,2 e 3 do Landsat – 5 TM. O valor do coeficiente de determinação (r^2) alcançou 89%.

Outro procedimento recorrente no estudo da qualidade da água é a relação entre dados espectrométricos e medidas de concentração de COA. No caso específico do material fitoplactônico, os métodos estatísticos procuram explorar as características de seu comportamento espectral que em geral são os picos de absorção da clorofila-a e razão infravermelho próximo / vermelho. Londe (2008), em estudo na represa de Ibitinga, construiu modelos que utilizavam a razão de comprimentos de onda 895/698 nm e o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) como variáveis explicativas e concentração de clorofila-a como resposta. Os modelos apresentaram bons coeficientes de determinação sendo 0,85 para a razão 895/698 nm e 0,92 para o NDVI. Outro estudo feito pela autora considera a razão de bandas espectrais do infravermelho próximo / vermelho, onde se simulou a resposta espectral de três diferentes sensores a partir de dados radiométricos (Landsat TM, WFI/CBERS e MODIS). O sensor MODIS apresentou uma ligeira superioridade com r^2 de 0,73. Brivio et al. (2001) utilizaram o modelo de razão de bandas para o Landsat TM através de uma regressão univariada utilizando as bandas 1, 2 e 3. O coeficiente de determinação encontrado foi de 81%. Entretanto os autores argumentam que a correlação diminui para valores de concentração de clorofila-a mais baixos, levando-os a usar um modelo de regressão multivariada com as banda 1 e 2 e chegando a um r^2 de 0,67.

Existem ainda outras abordagens tais como a de Panda et al. (2004), que utiliza Redes Neurais Artificiais para criar um modelo que tem como entradas bandas do satélite Landsat – 5 TM, e como saída, a concentração de clorofila-a ou matéria em suspensão. O autor mostra que este modelo apresenta um r^2 de 0,55 para a concentração de clorofila e 0,90 para a concentração de matéria em suspensão. Outros estudos ainda podem ser encontrados em Torbick et al. (2008) e Ostlund et al. (2001).

2.2 Técnicas de Processamento de Imagens

As técnicas de processamento digital de imagens têm como objetivo facilitar a identificação e a extração de informações dos objetos presentes nas imagens (GONZÁLES, 2008). A seguir, apresentamos uma breve revisão das técnicas de processamento que serão utilizados neste trabalho.

2.2.1 Ortorretificação

O processo de ortorretificação busca a correção das distorções existentes em imagens de sensoriamento remoto, causadas, entre outros, pela posição do satélite no momento do imageamento ou pela superfície física da Terra (relevo e curvatura). Dentre os métodos utilizados, destacam-se os Métodos Polinomial, Polinomial Racional e Rigoroso. Em especial, o Método Rigoroso leva em consideração as informações do satélite e do sensor, incorporando a realidade física da geometria de visada completa e corrigindo as distorções inseridas pelo movimento do satélite. Esta técnica modela as distorções da plataforma através das equações de colinearidade no caso de sensores passivos e equações que utilizam o efeito Doppler, para sensores ativos. A maior dificuldade é a obtenção dos dados de efemérides, atitude e posição, muitas vezes não disponíveis, o que inviabiliza a utilização do método (TOUTIN, 2004).

A maior parte dos processos de ortorretificação demanda um Modelo Digital de Elevação (MDE) ou coordenadas de referência para o ajuste dos modelos de correção geométrica. Os MDE's mais utilizados nos processos de ortorretificação são os obtidos através da digitalização de cartas topográficas ou imagens esteroscópicas e interferométricas a partir de imagens orbitais. Para coordenadas de referência, normalmente são utilizados pontos obtidos em cartas topográficas, levantamentos de campo com GPS, ou outra imagem já corrigida (D'ALGE, 2001).

2.2.2 Correção Atmosférica

A relação entre valores digitais de imagens e a reflectância ou radiância das superfícies observadas é afetado por perturbações, dentre as quais está a interferência da atmosfera. Os principais efeitos observados são a diminuição da faixa de valores digitais registrados pelo sensor, diminuição do contraste entre superfícies adjacentes e alteração do brilho de cada ponto na imagem (JUNIOR, 1994).

Um método capaz de corrigir o efeito atmosférico através dos modelos de transferência radiativa atmosférica é o algoritmo 5S – SCORADIS (TENRÉ, 1990). Este modelo, que foi adaptado para imagens CBERS–2B considera os processos de refração, espalhamento, reflexão e absorção causada pelos constituintes atmosféricos para corrigir o sinal que chega ao sensor. O algoritmo requer como entrada os parâmetros de condições geométricas do satélite, o modelo atmosférico, concentração e tipo de aerossóis presentes na atmosfera, banda utilizada e tipo de reflectância espectral de superfície. Como saída o programa fornece o valor de reflectância para a superfície analisada (JUNIOR, 1994). Sua principal vantagem em relação aos métodos como o DOS (*Dark Odjects Subtraction*) é a construção de um modelo mais realista de transferência radiativa visto que *pixels* escuros podem não representar bem a interferência da atmosfera. Outros exemplos de modelos ainda podem ser encontrados em Hadjimitsis et al. (2004), Moran et al. (2001) e Vermote et al. (1997).

2.2.3 Restauração de Imagens

A técnica de restauração de imagens é usada para corrigir as degradações inseridas pelo sistema sensor. O sistema sensor atua como um filtro passa-baixas sobre a cena imageada, atenuando o conteúdo de altas freqüências, que geralmente está relacionado com a riqueza de detalhes da cena (FONSECA, 1988). Os filtros de restauração usam o modelo de degradação inserida pelo sistema sensor para projetar o filtro de restauração, que quando aplicado na imagem reduz o efeito de borramento inserido pelo sensor. Este filtro, quando integrado com o processo de interpolação, gera uma imagem de saída com uma qualidade visual melhor em uma grade mais fina. Entretanto, é importante ressaltar que as técnicas de restauração permitem a melhoria da imagem até certo ponto, já que é impossível eliminar completamente a degradação inserida pelo sensor uma vez que algumas informações de detalhes foram perdidas no processo de imageamento.

Existem, na literatura, diversas técnicas de restauração propostas. Os filtros de restauração não-iterativos são aqueles que propõem um filtro de reconstrução através de uma operação de deconvolução aplicada diretamente à imagem (PUETTER et al., 2005). Esses filtros têm implementação fácil e são computacionalmente rápidos. A desvantagem está na dificuldade em controlar a amplificação do ruído. Dentre esses métodos pode-se citar a filtragem inversa por deconvolução de Fourrier, o filtro de Wiener, o filtro por decomposição em *wavelets* (ondeletas), o método *quick pixon* (PUETTER et al., 2005; BANHAN e KATSAGGELLOS, 1997; PUETTER e YAHIL, 1999). Em especial, o Filtro Inverso Modificado desenvolvido por Fonseca (1988) têm sido aplicado para processar imagens Landsat-3 MSS, Landsat–5 TM, Landsat–7 ETM+, SPOT, e CBERS aplicado às imagens Landsat – 5 TM, e Landsat – 7 ETM+, alcançando resultados satisfatórios (BOGGIONE, 2003; FONSECA, 1988; ANJOS, 2006, GOUVÊA, 2007, RENÓ 2009).

A classe de filtros de restauração iterativos parte do princípio de que uma imagem pode ser ajustada a um modelo cuja seleção e avaliação são feitas de modo iterativo a partir da análise da consistência estatística dos dados (PUETTER et al., 2005). Esses filtros são mais flexíveis e, em geral, apresentam resultados melhores na remoção do ruído. Uma das desvantagens é o maior tempo computacional e a complexidade, quando comparado aos métodos não-iterativos. Alguns exemplos desse tipo de filtros podem ser encontrados em Puetter et al. (2005) e Banhan e Katsaggellos (1997).

Um estudo recente, utilizando imagens do satélite ALOS sensor PRISM (SCHWIND et al., 2008) concluiu que o método iterativo Richardson–Lucy apresentou melhores resultados quando comparado aos métodos do filtro Wiener e ao da transformada *wavelet*. Porém, a análise visual mostrou que as imagens processadas pelo método baseado na transformada *wavelet* apresentaram melhores resultados. Souza (2005) testou o método Richardson–Lucy para processar imagens CCD do satélite CBERS – 2, e os resultados foram muito bons.

Outra classe de filtros de restauração é aquela baseada em Redes Neurais Artificiais (RNA) (HAYKIN, 2001). Existem vários métodos de restauração utilizando redes neurais (NAKAGAKI e KATSAGGELOS, 2003; WONG e GUAN, 2001; PERRY e GUAN, 2000). Os parâmetros do filtro são estimados por meio de treinamento da "rede" a partir de um conjunto de treinamento. Este conjunto de treinamento é dado por

uma imagem degradada, imagem de "entrada" e a mesma imagem, não degradada, chamada imagem de "saída". Castro e Silva (2008b) apresentam resultados da aplicação do método de restauração baseado em RNA em imagens CCD do satélite CBERS – 2. Os autores demonstram que o desempenho do método foi melhor quando comparado ao filtro Wiener. Entretanto, este resultado não se repete quando imagens do satélite IKONOS são usadas nos testes (CASTRO e SILVA, 2008a).

Geralmente, o projeto de filtros de restauração envolve o conhecimento do modelo de degradação que pode ser estimado a partir da resposta do sensor (Função de Espelhamento Pontual – FEP, ou Função Transferência de Modulação– FTM). Alguns trabalhos (BENSEBAA, 2005; CARVALHO et al., 2009) têm estimado a resolução efetiva dos sensores CCD e HRC dos satélites CBERS. A resolução efetiva, fornecida em termos do parâmetro EIFOV (*Effectivness Instantaneous Field of View*), é usada para estimar a FTM ou FEP dos sensores que são modeladas por uma função gaussiana. Assim, conhecido o modelo de degradação, a implementação dos filtros de restauração é mais simples.

2.2.4 Fusão de Imagens

A técnica de fusão de imagens é uma operação de processamento digital utilizada para combinar dados de sensores com diferentes características (resoluções espacial e espectral, sensores de diferentes plataformas, sensores ativos e passivos) e, assim, gerar um produto que aproveite as qualidades de cada um dos sensores utilizados (WALD,1999). De acordo com Schowengerdt (2007), as técnicas de fusão podem ser divididas em dois grupos: modelo no domínio espacial e modelo no domínio espectral. Pinho et al. (2005) classifica uma terceira categoria, onde as imagens são manipuladas por meio de operações algébricas.

As técnicas baseadas em modelos no domínio espacial são aquelas que isolam a informação espacial de alta frequência provenientes da imagem de alta resolução espacial (*high resolution* - HR) e a combina com a imagem multiespectral. Técnicas baseadas na transformada *wavelet* e a técnica *HPF* (*High-Pass Filter*) estão nesta categoria. Por outro lado, técnicas baseadas em modelos no domínio espectral realizam uma transformação na imagem multiespectral, resultando em um novo conjunto de "bandas", onde uma delas é substituída pela imagem pancromática

(SCHOWENGERDT, 2007). Nesta categoria incluem-se as técnicas baseadas em Principais Componentes (PC), transformada IHS e o método de Gram-Schmidt. Métodos de Brovey e operações multiplicativas são exemplos do terceiro grupo, onde a técnica busca modificar a imagem por meio de operações aritméticas *pixel-a-pixel*,.

Um estudo comparativo de técnicas de fusão de imagens do satélite ALOS – sensores PRISM e AVNIR-2 – de regiões urbanas mostrou a superioridade do procedimento de Brovey em relação às técnicas IHS, PC e de operações multiplicativas (LIU e HE, 2008). Segundo esses autores, o método de Brovey apresentou melhor realce nos detalhes da imagem preservando a informação espectral original. Yu et al. (2008) avaliaram as técnicas IHS, PC, HPF, *wavelets* e Brovey para os sensores PRISM e AVNIR-2 em imagens de regiões urbanas, porém com algumas feições de vegetação. Os resultados demonstram que a técnica HPF e a baseada na transformada *wavelet* apresentaram o melhor resultado em relação à preservação da informação espectral e maior nível de detalhamento.

Para as imagens do satélite CBERS – 2B, algumas técnicas foram testadas. Leonardi et al., (2009) concluíram que o método *pan-sharpening*, comparado aos métodos IHS e CP, apresentou melhores resultados tanto na preservação da informação espectral quanto no nível de detalhamento na fusão de imagens de áreas urbanas. Silva (2009) apresenta uma avaliação dos métodos de fusão IHS, CP, *wavelet*, *wavelet* + IHS, *wavelet* + PC, e o método WISpeR para combinar imagens das câmeras CCD e HRC do satélite CBERS-2B. O método WISpeR usa a informação das respostas espectrais de cada uma das bandas multiespectrais para ponderar a informação de detalhes espaciais da imagem de maior resolução espacial a ser fusionada (OTAZU et al., 2005, citado por SILVA, 2009). Os métodos foram aplicados para processar imagens com feições urbanas e aquáticas. Nas imagens com feições aquáticas, os métodos IHS e PC, apesar de uma pequena distorção espectral, apresentaram melhor nível de detalhamento. Por outro lado, os métodos baseados na transformada *wavelet* preservaram a informação espectral das imagens multiespectrais, mas apresentaram menor nível de detalhes comparados aos métodos IHS e PC.

2.2.5 Critérios de avaliação de imagens

Os procedimentos para tratamento de imagens, por mais eficientes que sejam, introduzem alterações na imagem que precisam ser cuidadosamente analisadas, para fazer uma avaliação criteriosa da eficiência do método utilizado. Para avaliar a qualidade da imagem, técnicas envolvendo avaliação visual e estatística têm sido utilizados (WANG et al., 2004a; WANG e BOVIK, 2002; WALD, 2000).

Avaliação Visual da Qualidade

Mesmo considerando que o sistema visual humano não é sensível a todas as distorções presentes em uma imagem (TELLES Jr, 2008), a avaliação visual é o primeiro critério utilizado pois, permite avaliar o resultado geral do processamento aplicado na imagem. A existência de distorções que alteram a qualidade visual de uma imagem permite que esse indicador seja usado como um primeiro fator de corte, ou seja, uma avaliação visual ruim permite descartar a imagem sem se progredir com as análises estatísticas.

Avaliação Estatística

Alguns métodos propõem a comparação entre valores de média, variância e desvio padrão das imagens processadas e as imagens de referência. Esses métodos são: BIAS, diferença de variância, desvio padrão da imagem diferença, erro médio quadrático e coeficiente de correlação Telles Jr, (2008). Estes métodos são usados para avaliar a qualidade da informação espectral (preservação da cor) e informação espacial (detalhes) da imagem.

O método proposto por WANG e BOVIK (2002) tem sido muito utilizado para avaliar a qualidade espectral de imagens processadas por técnicas de restauração e fusão de imagens. Este índice leva em conta três fatores: perda de correlação, distorção de luminância e distorção de contraste. Este índice, conhecido como índice universal de medida de qualidade de imagens (IQI), é dado por:

$$IQI = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \frac{2\mu_x \mu}{(\mu_x)^2 + (\mu_y)^2} \frac{2\sigma_x}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$$
(1)

onde x representa a imagem a ser testada e y representa a imagem referencia; $\mu_x = \mu_y$ são as respectivas médias de x e y; $\sigma_x = \sigma_y$ são as variâncias de x e y; σ_{xy} é a covariância entre x e y. A primeira componente representa o coeficiente de correlação entre x e y, que pode variar de -1 a 1. O máximo 1 é obtido quando as imagens estão totalmente correlacionadas. A segunda componente mede a variação de iluminação entre x e y, e pode variar entre 0 e 1, sendo igual a 1 quando a media de x for igual a media de y. A terceira componente mede a similaridade do contraste entre as imagens e seu intervalo de valores é também de 0 a 1. Quanto mais próximos de 1 os valores de IQI, mais próxima a imagem testada é da imagem de referência.

Para avaliar a qualidade da informação espacial, outros métodos, como os utilizados em Silva (2009), Anjos (2006) e Boggione (2003), são utilizados. Geralmente, esses métodos baseiam-se na comparação das componentes em altas frequências espaciais da imagem, que são responsáveis pelo maior nível de detalhamento da imagem. Normalmente, filtra-se a imagem processada e a imagem de referência com um filtro passa-altas para extrair a informação de detalhes e faz-se a correlação entre as imagens filtradas. Se as imagens possuem informação espacial semelhante, o índice de correlação fica próximo de 1. Outros métodos são: ERGAS espacial (*Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse*), perfil radiométrico, diferença de EIFOV (*Effectivness Instantaneous Field of View*) e avaliação do espectro de Fourie (Silva, 2009).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O reservatório da Usina Hidrelétrica de Ibitinga, da empresa AES TIETÊ (AES TIETÊ, 2009) localiza-se na região central do Estado de São Paulo, na região do médio Tietê, entre a Usina Hidrelétrica Álvaro de Souza Lima (Bariri), à montante, e a Usina Hidrelétrica Mário Lopes Leão (Promissão), à jusante (LONDE, 2008). Sua extensão é de aproximadamente 70 km no Rio Tietê, 25 km no Rio Jacaré-Guaçu e 25 km no Rio Jacaré-Pepira, seus principais afluentes A represa recebe grande quantidade de material orgânico e inorgânico devido, principalmente, às zonas de cultivos de cana-de-açúcar e frutas cítricas, que se desenvolvem do trecho médio até as cabeceiras dos seus afluentes. A localização e as características da represa são apresentadas na Figura 3 e Tabela 1, respectivamente.



Figura 3 - Localização do Reservatório de Ibitinga Fonte: adaptado de Atlas das Unidades de Conservação Ambiental do Estado de São Paulo citado por Londe, (2008)

Início da Operação	24/04/1969						
Extensão da Barragem	1.519,75 metros						
Área:	114 km²						
Volume Útil de Água Acumulado	56 x 106 m ³						
Latitude no Dique	21°45' S						
Longitude no Dique	48° 59' W						
Área da Bacia Hidrográfica	43.500 km ²						
Capacidade geradora	131,49 MW						
Profundidade Média	9 m						

Tabela 1 - Características do Reservatório de Ibitinga

Fonte: AES 2008 e CESP (1989) citado por Londe (2008)

A represa de Ibitinga foi selecionada como área de estudo, principalmente, porque é um reservatório hidrelétrico que está sujeito à ocorrência de florações de fitoplanctônicas, (LONDE, 2008).

3.2 Dados de Entrada

Para a realização do trabalho serão usados os seguintes dados:

- Imagens do satélite CBERS 2B, sensor CCD, bandas multiespectrais e pancromática, com resolução de 20 m a nadir; e sensor HRC, banda pancromática, com resolução de 2,7 m. Data de aquisição de 22-08-2008, órbita 157 ponto124.
- 2) Imagem do satélite ALOS, sensores AVNIR-2, bandas multiespectrais, com resolução de 10 m de 27-08-2008 e PRISM, banda pancromática, com resolução de 2,5 m a nadir e data a determinar.
- Modelo digital de elevação de 1:10000 do Instituto Geográfico e Cartográfico de São Paulo.

Imagens CCD e HRC do Satélite CBERS-2B

A câmera CCD do CBERS – 2B adquire imagens em uma faixa de 113 km de largura, com resolução espacial nominal de 20 m. Ela tem capacidade de orientar seu campo de visada dentro de \pm 32 graus, possibilitando a obtenção de imagens estereoscópicas, e opera com cinco bandas espectrais incluindo uma banda pancromática de 0,51 a 0,73 µm. A Tabela 2 apresenta, com mais detalhes, algumas características desta câmera.

	0,51 - 0,73 μm (pan)						
	0,45 - 0,52 µm (azul)						
Bandas espectrais	0,52 - 0,59 μm (verde)						
	0,63 - 0,69 µm (vermelho)						
	0,77 - 0,89 µm (infravermelho próximo)						
Campo de Visada	8,3°						
Resolução espacial	20 x 20 m						
Largura da faixa imageada	113 km						
Capacidade de apontamento do espelho	±32°						
Basaluaão tomporal	26 dias com visada vertical						
Resolução temporal	(3 dias com visada lateral)						
Frequência da portadora de RF	8103 MHz e 8321 MHz						
Taxa de dados da imagem	2 x 53 Mbit/s						
Potência Efetiva Isotrópica Irradiada	43 dBm						
Fonte: CBERS, 2009							

Tabela 2 - Características do sensor CCD

A Câmera Pancromática de Alta Resolução (HRC - *High Resolution Camera*) opera em uma faixa espectral que cobre o visível e parte do infravermelho próximo. Adquire

imagens de uma faixa de 27 km de largura com resolução nominal de 2,7 m, o que permite a observação detalhada de objetos da superfície. Devido a sua estreita faixa de cobertura são necessários 130 dias para a cobertura completa da terra. As características dessa Câmera são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Características do sensor HRC							
Banda espectral	0,50 - 0,80 µm (pancromática)						
Campo de Visada	2,1°						
Resolução espacial	2,7 x 2,7 m						
Largura da faixa imageada	27 km (nadir)						
Resolução temporal	130 dias na operação proposta						
Taxa de dados da imagem	432 Mbit/s (antes da compressão)						
Quantização	8 bits						
Fonte: CBERS 2009							

As imagens do satélite CBERS fornecidas pelo INPE são processadas em cinco diferentes níveis, de 0 (zero) a 4 (quatro). O nível zero representa a imagem em dados brutos sem qualquer alteração no valor dos *pixels*. No nível 1 (um), é realizado o processo de correção radiométrica que inclui basicamente calibração relativa e correção de *pixels* defeituosos. As imagens dos níveis 2 (dois), 3 (três) e 4 (quatro), são corrigidas geometricamente, com diferentes níveis de correção (GOUVÊA, 2008). As imagens de nível 2 são corrigidas usando os parâmetros do satélite. As imagens de nível 3 são registradas mais finamente usando a técnica de correlação, enquanto que as imagens de nível 4 são ortorretificadas. Uma amostra das imagens da área de estudo é apresentada na Figura 4.



A Figura 4 - Represa de Ibitinga Imagem CBERS – 2B – Data 22/08/2008 A) Sensor CCD – Composição 3-4-2; B) Sensor HRC

Imagens AVNIR-2 e PRISM do Satélite ALOS

As imagens dos sensores AVNIR-2 e PRISM do satélite ALOS serão usadas como imagens de referência na etapa de avaliação dos processamentos realizados com as imagens dos sensores CCD e HRC do satélite CBERS-2B. A escolha do sistema ALOS como referência deve-se ao fato dos dois sistemas possuírem resoluções espacial e espectral similares. O sistema AVNIR apresenta uma resolução espacial mais fina (10 metros) e também uma qualidade visual melhor em relação às imagens CCD. O mesmo pode ser observado com as imagens HRC e PRISM. Deverão ser adquiridas imagens ALOS dos sensores AVNIR-2 e PRISM correspondentes à mesma data (ou data próxima) das imagens CBERS-2B. Algumas características do sensor ALOS, AVNIR-2 e PRISM estão apresentadas nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Características do sensor AVNIR-2										
Bandas Espectrais/comp. de onda	1:0.42-0.50 2:0.52-0.60									
(microns)	3:0.61-0.69 4:0.76-0.89									
Resolução Espacial	10 m (nadir)									
Largura da Faixa	70 km (nadir)									
Sinal/Ruído	> 200									
Função de Transferência de Modulação	Bandas:1~3:>0.25									
i unção de Transferencia de Wiodulação	Banda 4: > 0.20									
No. de Detectores	7000 / banda									
Limite de Inclinação Lateral da Visada	+/-44° (direita/esquerda)									
Resolução Radiométrica	8 bits									

Fonte: IBGE 2009

Tabela 5 - Características do sensor PRISM								
No. de Bandas	1 (Pancromática)							
Comprimento de Onda	0,52 ~ 0,77 microns							
No. de Sensores	3 (nadir/para frente/para trás)							
Resolução Espacial	2,5 m							
Largura da Faixa	35 km (modo triplet) 70 km (apenas nadir)							
Relação Sinal/Ruído	>70							
Função de Transferência de Modulação (MTF)	>0.2							
No de Detectores	14.000/banda (faixa de 35 km)							
Inclinação da Visada	de -1,5 a +1,5 graus (transversal à trajetória no modo Triplet)							
Resolução Radiométrica	8 bits							

Fonte: IBGE 2009

Dados de Campo

Para validar os produtos obtidos com as imagens CBERS–2B, uma missão de campo concomitante à passagem do satélite, será realizada para adquirir dados *in situ* no período compreendido entre 17 e 20 de setembro de 2009. Serão coletados dados radiométricos, bem como obtidas amostras de água para a determinação da concentração de clorofila-a, partículas inorgânicas em suspensão e carbono orgânico dissolvido.

3.3 Metodologia

O diagrama de blocos na Figura 5, apresenta as etapas da metodologia proposta neste trabalho.



Figura 5 - Fluxograma

Ortorretificação

A ortorretificação exigirá a coleta de pontos de controle em campo com estação DGPS (*Differential Global Positioning System*) e o uso de um modelo numérico de elevação com resolução 1:10.000 do Instituto de Geográfico e Cartográfico de São Paulo (IGC, 2009). A ortorretificação será, a princípio, realizada utilizando o modelo Rigoroso gerado pela distribuidora de imagens CBERS, GISPLAN. Caso não seja possível utilizar estas imagens o *software* PCI Geomatica v9.1 (PCI GEOMATICS, 2007) será utilizado.

Correção Radiométrica

Na etapa de correção radiométrica, serão realizados os processos de restauração e correção atmosférica.

A etapa de restauração de imagens terá como objetivo melhorar a resolução espacial efetiva dos sensores HRC e CCD do satélite CBERS – 2B e, conseqüentemente, reduzir o efeito de borramento. Serão testados três métodos de restauração: (1) filtro inverso modificado implementado no programa RESTAU (FONSECA, 1988), (2) Richardson-Lucy (SOUZA, 2005) (Filtro Iterativo) e (3) o método baseado em redes neurais (CASTRO e SILVA, 2008a). Escolhido o método, as imagens HRC e CCD serão processadas pelo filtro de restauração mais adequado. Nesta etapa serão usadas imagens de nível 0, 1 e 2. As imagens de nível 0 serão usadas para melhorar a calibração relativa das imagens, caso as imagens apresentem problemas na radiometria. E para a restauração serão usadas as imagens de nível 1 e 2.

A correção atmosférica será feita a partir do *software* 5S –SCORADIS. Este algoritmo foi adaptado para uso por Jurandir Zullo Junior, do Centro de Pesquisa Meteorológica e Climática Aplicada à Agricultura (CEPAGRI / Unicamp) (JUNIOR, 1994). O resultado da utilização deste algoritmo fornecerá os valores do fator de reflectância para regiões das imagens pré-definidas.

Fusão de Imagens

As imagens CCD e HRC serão combinadas por meio do processo de fusão para gerar produtos com resolução espacial similares aos dos sensores AVNIR (10 m) e PRISM (2,5 m) e também na resolução intermediária de 5 metros. Serão testados os métodos de fusão de forma a encontrar o que melhor preserva a informação espectral que, no caso deste trabalho, é uma característica importante. Os algoritmos utilizados serão os implementados na forma de *plugin* no TerraPixel (SILVA, 2009).

Avaliação das Imagens

As imagens restauradas e fusionadas do satélite CBERS–2B da região de Ibitinga serão comparadas às imagens dos sensores AVNIR e PRISM e avaliadas utilizando os índices de avaliação espacial e espectral, descritos na Seção 2.2.5.

Processamento dos Dados Obtidos em Campo

As medidas radiométricas serão obtidas com o sensor FieldSpec Hand Held respeitando o protocolo definido por Milton (1987). A análise das amostras de água será realizada em laboratório (LONDE, 2008).

Será desenvolvida a simulação das bandas das imagens CBERS–2B fusionadas com os dados de radiometria obtidos em campo. O método utilizado será o método de integração dos retângulos descrito em Souto (2005). Posteriormente, os dados de campo e CBERS–2B (bandas 1,2,3,4) serão correlacionados de acordo com o estudo de Wang et al. (2008b).

As medidas de concentração de clorofila, sólidos inorgânicos em suspensão e carbono orgânico dissolvido serão correlacionadas com os valores de reflectância obtidos das imagens CBERS–2B. Os modelos de correlação para a clorofila-a seguirão os do trabalho de Londe (2008). Para os outros parâmetros medidos, será utilizado o método descrito em Wang (2008).

4 RESULTADOS ESPERADOS E CRONOGRAMA

Resultados Esperados

Neste trabalho, espera-se que os produtos de alta resolução obtidos usando as imagens CBERS–2B permitam identificar os parâmetros de qualidade da água. Para isso, pretende-se gerar e analisar dados *in situ* e aqueles obtidos através do produto CBERS–2B.

Através deste trabalho, espera-se criar um produto de alta resolução que subsidie a identificação de parâmetros de qualidade de água em reservatórios hidrelétricos, mas que também sirva a reservatórios de menor porte, como aqueles localizados em regiões rurais ou urbanas que atendam principalmente ao consumo humano de água.

A partir desta dissertação poderão ser submetidos os seguintes artigos:

- Avaliação de Métodos de Restauração para imagens do Satélite CBERS-2B, sensores HRC e CCD. **IEEE Transactions on Image Processing.**

Avaliação de Métodos de Fusão para imagens do Satélite CBERS-2B, sensores HRC e
CCD. IEEE Transactions on Image Processing.

- Determinação da concentração de clorofila-a no reservatório de Ibitinga a partir de imagens de alta resolução do satélite CBERS-2B. The Science of the Total Environment.

Cronograma de Atividades

Etopo		2009										2010			
Елара	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar
Pesquisa Bibliográfica								· ·							
Processamento das Imagens															
Saída de Campo															
Análise dos Resultados															
Redação/Submissão de artigo															
Redação da Dissertação															
Entrega da dissertação															

Tabela 6 - Cronograma de Atividades

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AES TIETE. Disponível em: http://www.aestiete.com.br//. Acesso em: janeiro de 2009.

ANJOS, C. S. Análise de características radiométricas e geométricas dos dados CCD/CBERS-2. 2006. 119 p. (INPE-14792-TDI/1235). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006. Disponível em: http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/12.15.16.59>. Acesso em: 10 fev. 2009.

BANHAN, M. R.; KATSAGGELOS, A. K. Digital Image Restoration. **IEEE Signal Processing Magazine.** v. 14, n. 2, 24-41 p.,1997.

BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento Remoto da dinâmica da circulação da Água do Sistema Planície de Curuai/Rio Amazonas. 254 p. (INPE-14614-TDI/1193) Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, 2005.

BENSEBAA, K. Estimação da resolução espacial da câmera CCD dos satélites CBERS 1 e 2. 2005. 90 p. (INPE-13597-TDI/1036). Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005. Disponível em: http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2005/05.25.18.15>. Acesso em: 10 fev. 2009.

BOGGIONE, G. A. **Restauração de imagens do satélite Landsat-7.** 2003. 160 p. (INPE-10462-TDI/929). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003. Disponível em: http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/08.19.08.48>.

BRIVIO, P. A.; GIARDINO, C.; ZILIOLI, E. Determination of Chlorophyll concentrations changes in Lake Garda using an image-based radiative transfer code for Landsat TM images. **International Journal of Remote Sensing**. v. 22, n.2-3, 487–502 p. 2001.

CARVALHO, L. A. S.; STRAUSS, C.; FONSECA, L. M. G.. Determinação da resolução espacial efetiva da câmera HRC-CBERS-2B pelo método de espalhamento de borda **Aceito para o XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** Natal, Brasil, abril 2009.

CASTRO, A. P. A.; SILVA, J. D. S. A Multiscale Neural Network Method for Image Restoration. **Tendências em Matemática Aplicada e Computacional**, v.9, n.1, 41-50 p. 2008a.

CASTRO, A. P. A.; SILVA, J. D. S. Restoring images with a multiscale neural network based technique **Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing.** p.1693-1697. 2008b. ISBN:978-1-59593-753-7 Disponível em : http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1363686.1364088>.

CBERS. **O Satélite Sino Brasileiro de Recursos Terrestres** (Programa – CBERS) Disponivel em: http://www.cbers.inpe.br/>. Acesso em: Janeiro de 2009

COSKUN, H. G., TANIK, A., ALGANCI, U., CIGIZOGLU H. K. Determination of Enviromental Quality of Drinking Water Reservoir by Remote Sensing, GIS and Regression Analysis. **Water Air Soil Pollut**, v.194, 275-285 p. 2008.

D'ALGE, J.C., Cartografia para geoprocessamento. In: Câmara, G.; Davis, C.;Monteiro, A. M. V. (Ed). **Introdução à ciência da geoinformação**. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap6-cartografia.pdf>. Acesso em: janeiro de 2009.

FONSECA, L. M. G. Restauração e Interpolação de Imagens do Satélite Landsat por meio de Técnicas de projeto de filtros FIR. 1988. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica)** - Instituto Tecnológico da Aeronáutica. São Jose dos Campos: ITA, 1988.

GONZALEZ, R. C. **Digital Image Processing**. 3. ed. Pearson Prentice Hall, 2008. 954 p.

GOUVÊA, É. J. C. **Calibração radiométrica relativa da câmara CCD dos satélites CBERS-2 e CBERS-2B**. 2008. 103 p. (INPE-15270-TDI/1347). Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008. Disponível em: http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/03.17.18.30>. Acesso em: 10 fev. 2009.

GOUVÊA, É. J. C.; FONSECA, L. M. G.; SANTOS, R. D. C. Ajuste dos parâmetros do algoritmo de restauração de imagens da câmera CBERS-2 CCD por meio de técnicas de Mineração de Dados. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR)**, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 903-910. CD-ROM; On-line. premiado. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<u>http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.20.18</u>>. Acesso em: 28 fev. 2009.

HAYKIN, S. Redes Neurais: Princípios e Pratica. Porto Alegre: Bookman, 2001. 900 p.

HELLWEGER, F.L.; MILLER, W.; OSHODI, K. S. Mapping Turbidity in Charles River, Boston Using a high-resolution Satellite. **Environmental Monitoring** Assessment, v. 132 n. 1-3, 311-320 p. 2007.

HADJIMITSIS, D. G.; HADJIMITSIS, M. G.; CLAYTON, C.; CLARKE, B. A. Determination of Turbidity in Kourris Dam in Cyprus Utilizing Landsat TM Remotely Sensed Data. **Water Resources Management** v. 20: 449–465p. 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **ALOS**. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/alos//>. Acesso em: janeiro de 2009.

JUNIOR, J. R. Correção Atmosférica de Imagens de Satélites e Aplicações. 191 p. 1994. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP.

KIRK, J. T. O. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 509 p.

LEONARDI, F.; OLIVEIRA, C. G.; FONSECA, L. M. G.; ALMEIDA, C. M. Fusão de Imagens CBERS 2B: CCD-HRC Aceito para o XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, abril 2009, Natal, Brasil. Comunicação Interna.

LIU, W.; HE, G. Comparison of fusion algorithms for ALOS panchromatic and Multispectral Images. **Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery.** v. 4, 503-509 p. 2008. Disponível em http://ieeexplore.ieee.org/xpls /abs_all.jsp?arnumber=4666437>.

LONDE, L. R. Comportamento Espectral do Fitoplâncton de Um Reservatório Brasileiro Eutrofizado – Ibitinga (SP). 2008 223 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos (Não Publicada).

MILTON, E. J. Principles of field spectroscopy. International Journal of Remote Sensing, v. 8, n. 12, 1807-1927 p. 1987.

MORAN, M. S.; BRYANTA, R.; THOMEB, K.; NIA, W.; NOUVELLONA, Y.; GONZALEZ-DUGOC, M. P.; QID, J.; CLARKEE, T. M. A refined empirical line approach for reflectance factor retrieval from Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM+ **Remote Sensing of Environment.** v. 78, 71–82 p. 2001.

NAKAGAKI, R.; KATSAGGELOS, A. K. A VQ-Based Blind Image Restoration Algorithm. **IEEE Transactions on Image Processing**, v.12, n.9, 1044-1053 p. 2003.

OSTLUND, C.; FLINK, P., STROMBECK, N.; PIERSON, D.; LINDELL, T. Mapping of the water quality of Lake Erken, Sweden, from Imaging Spectrometry and Landsat Thematic Mapper. **The Science of the Total Environment**. v. 268, 139-154 p. 2001.

PANDA, S. S.; GARG, V.; CHAUBEY, I. Artificial Neural Networks Application in Lake Water Quality Estimation Using Satellite Imagery. Journal of Environmental Informatics. v. 4, n. 2, 65-74 p. 2004.

PAPASTERGIADOU, E. S.; RETALIS, A.; KALLIRIS, P.; GEORGIADIS, T. Land use changes and associated environmental impacts on the Mediterranean shallow Lake Stymfalia, Greece. **Hydrobiologia**, v. 584, 361-372 p. 2007.

PCI GEOMATICS INC. Geomatica Software Solutions. **OESE Reference Manual:** Versions 9.1. Canadá, 2007.

PERRY, S. W.; GUAN, L. Weigh Assingnment for Adaptative Image Restoration by Neural Networks. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v.11, n.1, 156-170 p. 2000.

PINHO, C. M. D.; RENNÓ, C. D.; KUX, H. J. H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. 4225-4232p. CD-ROM.

PUETTER, R. C.; GOSNELL, T. R.; YAHIL, A. Digital Image Reconstruction: Deblurring and Denoising. Annual Review of Astronomy and. Astrophysics. v. 43, 139-194 p. 2005.

PUETTER, R .C.; YAHIL, A. The pixon method of image reconstruction. ASP Conference Series 172: Astronomical Data Analysis Software and Systems VIII, p.307; 1999.

RENÓ, V. F.; NOVO, E. M.L.M.; FONSECA, L. M. G. Avaliação da potencialidade de imagens MSS na caracterização e mapeamento da cobertura vegetal de várzea da planície amazônica. Aceito para o XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, abril 2009, Natal, Brasil. Comunicação Interna.

RUDORFF, C. M. Estudo da composição das águas da planície amazônica por meio de dados de reflectância do sensor hyperion/EO-1 e de espectrômetro de campo visando a compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente p. (INPE-14166-TDI/1083). Dissertação ativos. 2006. 140 (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Disponível Campos: 2006. em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-INPE, m13@80/2006/06.12.18.14>. Acesso em: 10 fev. 2009.

SAWAYA, K. E.; OLMANSON, L.G.; HEINERT, N. J.; BREZONICK, P. L.; BAUER, M. E. Extending satellite remote sensing to local scales: land and water resource monitoring using high-resolution imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 88, 144-156 p. 2003.

SCHOWENGERDT, R. A. Techniques for image processing and classification in remote sensing. Orlando: Academic Press, 2007. 515 p.

SCHWIND, P., PALUBINSKAS G, STORCH T, AND MULLER R. Evaluation Of Deconvolution Methods For Prism Images. 2008. Disponível em: http://de.geocities.com/tobias.storch/y2008-alos.pdf. Acesso em 25/02/2009>.

SILVA, F. C. Implementação e Avaliação de métodos e Fusão para geração de imagens coloridas de alta resolução do satélite CBERS 2B. 2009. 88 p. (Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São

José dos Campos: INPE, 2009. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/~felipe/leila/publicacao.pdf (Não Publicado).

SOUTO, R. P.; KAMPEL, M.; BRANDINI, F.; VELHO, H. F. D. C.; STEPHANY, S. Análise comparativa de medições in situ e orbital de radiâncias do oceano na estimativa de concentração de clorofila-*a*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. 3679-3686 p., 2005.

SOUZA, P. E. U. Restauração de imagens CCD/CBERS-2 pelo método de Richardson-Lucy modificado. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. 1107-1114 p. Premiado. Disponível em: http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.21.32>. Acesso em: 10 fev. 2009.

TANRÉ, D.; DEROO, C.; DUHALT, P.; HERMAN, M.; MORCRETT, J. J.; PERBOS, J., DESCHAMPS, P. Y. Description of a Computer Code to Simulate the Satellite Signal in Solar spectrum: 5S Code. International Journal Of Remote Sensing. v. 11 659-668 p. 1990.

TERRAPIXEL. **Raster Data Processing Using Terralib**.. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/terrapixel/. Acesso em Janeiro 2009.

TELLES JR, M. A. B. G. **Super-Resolução de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 2008. 118p. Tese (Doutorado em Geologia – Área de concentração Processamento de Dados em Geologia e Análise Ambiental). Universidade de Brasília, Brasília.

TORBICK, N.; HU, F.; ZHANG, J.; QI. J.; ZHANG, H.; BECKER, B. Mapping Chlorophyll-*a* Concentrations in West Lake, China using Landsat 7 ETM+. Journal of Great Lakes Research, v.34, 559-565 p. 2008.

TOUTIN, T. Review Article: Geometric Processing of Remote Sensing Images: Models, Algorithms and Methods. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, 1893-1924 p. 2004.

VERMOTE, E. F.; TANRÉ, D.; DEUZE, J. L.; HERMAN, M.; MORCRETTE, J. J. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An Overview **IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing,** v. 35, n. 3, 675-686 p.1997.

WALD, L. Quality of high resolution synthesized images: Is there a simple criterion. **Proceedings of the International Conference on Fusion of Earth Data**, 26-28 p. 2000.

WALD, L. Some Terms of Reference in Data Fusion. **IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing,** v. 37, n. 3, 1190-1193 p. 1999.

WANG, Z.; BOVIK, A. C. A universal image quality index. **IEEE Signal Processing** Letters, v. 9, n. 3, 81-84 p. 2002.

WANG, Z.; BOVIK, A. C.; SHEIKH, H. R.; SIMONCELLI, E. P. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity. **IEEE Transactions on Image Processing**, v. 13, n. 4, 600-612 p. 2004a.

WANG , Y., XIA, H., FU, J., SHENG, G. Water Quality Change In Reservoirs Of Shenzhen, China: detection using LANDSAT/TM data. Science of the Total Environment. v, 328, 195 – 206 p. 2004b.

WONG , H. S.; GUAN, L. A Neural Learning Approach for Adaptive Image Restoration Using a Fuzzy Model – Based Networks Architeture, **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 12, n. 3. 516-531 p. 2001.

YU, Z.; ZHANG, J.; GUANGLIANG, W. A.; YINGCHENG, L. Optimum Image Fusion Technique for ALOS Data. **International conference on Microwave an Millimeter Wave Technology, 2008 ICMMT** v. 4, 1784-1787 p.2008. Disponível em http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4540823>.