

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N^o 66/2: 223-231
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

X-6SCORR: CONVERSÃO SEMI-AUTOMÁTICA DE ND DE IMAGENS ORBITAIS PARA FRB BASEADA EM METADADOS XML E CÓDIGO 6S

X-6SCorr: Semi-automatic Conversion of DN of Orbital Images to BRF Based on XML Metadata and 6S Code

Otávio Cristiano Montanher^{1,2} & Maurício Carvalho Mathias de Paulo¹

**^{1,2}Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto**

Av. dos Astronautas, 1758 - Jd. da Granja - São José dos Campos - SP, Brasil - CEP 12227-010.
otaviocmontanher@yahoo.com.br, mauricio.dev@gmail.com

**²Diretoria de Serviço Geográfico – DSG
Quartel General do Exército, Bloco “F”, 2º Piso, Ala Norte
70630-901 – SMU – Brasília – DF, Brasil.**

*Recebido em 05 de Março, 2012/ Aceito em 02 de Junho, 2012
Received on March 05, 2012/ Accepted on June 02, 2012*

RESUMO

Os valores de número digital (ND) devem ser convertidos em unidades físicas para que possam ser correlacionados com variáveis biogeofísicas de um determinado alvo de interesse. As imagens multiespectrais, por exemplo, da série de satélites Landsat, são importantes fontes de dados multitemporais, as quais permitem a avaliação das mudanças dos alvos em escala de décadas, mas o processamento envolvido na conversão dos números digitais é moroso. No entanto, há poucos aplicativos livres, de domínio nacional, que realizem esta conversão de forma simplificada. Muitas etapas das conversões de ND para FRB (fator de reflectância bidirecional) necessitam de preenchimento manual de coeficientes e parâmetros que podem ser reconhecidos automaticamente por meio das informações disponíveis em metadados. Este trabalho busca apresentar a base teórica do X-6SCorr – Correção atmosférica 6S baseada em metadados XML – um aplicativo que realiza as conversões de ND para FRB aparente e de superfície de forma semi-automática, com uso do código 6S. O X-6SCorr foi desenvolvido especificamente para imagens adquiridas a partir da DGI (Divisão de Geração de Imagens – INPE), de forma que grande parte dos parâmetros necessários para conversão de ND para FRB são reconhecidos automaticamente a partir do arquivo XML. Por hora, apenas o sensor TM do satélite Landsat 5 está disponível para processamento, mas há a possibilidade de inclusão dos sensores ETM+ e os dados de toda a série CBERS. As atuais limitações para inclusão desses sensores são discutidas. O X-6SCorr busca colaborar para o preenchimento da lacuna existente nos softwares nacionais livres que lidam com dados de sensoriamento remoto, em termos de correção atmosférica. Um estudo de caso foi realizado, demonstrando um exemplo de aplicação do X-6SCorr. O X-6SCorr é um software baseado em dados e códigos de domínio público, e está disponibilizado gratuitamente.

Palavras chaves: Correção Atmosférica, Imagens Multiespectrais, Código 6S.

ABSTRACT

Digital number (DN) should be converted to physical units to make possible its correlation with biogeophysical variables of a particular object of interest. Multispectral images, like that provided by Landsat satellites series, are valuable mul-

temporal data sources, which allow the evaluation of changes in targets at decade scales, but the processing inherent to digital numbers conversions is time-consuming. However, there are few free programs of national domain that makes this conversion in a simple way. Many conversion stages from DN to BRDF (bidirectional reflectance factor) need a manual writing of coefficients and parameters that can be automatically founded through available information in the metadata. This paper to aim to present the theoretical basis of X-6SCorr – 6S atmospheric correction based on XML metadata – a program that performs conversions from DN to apparent and surface BRDF semi-automatically, using the 6S code. The X-6SCorr was developed specifically for images acquired from the DGI (Divisão de Geração de Imagens – INPE), so that most of the parameters required for conversion of DN to the BRDF are automatically recognized from the XML file. For now, only the TM sensor of Landsat 5 satellite is available for processing, but there is the possibility of inclusion of the ETM+ sensor and the entire CBERS series. The current limitations for inclusion of these sensors are discussed. The X-6SCorr seeks to collaborate for the filling of the gap in the national free software dealing with remote sensing data, in terms of atmospheric correction. A study case was carried out for demonstration of an example of X-6SCorr application. The X-6SCorr is a software based on data and codes of public domain, and is freely available.

Keywords: Atmospheric Correction, Multispectral Images, 6S Code.

1. INTRODUÇÃO

Algumas pesquisas que vêm sendo desenvolvidas no campo do sensoriamento remoto e áreas afins dependem da conversão dos valores de número digital (ND) para fator de reflectância bidirecional (FRB) de superfície (ρ_{sup}) que é uma unidade fisicamente coerente com a composição do alvo. No entanto, há muito poucos aplicativos livres, de domínio nacional, que realizem esta conversão de forma simplificada. Algumas etapas do procedimento adotado atualmente são morosas, computacionalmente exigentes e necessitam do preenchimento manual repetitivo de coeficientes.

Como muitos dados de entrada nas fórmulas para conversão são tabelados, ou simplesmente descritos nos arquivos de metadados adquiridos juntamente com as imagens, grande parte do procedimento pode ser automatizado. Isto é especialmente importante no caso da necessidade da conversão de séries temporais. Nestes casos aumenta-se muito o tempo necessário para o processamento e as chances de ocorrer falhas humanas no preenchimento dos coeficientes e termos computacionais.

Este trabalho busca divulgar o X-6SCorr – Correção Atmosférica 6S baseada em meta-arquivo XML – um aplicativo que realiza as conversões de ND para FRB aparente (ρ_{apa}) e ρ_{sup} de forma semi-automática. O X-6SCorr foi desenvolvido especificamente para imagens adquiridas a partir da DGI (Divisão de Geração de Imagens – INPE), de forma que grande parte dos

parâmetros necessários para conversão do ND (Número Digital) para reflectância aparente e de superfície são reconhecidos automaticamente a partir do arquivo XML, adquirido conjuntamente com o arquivo da imagem em Geotiff. O arquivo de metadados em formato XML produzido pela DGI possui informações sobre o tipo de sensor utilizado no imageamento, a banda do espectro eletromagnético, a data e as condições de imageamento (atitude e posição do pixel central). O processo do X-6SCorr identifica as informações que são relevantes para os processos de conversão do ND para ρ_{apa} e correção atmosférica e as utiliza automaticamente durante a conversão.

Por hora, apenas o sensor TM do satélite Landsat 5 está disponível para processamento no X-6SCorr, sendo, por isso notado neste trabalho como TM5. Ao longo deste trabalho serão discutidos os motivos pelos quais ainda não foram incluídos outros sensores, bem como as perspectivas futuras para continuidade do projeto. As considerações teóricas sobre as conversões serão feitas, bem como as discussões em relação às etapas que não são passíveis de automatização.

1.1 Trabalhos prévios

Diversas iniciativas para a correção atmosférica de imagens obtidas por sensores orbitais foram desenvolvidas ao longo do tempo. Algumas delas foram disponibilizadas para a comunidade científica como o 5S, o SCORADIS (ZULLO JUNIOR, 1994) e o 6S. O SCORADIS

foi desenvolvido no Brasil e têm sido utilizado, por exemplo, para correção de dados do satélite CBERS 2 (PONZONI et al. 2006; 2008), do AVHRR/NOA (NASCIMENTO, 2006) e do sensor TM (ZULLO JUNIOR, 1994; PONZONI et al. 2004; OLIVEIRA et al. 2009).

O X-6Scorr visa essencialmente a agilização no processamento de correção atmosférica, permitindo a correção de séries temporais de imagens, utilizando as informações disponibilizadas pelo distribuidor. (Tópicos 2 e 4).

O X-6Scorr baseia-se no código computacional 6S. Optou-se por este código porque uma série de limitações do código 5S era imposta por restrições de capacidade de processamento dos computadores da década de 80 (Vermote et al. 1997). Na década de 90 muitas destas limitações já estavam superadas, o que levou os autores a desenvolverem um código mais robusto (Vermote et al. 1997).

1.2 Motivação

O Alto Rio Paraná, na divisa dos estados do Paraná e Mato Grosso do Sul tem lidado com alterações decorrentes da implantação de barragens hidrelétricas à montante (SOUZA FILHO, 2009). Tais construções possuem a capacidade de retenção de sedimentos, o que provoca a diminuição da concentração de sedimentos suspensos. Montanher e Souza Filho (2011) obtiveram modelos empíricos para

estimativa da concentração de sedimentos em suspensão para o Alto Rio Paraná a partir de imagens Landsat 5. O modelo utiliza uma razão entre as bandas 2, 3 e 4 do sensor TM e prevê que elas já estejam convertidas para reflectância de superfície.

Para averiguação das variações temporais deste parâmetro de qualidade d'água, uma opção seria o processamento de todas as imagens TM5 sem cobertura de nuvens e com boa qualidade radiométrica e posterior aplicação dos modelos. No entanto, a correção de bandas individuais de centenas de imagens é altamente consumidora de tempo, o que pode inviabilizar a execução de algumas pesquisas.

Além do estudo de caso apresentado neste artigo, muitas outras aplicações em estudos de vegetação, agricultura, geologia, solos e qualidade de água podem ser feitas utilizando-se a metodologia implementada no X-6Scorr.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO E FUNCIONAMENTO

A estrutura do X-6Scorr pode ser vista na Figura 1. Dados os arquivos de entrada raster (TIF) e o arquivo de metadados (XML), o ND é convertido automaticamente para ρ_{apa} . Já a conversão de ρ_{apa} para ρ_{sup} necessita, além das informações de metadados, parâmetros intrínsecos a cada imagem, e devem ser fornecidos pelo usuário.

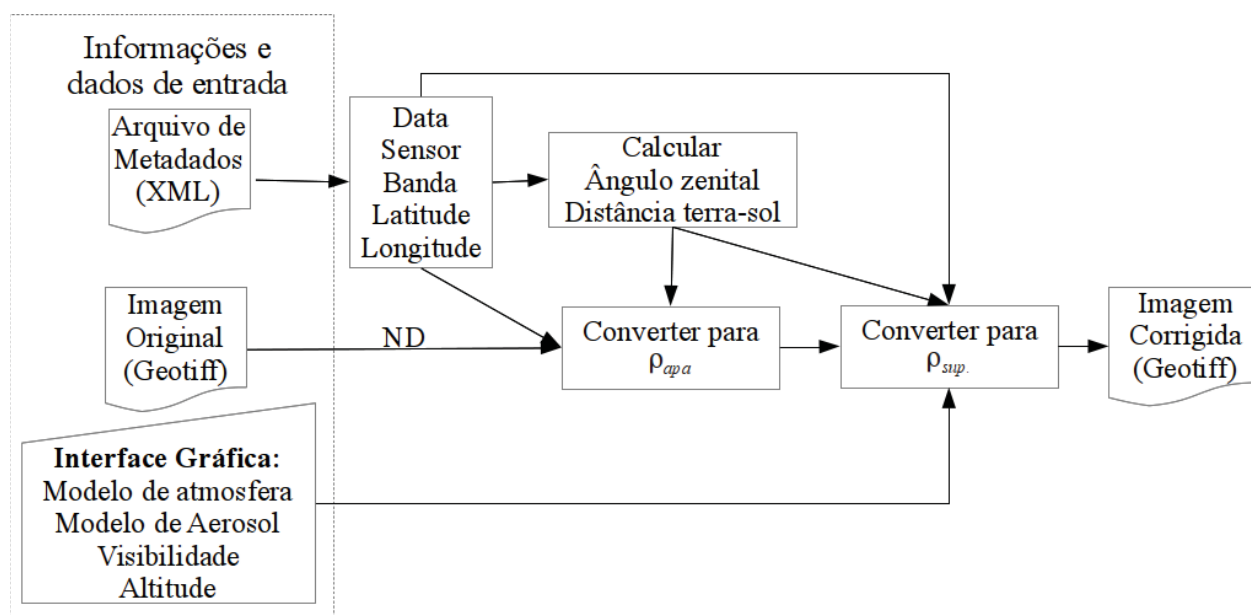


Fig. 1 - Estrutura do X-6Scorr.

2.1 Conversão ND para ρ_{apa}

O ND possui uma dependência com o sinal radiante provindo do alvo. No entanto, este não têm significado físico, sendo apenas uma representação computacional necessária para transmissão dos dados, não devendo ser correlacionado com nenhuma variável biofísica ou geofísica de interesse.

A conversão do ND para ρ_{apa} é feita no X-6SCorr de acordo com Markham e Barker (1986) onde inicialmente o ND é convertido para radiância espectral no sensor L_λ (Equação 1).

$$L_\lambda = \left(\frac{LMAX_\lambda - LMIN_\lambda}{Q_{cal\ max} - Q_{cal\ min}} \right) (Q_{cal} - Q_{cal\ min}) + LMIN_\lambda \quad (1)$$

Onde:

$LMAX_\lambda$ = radiância espectral máxima ($W/(m^2 sr \mu m)$);

$LMIN_\lambda$ = radiância espectral mínima ($W/(m^2 sr \mu m)$);

$Q_{cal\ max}$ = número digital máximo (ND);

$Q_{cal\ min}$ = número digital mínimo (ND);

Q_{cal} = número digital à ser convertido (ND).

Os valores de número digital mínimo e máximo dependem da resolução radiométrica do sensor, sendo 0 e 255, respectivamente para o TM5. Já os valores de radiância espectral mínima e máxima dependem das especificações do sensor e da data de aquisição da imagem. Para o X-6SCorr, os valores adotados estão disponíveis em Chander et al. (2009), que é um documento de domínio público. Nota-se que há uma mudança dos valores de $LMAX_\lambda$ para as bandas TM5 1 e 2 em 31/12/1991. O X-6SCorr reconhece automaticamente quais são os valores a serem adotados segundo a data de aquisição da imagem, que é extraída automaticamente do arquivo de metadados.

Após a conversão do ND, a L_λ é convertida para ρ_{apa} por meio da Equação 2.

$$\rho_{apa} = \frac{\pi \times L_\lambda \times d^2}{ESUN_\lambda \times \cos \theta_s} \quad (2)$$

Onde:

d = distância terra-sol (unidades astronômicas);
 $ESUN_\lambda$ = irradiância solar média no topo da atmosfera ($W/(m^2 \mu m)$);

θ_s = ângulo solar zenital (graus).

No X-6SCorr, os valores de $ESUN_\lambda$ foram obtidos em Chander et al. (2009), enquanto d e θ_s são resolvidos analiticamente a partir da data, horário e local de aquisição da imagem.

2.1.1 Cálculo dos parâmetros astronômicos

O ângulo solar zenital solar θ_s é calculado utilizando a formulação apresentada na Equação 3 (SPENCER, 1971), onde ϕ é a latitude, δ é a declinação solar e ω é o ângulo horário do instante de imageamento do pixel central.

$$\theta = \arccos(\sin(\delta)\sin(\phi) + \cos(\delta)\cos(\phi)\cos(\omega)) \quad (3)$$

A declinação solar é calculada através da aproximação apresentada na Equação 4, onde G é calculado por meio da Equação 5. Na Equação 5, d_n é a quantidade de dias passados desde 1° de janeiro até a data de aquisição da imagem, ou seja, é o número de dias do ano.

$$\delta = 0,006918 - 0,399912\cos(\Gamma) + 0,070257\sin(\Gamma) - 0,006758\cos(2\Gamma) + 0,000907\sin(2\Gamma) - 0,002697\cos(3\Gamma) + 0,0014\sin(3\Gamma) \quad (4)$$

$$\Gamma = 2\pi \frac{d_n - 1}{365} \quad (5)$$

Da mesma maneira, a razão da distância Terra-Sol é calculada através do método analítico apresentado na Equação 6.

$$(r_0 / d)^2 = 1,0011 + 0,034221\cos(\Gamma) + 0,00128\sin(\Gamma) + 0,000719\cos(2\Gamma) + 0,000077\sin(2\Gamma) \quad (6)$$

Onde:

r_0 = distância Terra-Sol média.

2.2 Conversão ρ_{apa} para ρ_{sup}

2.2.1 O código 6S

Por definição, a ρ_{apa} possui interferência dos efeitos atmosféricos, ou seja, para as aplicações onde é necessário a ρ_{sup} , tais valores ainda não são adequados. Gürtler et al. (2005) apresentam uma planilha para esta conversão por meio do método de subtração do objeto

escuro (DOS – *dark object subtraction*). No entanto, este método trata apenas dos efeitos do espalhamento atmosférico de forma empírica, tanto na escolha subjetiva do alvo escuro, como no método do histograma mínimo. No X-6Scorr, o código computacional 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum* – Vermote et al. 1997a) foi adotado.

Este código é baseado em um modelo de transferência radiativa e permite recuperar com precisão o sinal provindo do terreno (VERMOTE et al. 1997a), desde que os parâmetros geométricos, espectrais e atmosféricos sejam oferecidos com precisão. Os processos de atenuação atmosférica por espalhamento e absorção da REM (radiação eletromagnética) são quantificados segundo os parâmetros fornecidos. Para maiores informações sobre as vantagens e limitações do código 6S, indica-se a leitura de Vermote et al. (1997b).

Uma crítica feita frequentemente em relação ao uso deste método é que são necessários parâmetros atmosféricos do mesmo dia de aquisição da imagem (idealmente no mesmo instante). No entanto, existem alternativas para este caso, tais como: i) uso de modelos atmosféricos e parâmetros aproximados, que muitas vezes recaem no problema da subjetividade na escolha; ii) adoção de dados por fontes pontuais, como coleta de dados em campo e em estações meteorológicas, sendo que estes não caracterizam um sistema operacional e iii) adoção de estimativas remotas fornecidas, por exemplo, pela série *MODIS Atmosphere* (<http://modis.atmos.gsfc.nasa.gov/>). Esta é uma alternativa interessante e já trabalhada para correção de dados TM (OLIVEIRA et al. 2009) e dados AVHRR/NOAA (NASCIMENTO, 2006), mas os dados são disponíveis após a data de lançamento dos satélites (TERRA - dezembro/1999 e AQUA abril/2002). No entanto, há uma longa série de dados meteorológicos disponibilizados em <http://dss.ucar.edu/datasets/ds090.0/matrix.html> derivados a partir de dados de análises globais NCEP. Embora tais dados muitas vezes sejam incompatíveis com a resolução espacial do TM5 e outros sensores semelhantes, a partir deles é possível definir a concentração de elementos na coluna atmosférica como o vapor

d'água, ozônio e aerossóis (visibilidade em 550 nm) que já são capazes de definir as principais características atmosféricas de espalhamento e absorção da REM para o código 6S. No entanto, esta é uma abordagem vista apenas em estudos experimentais, como no trabalho de Jiménez-Muñoz et al. (2010), que obteve bons resultados com ela.

O arquivo executável do modelo 6S utilizado no X-6Scorr foi adaptado por Mauro Antônio Homem Antunes para imagens em formato .raw de 8 bits, em 4 de abril de 2001 (ANTUNES et al. 2003). É necessário que o usuário saiba que a adaptação para 8 bits faz com que, no máximo, 0,5 ND seja perdido na conversão de ND para ρ_{apa} , e mais 0,5 na conversão da ρ_{apa} para ρ_{sup} . Isto ocorre por causa do arredondamento intrínseco no processo. Ou seja, se o usuário necessitar de uma precisão maior que 1 ND, o X-6Scorr não deve ser utilizado. No entanto, apenas aplicações muito específicas, como a validação da resposta de sensores orbitais, que necessitam de precisão desta magnitude, as quais são normalmente feitas com uma base de dados atmosféricos adquiridos em campo.

2.2.2 Parâmetros reconhecidos automaticamente no X-6Scorr

A aplicação do código 6S por meio do executável de Mauro Antônio Homem Antunes (ANTUNES et al. 2003) exige a entrada de dados geométricos, espectrais e atmosféricos, conforme o exemplo (Fig. 2).

No X-6Scorr, os parâmetros das linhas 1, 2, 7, 8, 9 e 10 são reconhecidos automaticamente a partir do XML. A condição geométrica é reconhecida pela identificação do satélite e sensor. Os parâmetros de data e horário são identificados e assumidos simplesmente. Já a latitude e longitude são assumidas para o centro da imagem, considerando o ponto médio dos limites extremos, existentes no XML. A banda espectral é reconhecida no XML e transposta para o código em sua linguagem (25 = banda 1, por exemplo). Além disso, são necessárias a identificação do arquivo raster em valores de ρ_{apa} (-1) e o número de pixels do arquivo, reconhecidos automaticamente.

Linha	Parâmetro	Descrição
1	7	(Condição geométrica Landsat TM);
2	3 21 13.4 -52.8173 -23.1146	(mês,dia,horário de aquisição (hora decimal em tempo universal) long.lat.;
3	1	(modelo atmosférico (padrão tropical))
4	1	(modelo de aerossol (padrão continental))
5	55	(visibilidade em km (concentração de aerossóis)
6	-0.2	(altitude em km, negativo para valores acima do nível do mar)
7	-1000	(identificação de um sensor a bordo de satélite)
8	25	(banda do Landsat5 TM)
9	-1	(imagem TM com reflectância escalonada entre 0 e 255)
10	278941	(número de bits do arquivo)

Fig. 2 - Exemplo da entrada dos parâmetros para aplicação do código 6S por meio do executável de Mauro Antônio Homem Antunes.

2.2.3 Entrada de parâmetros atmosféricos no X-6SCorr

Os parâmetros das linhas 3, 4, 5 e 6 não são reconhecidos automaticamente, devendo ser fornecidos pelo usuário. A altitude pode ser adotada por um valor médio de toda a cena, ou um valor específico da área de interesse do usuário, sendo que, no X-6SCorr, a entrada é em metros, sem o valor negativo (a conversão é feita internamente), para facilidade de processamento. O X-6SCorr fornece uma interface gráfica para preenchimento desses parâmetros (Fig. 3). Primeiramente escolhe-se um diretório no qual estão os arquivos raster e XML. Para que o X-6SCorr reconheça automaticamente cada banda e seu arquivo XML correspondente, eles devem possuir a mesma identificação. Após o reconhecimento dos arquivos, deve-se preencher os dados atmosféricos e a altitude desejados. Maiores informações sobre a operacionalidade do X-6SCorr podem ser obtidas na opção “Ajuda”.

3. IMPLEMENTAÇÃO

O X-6SCorr foi desenvolvido como *software* livre com foco principal no uso acadêmico. Para a leitura do arquivo de metadados em formato XML foi utilizada a biblioteca livre *tinyXML*. A interface gráfica foi desenvolvida utilizando a biblioteca livre Qt 4.3, que permitiu que o aplicativo funcionasse em plataformas *Windows* e *Linux*. A manipulação de formatos de arquivos matriciais utilizou a biblioteca GDAL (Geographic Abstraction Library). Portanto o programa aceita a leitura das imagens em diversos formatos de arquivos.

4. INCLUSÃO DE OUTROS SENSORES

Há duas necessidades básicas para o processamento de imagens orbitais no X-6SCorr: a disponibilidade do arquivo XML e a existência da opção de processamento dos dados no código 6S. Até o presente momento, além do TM5, o ETM+ também está nesta lista. No entanto, os valores de $LMAX_{\lambda}$ do ETM+ variam em função da época do ano, e esta informação não está presente nos arquivos XML. Já os dados da série CBERS não possuem a opção de processamento no código 6S, mas isto é viável, pois depende apenas da inclusão no código de informações geométricas do satélite e das propriedades espectrais das bandas.

Assim que a questão dos diferentes ganhos do ETM+ for solucionada, será lançada uma nova versão do X-6SCorr com a inclusão deste sensor. Os sensores da série CBERS também poderão ser incluídos no aplicativo em versões futuras.

5. APLICAÇÃO

A consulta ao banco de dados da DGI (www.dgi.inpe.br/CDSR) mostrou que 135 imagens possuem potencial para aplicação dos modelos de Montanher e Souza Filho (2011) para estimativa da concentração de sedimentos suspensos no Alto Rio Paraná. Os NDs das bandas TM 2, 3 e 4 das 135 imagens foram convertidos para ρ_{sup} , o que consistiu no processamento de 405 arquivos.

Isto permitiu a estimativa da concentração de sedimentos em suspensão para uma série temporal de 28 anos (Figura 4). Tal aplicação

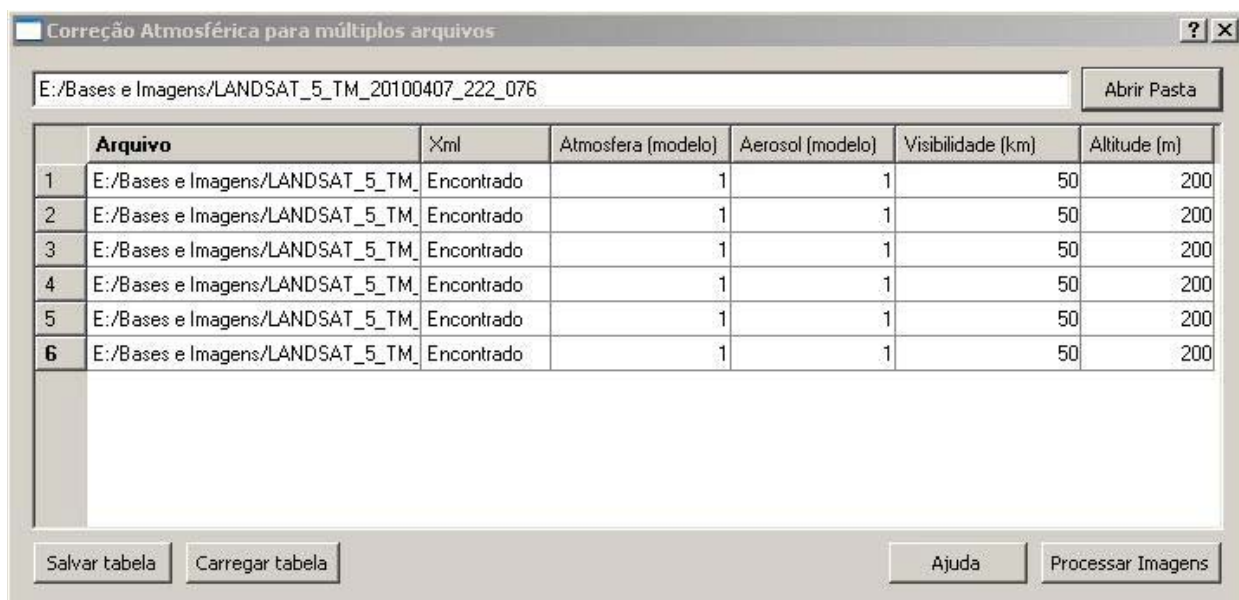


Fig. 3 - Interface gráfica do X-6Scorr.

permite, por exemplo, verificar se houve alteração das concentrações de sedimentos para os períodos anterior e posterior ao último barramento, em 1998 (hidrelétrica de Porto Primavera). A marca em preto no eixo X, da Figura 4, indica a implantação da barragem de Porto Primavera. Observa-se que esta construção provocou uma diminuição nos valores de sedimentos em suspensão.

Da mesma forma que o parâmetro de qualidade d'água foi estimado para uma longa série temporal neste estudo de caso, a partir de modelos empíricos ou analíticos, com uso de dados radiométricos, muitos outros parâmetros biogeofísicos podem ser estimados em uma grande quantidade de imagens com uso do método implementado no X-6Scorr.

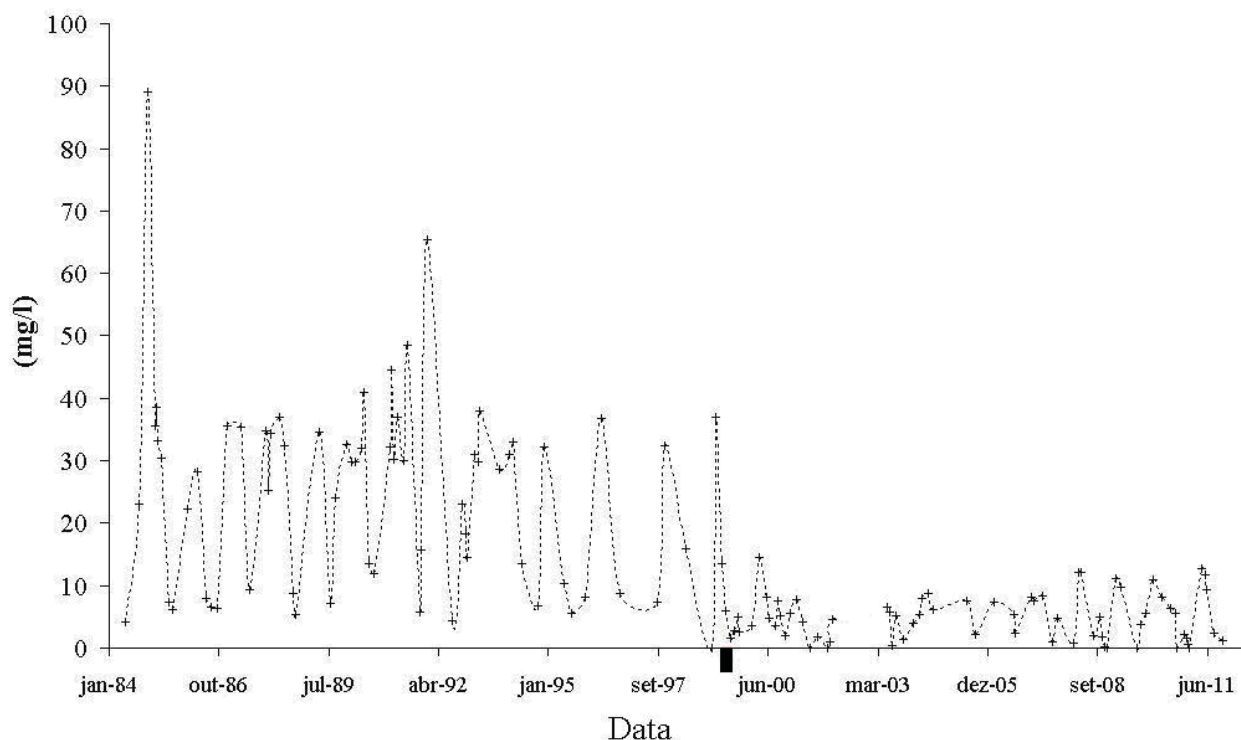


Fig. 4 – Resultado da aplicação de modelos empíricos para estimativa da concentração de sedimentos em suspensão. Para tal, 135 imagens TM foram convertidas para refletância de superfície por meio do X-6Scorr.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ETM+, apesar de possuir os requisitos para processamento no X-6SCorr, possui curto intervalo temporal com dados sem defeitos severos de aquisição (1999-2003). Já a série CBERS ainda apresenta problemas radiométricos graves. Logo, apesar de inicialmente o X-6SCorr tratar apenas de dados TM5, admite-se que, para avaliação de dados quantitativos em séries temporais (com dados gratuitos), o TM5 ainda é a melhor opção em muitos casos, podendo ser adequado para resolver muitas das aplicações dos usuários.

Dada a importância das conversões de ND para ρ_{apa} e ρ_{sup} em estudos que relacionam o FRB com variáveis biofísicas e geofísicas, o X-6SCorr busca colaborar para preencher a lacuna existente nos softwares nacionais livres que lidam com dados de sensoriamento remoto. O X-6SCorr é um software baseado em dados e códigos de domínio público, está disponível gratuitamente em (<http://code.google.com/p/xatmcorr/>) e ao ser utilizado, esta referência deve ser citada, bem como os autores do código 6S (Vermote et al. 1997a) e a adaptação do código feita por Mauro Antônio Homem Antunes, a qual é citada em Antunes et al. (2003).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, M. A. H.; FREIRE, R. M. B.; BOTELHO, A. S.; TONIOLLI, L. H. Correções atmosféricas de imagens de satélites utilizando o modelo 6S. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 21., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: CBC, 2003. 6p. Disponível em: <www.cartografia.org.br/xxi_cbc/174SR21.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2010.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. **Remote Sensing of Environment**, vol. 113, n. 5, p. 893 - 903, 2009.

GÜRTLER, S.; EPIPHANIO, J. C. N.; LUIZ, A. J. B.; FORMAGGIO, A. R. Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens TM e ETM+ Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, n. 2, p. 162 - 167, 2005.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; SOBRINO, J. A.; MATTAR, C.; FRANCH, B. Atmospheric correction of optical imagery from MODIS and Reanalysis atmospheric products. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 10, p. 2195 - 2210, 2010.

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. **Earth Observation Satellite Co.**, Lanham, MD, Landsat Tech. Note 1, 1986.

MONTANHER, O. C.; SOUZA FILHO, E. E. Geração de algoritmos para predição de carga em suspensão em corpos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Paraná com uso de imagens Landsat TM5. In: XV SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba, **Anais eletrônicos...** Curitiba: INPE, 2011, p. 5340 - 5347.

NASCIMENTO, C. R. **Correção atmosférica de imagens do sensor AVHRR/NOAA utilizando produtos atmosféricos do sensor MODIS/Terra**. 108 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

OLIVEIRA, L. G. L.; PONZONI, F. J.; MORAES, E. C. Conversão de dados radiométricos orbitais por diferentes metodologias de caracterização atmosférica. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 1, p. 121 - 133, 2009.

PONZONI, F. J.; ZULLO JUNIOR, J.; LAMPARELLI, R. A. C. In-Flight Absolute Calibration of the IRMSS/CBERS-2 Sensor. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 4, p. 799-804, 2006.

PONZONI, F. J.; ZULLO JUNIOR, J.; LAMPARELLI, R. A. C. In-flight Absolute Calibration of the CBERS-2 CCD Sensor Data. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 80, p. 373-380, 2008.

PONZONI, F. J.; ZULLO JUNIOR, J.; LAMPARELLI, R. A. C.; PELLEGRINO, G. Q.; ARNAUD, Y. In-Flight Absolute Calibration of the Landsat 5 TM on Test Site Salar de Uyuni (Bolívia). **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 42, n. 12, p. 2761-2766, 2004.

- SOUZA FILHO, E. E. - Evaluation of the Paraná River discharge control on Porto São José Fluviometric Station (State Of Parana - Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v. 69 (2, Suppl.): p. 631 - 637, 2009.
- SPENCER J. W. Fourier series representation of the position of the Sun. **Search**, v. 2, n. 5, p. 171, 1971.
- VERMOTE, E. F.; TANRE, D.; DEUZE, J. L.; HERMAN, M.; MORCRETTE J. J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.**, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997a.
- VERMOTE, E. F.; TANRE, D.; DEUZE, J. L.; HERMAN, M.; MORCRETTE, J. J. **Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum (6S)**. 6S User Guide Version 2, July, 1997b. 218 p.
- ZULLO JUNIOR, J. **Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações**. 191 p. Tese de Doutorado. DCA/FEE/UNICAMP. 1994.