

## X-6Scorr: AJUDA

Otávio Cristiano Montanher  
Maurício Carvalho Mathias de Paulo

### **1. Introdução**

O 6S (Second Simulation of the Sattelite Signal in the Solar Spectrum) é um código computacional baseado em modelo de transferência radiativa, que simplificadamente, modela os processos de atenuação da radiação eletromagnética em seu trajeto através da atmosfera, calculando os ganhos e perdas do sinal proveniente de um alvo em direção à um determinado sensor.

Este modelo permite recuperar com precisão o sinal provindo do terreno (VERMOTE *et al.*, 1997), desde que os parâmetros geométricos, espectrais e atmosféricos sejam oferecidos com precisão. Com isso, os valores de radiância e reflectância dos alvos podem ser recuperados com a quantificação dos efeitos de espalhamento e absorção dos constituintes atmosféricos.

O X-6Scorr atualmente possui duas versões. O X-6Scorr 1 adota o arquivo executável do modelo 6S adaptado por Mauro Antônio Homem Antunes para imagens em formato .raw de 8 bits, em 4 de abril de 2001 (ANTUNES *et al.*, 2003). Já o X-6Scorr 2 utiliza o código fonte implementado no software Grass, para imagens tanto em formato byte, quanto float.

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 (Nível Digital) para reflectância aparente e de superfície são reconhecidos automaticamente a partir do arquivo XML, adquirido conjuntamente com o arquivo Geotiff. Nesta primeira versão, apenas cenas do sensor TM (LANDSAT 5) podem ser convertidas. Futuramente o sensor ETM+ (LANDSAT 7), e os sensores da série CBERS podem ser incluídos neste pacote.

## **2. Parâmetros**

Os parâmetros reconhecidos automaticamente a partir do arquivo XML são:

### **2.1 Geométricos:**

- Mês/dia;
- Horário de aquisição;
- Latitude/Longitude;
- Distância terra-sol;
- Condições geométricas do sensor;
- Ângulo zenital solar.

### **2.2 Espectrais/Radiométricos:**

- Valores de sensibilidade mínima e máxima à radiância, para cada banda (CHANDER et al., 2009);
- Irradiância solar média incidente no topo da atmosfera (CHANDER *et al.*, 2009);
- Intervalo espectral das bandas (CHANDER *et al.*, 2009);

Anteriormente à aplicação do modelo 6S, o X-6Scorr realiza automaticamente a conversão dos valores de ND (número digital) para valores de reflectância aparente, que é o valor de reflectância com as interferências da atmosfera. Esta primeira conversão é realizada a partir da proposta por Markham e Barker (1986):

Para recuperação dos valores de reflectância de superfície, é necessário fornecer alguns parâmetros que não são encontrados no arquivo XML, e devem ser preenchidos nos campos em aberto na interface gráfica do X-6Scorr, são eles:

### **2.3 Caracterização atmosférica; tipo de aerossol; visibilidade; altitude**

A **caracterização atmosférica** pode ser fornecida a partir de modelos padrão (0 – 6):

- 0 – Sem absorção gasosa;
- 1 – Tropical;
- 2 – Verão em média latitude;
- 3 – Inverno em média latitude;
- 4 – Verão subártico;
- 5 - Inverno subártico;
- 6 – Perfil padrão EUA 62.

Ou definida pelo usuário (com uso de dados atmosféricos de radiossonda, ou de sensores orbitais, como os produtos MODIS):

0.0;0.0 – Perfil EUA62, com entrada de dados de densidade de:  
Vapor d'água (g/cm<sup>2</sup>);Ozônio (cm/atm).

O tipo de **aerossol** também pode ser fornecido a partir de modelos padrões:

- 0 – sem aerossóis;
- 1 – modelo continental;
- 2 – modelo marítimo;
- 3 – modelo urbano;
- 5 – aerossóis desérticos;
- 6 – queima de biomassa;
- 7 – modelo estratosférico;

A **visibilidade** em 550 nanômetros pode ser adquirida por meio de dados de estações climatológicas, pelos produtos MOD04 e MYD04, ou ainda por meio de dados orbitais de satélites meteorológicos. Na forma como o X-6SCorr está organizado, deve-se fornecer o valor de visibilidade em quilômetros. Caso o usuário possua valores de profundidade óptica em 550 nanômetros ( $\tau_{550}$ ), deve ser feita a conversão da unidade (eq. 1):

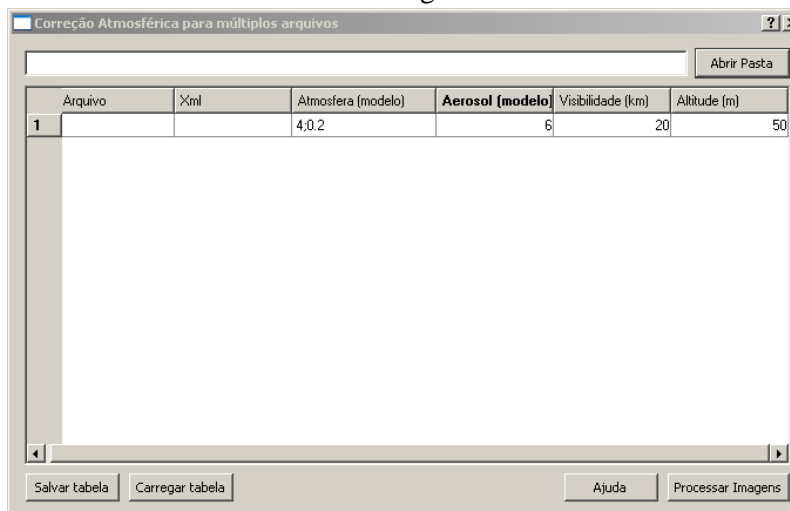
$$Vis_{550} = \exp \left( - \ln \left( \frac{\tau_{550}}{2,7628} \right) \frac{0,79902}{1} \right) \quad (\text{eq. 1})$$

A **altitude** é um parâmetro que pode ser adotado de forma generalizada pra toda a cena, ou especificamente para um ponto ou área de interesse, para estudos mais detalhados. Uma maior descrição dos parâmetros de entrada do modelo podem ser encontradas em Antunes et al., (2003), e muitos trabalhos comparando o modelo 6S com outras metodologias podem ser encontrados em artigos de periódicos e em anais de eventos especializados. As Figuras 1 e 2, e a Tabela 1 exemplificam o de preenchimento de dados:

Figura 1:

	Arquivo	Xml	Atmosfera (modelo)	Aerosol (modelo)	Visibilidade (km)	Altitude (m)
1			1	1	50	300

Figura 2:



**Tabela 1 – Descrição dos parâmetros das Figuras 1 e 2**

Parâmetro	Figura 1	Figura 2
Modelo de atmosfera	Tropical	Perfil EUA62, com: 4 g/cm <sup>2</sup> - (H <sub>2</sub> O) 0.2 cm/atm - (O <sub>3</sub> )
Modelo de Aerossol	Continental	Queima de biomassa
Visibilidade (km)	50	20
Altitude (m)	300	50

### **3. Operacionalidade**

Primeiramente deve-se indicar o diretório que possua os arquivos raster com os respectivos arquivos XML (devem possuir o mesmo nome, caso contrário, não serão reconhecidos). Após o reconhecimento dos arquivos pelo programa, deve-se preencher os parâmetros nos campos citados acima. Note que para uma mesma imagem, as bandas irão possuir os mesmos parâmetros, pois não são espectralmente dependentes, mas é possível realizar o processamento de mais de uma imagem por vez.

Após o processamento, o X-6Scorr fornece quatro arquivos de saída no mesmo diretório indicado pelo usuário:

Arquivo INP: texto descritivo dos parâmetros adotados na correção;

Arquivo RES: texto que apresenta as condições utilizadas pelo código 6S;

Arquivo -toa: Raster contendo a reflectância aparente (0 a 255);

Arquivo -surf: Raster contendo a reflectância de superfície (0 a 255).

Recomenda-se observar no final do arquivo RES se há alguma mensagem com o seguinte início: “ATENÇÃO !!!!”. Se houver esta mensagem, ela indicará a quantidade de vezes que o modelo atmosférico calculou valores de reflectância intrínseca à atmosfera maiores do que a própria reflectância aparente, o que não é fisicamente coerente. Se isto fosse levado em conta, seriam gerados valores de reflectância negativos, mas o código os aproxima à zero. Se isto ocorrer, é necessário adotar parâmetros atmosféricos mais apropriados.

Se, mesmo com a adequação das condições atmosféricas os valores continuarem negativos, pode ser que o modelo esteja levando em conta as partes escuras da cena, na forma como ela é adquirida (Figura 3, em vermelho):

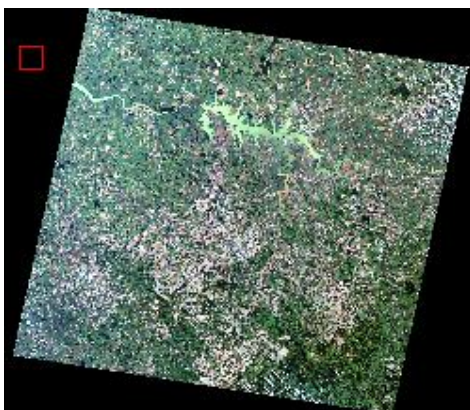


Figura 3. Exemplo de cena com as áreas sem imageamento.

Para avaliação da quantidade de vezes que o modelo calcula valores de reflectância negativos, aconselha-se aplicar um recorte da cena, da área de interesse, para retirar esta interferência.

#### **4. Pasta “radiância”**

Conforme comentado anteriormente, os valores de sensibilidade mínima e máxima à radiância e irradiância solar incidente no topo da atmosfera para cada banda espectral são adotados conforme especificado por Chander *et al.*, (2009). No entanto, há outras referências para tais valores, tanto do limiar de radiância máxima, quanto para valores de irradiância no topo da atmosfera. Independente da referência adotada, ou do

motivo da escolha, tais valores podem ser alterados conforme o interesse do usuário. Para tal, abra a pasta “radiância” e observe a estrutura das linhas, em que as vírgulas separam as variáveis. As variáveis de interesse são: “lmin”, “lmax”, “esun”, que são a quarta, quinta e sexta variáveis, da esquerda para direita. Altere conforme seu interesse, mas mantenha a estrutura de separação das variáveis, com a vírgula.

De qualquer forma, sugerimos que esses valores sejam alterados apenas segundo as referências bibliográficas específicas, ou a partir de dados ou modelos físicos robustos, desenvolvidos a partir de dados de campo, por exemplo.

### **5. Recorte da área de estudo**

Com uso do X-6SCorr a conversão para as unidades físicas é agilizada, mas o processamento pode ser mais rápido com o recorte da área de interesse, além da diminuição do espaço necessário em HD. Para comparação, foi feito um teste em que as seis bandas do espectro refletido de uma cena foram processadas com e sem o recorte.

O tamanho inicial dos arquivos originais é de 307 megabytes. Com a conversão para reflectância aparente e de superfície, foram gerados mais 614 megabytes. O tempo de processamento total foi de quatro minutos. Já o recorte foi feito em uma área de aproximadamente 130 km<sup>2</sup>, área suficiente para abranger todo o Parque Estadual do Morro do Diabo – SP. O tamanho de tais arquivos é de 8,5 megabytes, com a geração de mais 17 megabytes. Neste segundo caso, o tempo de processamento foi de 24 segundos.

O tempo de processamento varia conforme a capacidade de processamento de dados de cada computador, mas este teste foi feito e descrito aqui como base para comparação.

### **6. Eu preciso fazer correção atmosférica?**

Este tópico traz uma discussão sucinta sobre a necessidade da aplicação da correção atmosférica em estudos de sensoriamento remoto. Dado que usualmente os parâmetros atmosféricos são considerados constantes ao longo da cena (há modelos que permitem o uso de modelos digitais de elevação e da profundidade óptica no cálculo da reflectância de superfície para cada pixel), então os valores de transmitância e reflectância atmosférica serão considerados igualmente constantes. Isto pode ser

observado no modelo de transferência radiativa implementado no código 6S (eq. 2), em que, considerando um alvo lambertiano e desconsiderando os efeitos de adjacência, a  $\rho_{\text{sup}(\lambda)}$  é estimada a partir da inversão da equação (Vermote et al., 1997) – a dependência espectral em Eq. (2) foi omitida para clareza de observação:

$$\begin{aligned} & \rho_{\text{apa}}^{i=1,3}(\theta_s, \theta_v, \phi_s - \phi_v) \\ &= T_g^{OG}(\theta_s, \theta_v) \left[ \rho_R + (\rho_R + A - \rho_R) T_g^{H_2O} \left( \theta_s, \theta_v, \frac{i-1}{2} U_{H_2O} \right) \right. \\ & \quad \left. + T^{\downarrow}(\theta_s) T^{\uparrow}(\theta_v) \frac{\rho_s}{1 - S \rho_s} T_g^{H_2O}(\theta_s, \theta_v, U_{H_2O}) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

$\rho_{R(\lambda)}$  = Reflectância intrínseca à atmosfera molecular;

$A_{(\lambda)}$  = Reflectância intrínseca aos aerossóis;

$T_g^{H_2O}$  Transmitância devido ao vapor d'água;

$T_g^{OG}$  = Transmitância de outros gases;

$T^{\downarrow}_{(\theta_v, \lambda)}$  = Transmitância total da atmosfera na trajetória sol-superfície (descendente);

$T^{\uparrow}_{(\theta_s, \lambda)}$  = Transmitância total da atmosfera na trajetória superfície-sensor (ascendente);

$S_{(\lambda)}$  = Albedo esférico atmosférico.

Então, como os efeitos atmosféricos serão tratados igualmente para toda a cena (com uso deste aplicativo e executável), não há diferenças visuais na imagem reflectância de superfície, a não ser um possível aumento de ruídos provocados pela aproximação dos NDs durante as conversões. Demais características de brilho da imagem podem ser manipuladas com uso do contraste.

Entende-se, portanto, que a correção atmosférica (descrita aqui) não produz nenhum efeito de melhora na qualidade visual da imagem, podendo até piorar tal característica. Então para estas aplicações não aconselha-se a aplicação deste aplicativo. Isto não é verdadeiro para estudos ou métodos que baseiam-se nos valores de reflectância, como os índices de vegetação, ou mesmo quaisquer estabelecimento de relações empíricas ou analíticas entre a reflectância espectral e os parâmetros bio-geofísicos dos alvos. Uma vasta literatura pode ser encontrada à respeito, tanto em artigos especializados, quanto em livros texto.



## 7. Versões 1 e 2

O X-6Scorr 1 utiliza um arquivo executável que faz os processamentos dos números digitais em formato byte, entre 0 e 255. Portanto, nas conversões de ND para  $\rho_{apa(\lambda)}$  e para  $\rho_{sup(\lambda)}$ , os valores de reflectância são aproximados para o nível digital mais próximo. Ou seja, perde-se até 0,5 ND de informação radiométrica em cada uma destas duas transformações.

Já o X-6Scorr 2 realiza os processamentos em formato float, ou seja, em números inteiros. Portanto, não há perda de informação devido à aproximação dos NDs nesta versão. No entanto, enquanto que para o formato byte, 1 pixel equivale à 1 byte de informação, para o formato float, 1 pixel equivale à 4 bytes. Portanto, os dados resultantes do processamento via X-6Scorr 2 serão 4 vezes maiores. Cabe ao usuário decidir se há necessidade do processamento mais preciso, ou do irá gerar dados menores. Alguns testes foram feitos para que o usuário possa ter uma idéia de possíveis diferenças destas duas formas de processamento.

Foi utilizada uma imagem Landsat 5, TM, de 08/09/2004, da região de Rio Branco/AC. Também foram utilizados dados atmosféricos de visibilidade, do produto MOD04 e de concentração de ozônio e vapor d'água do produto MOD07. Uma área de vegetação foi utilizada como teste (Figura 4). Como o produto MOD04 é possui 10 x 10km de pixel, a área correspondente ao pixel MOD04 foi adotada também para a imagem Landsat 5 (Figura 4).

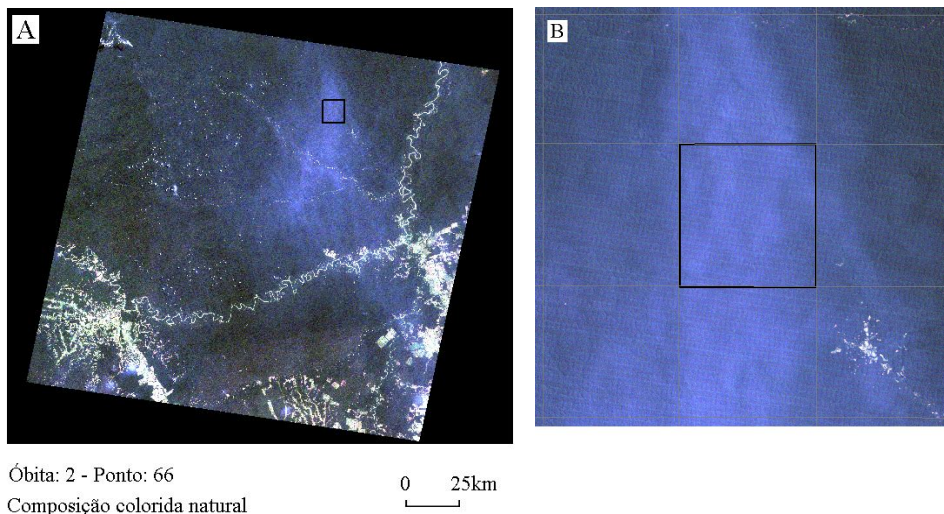


Figura 4. Área experimental. Imagem Landsat 5 com localização do pixel MOD04 com 23,46 km de visibilidade (A). Detalhe no local e grade de pixels MOD04 (B).

Esta área foi escolhida por conter um forte efeito atmosférico, alvo homogêneo sob a pluma de aerossóis e ausência de nuvens e sombras. Foram estimados os valores médios de refletância aparente e de superfície por meio das duas versões para esta área experimental (Figura 5).

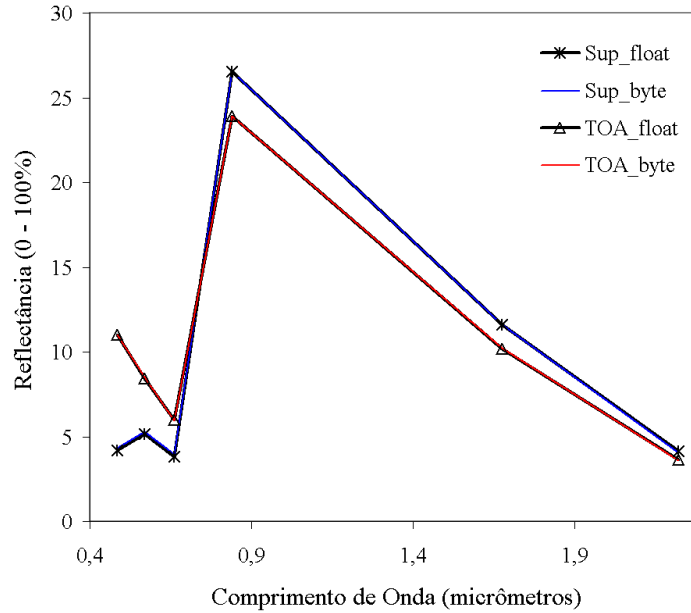


Figura 5.  $\rho_{apa(\lambda)}$  e  $\rho_{sup(\lambda)}$  estimados para uma área de vegetação por meio das duas versões do X-6Scorr.

Nota-se que não há grandes diferenças entre as refletâncias aparente e de superfície calculadas com uso das duas versões. As diferenças encontram-se na ordem da primeira casa decimal. Como pode ser observado na Figura 4, as formas gerais dos espectros resultantes dos dois processamentos distintos não são diferentes.

Entretanto, há casos em que esta perda de informação pode ser importante. No caso da quantificação dos efeitos atmosféricos sobre a refletância de superfície, esta aproximação pode ter efeitos indesejáveis. Para a mesma área experimental, realizou-se um teste, processando-se a mesma imagem com variados níveis de visibilidade atmosférica. O valor adotado como real é de 23,46 km, estimativa fornecida pelo produto MOD04. O tipo de aerossol é o de queima de biomassa (número 6), pois trata-se de uma área de queimadas da Amazônia, no período de maior ocorrência (setembro, período seco). Os espectros resultantes estão apresentados na Figura 6.

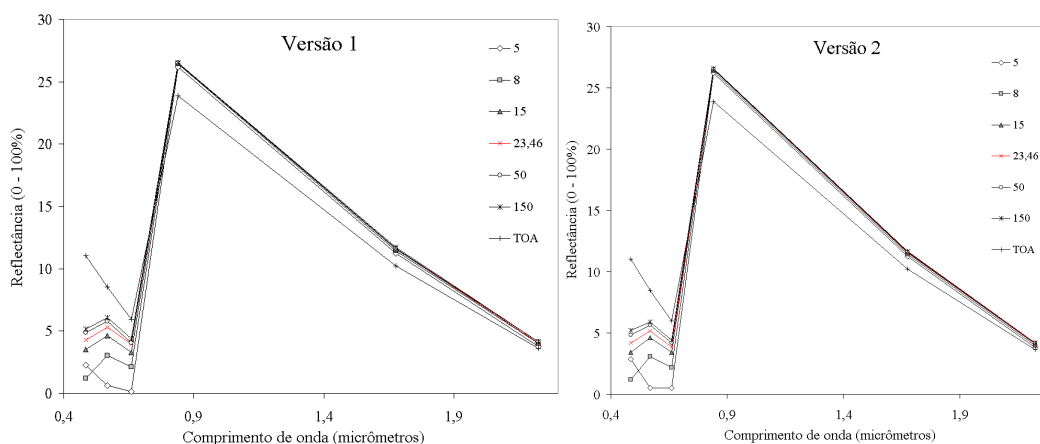


Figura 6. Espectros resultantes de diferentes valores de visibilidade adotados, estimados com uso das duas versões. O valor real de visibilidade está em vermelho.

Nota-se que as formas dos espectros ainda permanecem muito semelhantes, mas há algumas diferenças. Mas qual das duas versões está lidando com os efeitos atmosféricos de uma forma mais fisicamente consistente? Para responder à esta questão, os valores de reflectância de cada banda espectral foram plotados contra os valores de visibilidade (Figura 7).

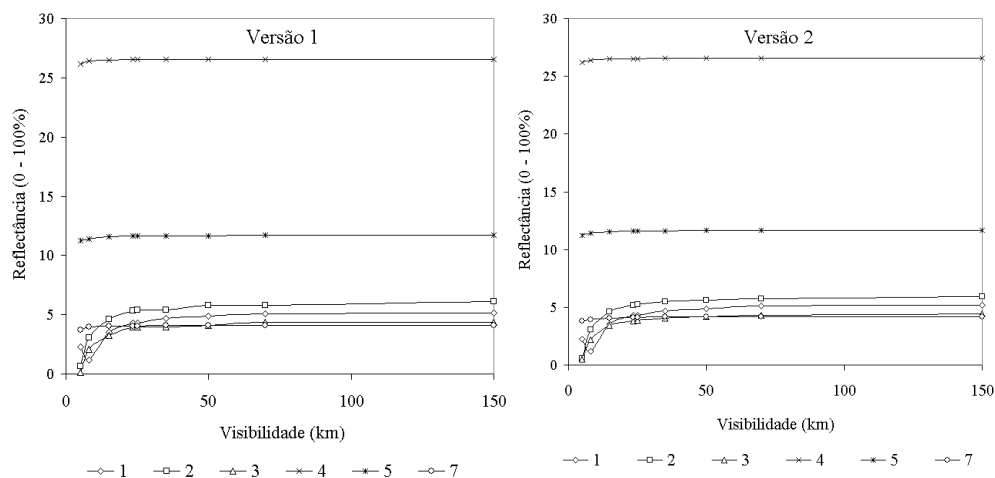


Figura 7. Variação da reflectância estimada em cada banda espectral em relação aos valores de visibilidade adotados.

Conforme observado na Figura 7, a concentração de aerossóis na atmosfera é um parâmetro pouco importante para as bandas do infravermelho próximo e de ondas curtas. Então para avaliação das duas versões, foram analisadas apenas as bandas do visível (Figura 8).

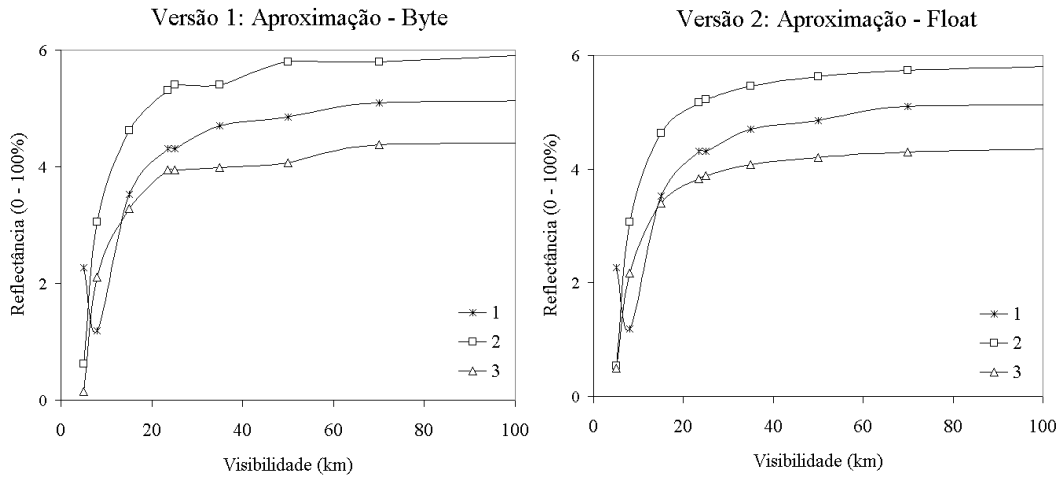


Figura 8. Variação da reflectância estimada para as bandas do visível em relação aos valores de visibilidade adotados.

Para ambas as versões há inicialmente uma queda dos valores de visibilidade para a banda 1, conforme aumenta a visibilidade e acima de 8 km o padrão altera-se. Realmente, a condição atmosférica de visibilidade de 5 km está no limite da modelagem do código 6S. Este comportamento pode ser resultado de efeitos extremos da transmitância atmosférica da radiação ascendente do terreno.

De qualquer forma, note que as curvas geradas pela versão 2 são mais consistentes com um comportamento logarítmico, típico da influência dos aerossóis atmosféricos sobre a  $\rho_{apa(\lambda)}$ , enquanto que as curvas da versão 1 possuem “degraus”. Este comportamento da versão 1 deve-se à aproximação dos NDs, em que este sinal perdido é importante para a estimativa dos efeitos atmosféricos.

### **7.1 Correção de reflexão especular**

A segunda versão do X-6Scorr possui uma opção para correção dos efeitos da interface ar/água sobre a estimativa da  $\rho_{sup(\lambda)}$ . Esta opção faz uso de aproximações para minimização dos efeitos de transmitância da REM em sua trajetória através da interface ar/água. Para o momento, a correção dos efeitos de Sun Glint (reflexão da REM pela interface diretamente ao sensor) não está disponível.

Para superfícies que satisfazem o critério de Rayleigh, os coeficientes de refletividade Fresnel para as polarizações horizontal ( $\rho_H$ ) e vertical ( $\rho_V$ ) de um fluxo radiante de um meio 1 para um meio 2 são:

$$\rho_H = \left( \frac{\cos \theta_{in} - \sqrt{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 - \sin^2 \theta_{in}}}{\cos \theta_{in} + \sqrt{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 - \sin^2 \theta_{in}}} \right)^2 \quad \rho_V = \left( \frac{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \cos \theta_{in} - \sqrt{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 - \sin^2 \theta_{in}}}{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \cos \theta_{in} + \sqrt{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 - \sin^2 \theta_{in}}} \right)^2$$

Onde:

$n_1$  = Índice de refração do meio 1;

$n_2$  = Índice de refração do meio 2.

Com uso do valor médio entre as duas polarizações (desprezando-se a polarização atmosférica), é possível obter os coeficientes de refletividade para a interface, pois o índice de refração da água e do ar são conhecidos, em que o X-6Scorr 2 faz uso do índice de refração da água corrigido para cada banda espectral TM. Já os ângulos de incidência são aproximados. Para a radiação incidente sobre a água, considera-se que o ângulo de incidência da radiação incidente é o mesmo do ângulo zenital solar no momento de aquisição da imagem. Para a radiação refletida pelo volume d'água, considera-se que esta possui ângulo de incidência igual a zero, pois apenas o fluxo radiante com este ângulo de incidência será transmitido ângulo igual a zero, podendo atingir um sensor ao zênite. Estas são boas aproximações quando a superfície d'água pode ser aproximada para uma superfície plana, em condições de pouco ou nenhum vento em superfície. Portanto, a  $\rho_{ag(\lambda)}$  (reflectância intrínseca à água), livre dos efeitos de transmitância da interface, são aproximados por:

$$\rho_{ag(\lambda)} = \frac{\rho_{sup(\lambda)}}{(1 - \rho_{ext(\lambda)}) \times (1 - \rho_{int(\lambda)})}$$

Onde:

$\rho_{ext(\lambda)}$  = coeficiente de reflexão externo (do ar para a água);

$\rho_{int(\lambda)}$  = coeficiente de reflexão interno (da água para o ar).

Nota-se que os coeficientes são simples fatores multiplicativos da  $\rho_{sup(\lambda)}$ , então visualmente não haverá mudanças na imagem, apenas nos valores de reflectância. Após este processamento, os efeitos de Sun Glint podem ser minimizados com a subtração

dos valores de reflectância das bandas do visível e infravermelho próximo pelas bandas do infravermelho de ondas curtas (Wang et al. 2009).

## **8. Uso**

O X-6Scorr é disponível gratuitamente, ao utilizar este pacote, por favor citar os autores do modelo 6S (Vermote et al., 1997), à adaptação do código (Antunes et al., 2003) e à geração do pacote X-6Scorr (Montanher e Paulo, 2013).

Este aplicativo é um esforço sem qualquer fim lucrativo, e contamos com críticas, sugestões e contribuições da comunidade usuária.

## **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/174-SR21.pdf](http://www.cartografia.org.br/xxi_cbc/174-SR21.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**, v. 113, p. 893-903, 2009.

Markham, B. L. e 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. E Paulo M. C. M. X-6SCORR: Conversão semi-automática de ND de imagens orbitais para FRB baseada em metadados XML e código 6s. **Revista Brasileira de Cartografia**. 2013.

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, 1997.

Wang, J. J.; Lu, X. X.; Liew, S. C. ; Zhou, Y. Retrieval of suspended sediment concentrations in large turbid rivers using Landsat ETM+: an example from the Yangtze River, China. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 34, p. 1082 – 1092, 2009.