

# SIMULATION OF SPECTRAL PLANETARY REFLECTANCE OF TARGETS

M. L. F. Freire <sup>1</sup> & E. J. B. Bastos <sup>2</sup>

A physical model is employed to simulate the planetary reflectance, considering different characteristic targets in a northeastern region of Brazil. The model simulates the signal detected by the sensor in a function of successive orders of interaction of the solar radiation with the earth-atmosphere system. A fairly accurate analytical expression of an uniform surface apparent reflectance is established. In this expression the effects of the gaseous absorption and the scattering by molecules and aerosols are included. The surface is assumed to have an uniform Lambertian reflectance. The atmosphere is considered as a mixture of air and aerosol. The 1st order approximation (single scattering) is used to determine the intrinsic mixture reflectance. For atmospheric aerosols, the two-term Henyey-Greenstein phase function is used. The atmosphere optical parameters (asymmetry factor, single scattering albedo, optical depth) were obtained from the literature, and the aerosol optical depth is evaluated using pyranometer data. The model is applied to simulate the TM signal of channels 1, 2, 3 and 4 of Landsat-5 for characteristic sites (lake, soil and vegetation). The results show that the atmospheric reflectance influence is dominant for low reflectance targets, even in the case of low values of aerosols optical depth. The opposite occurs in the case of medium reflectance targets where the predominant reflectance is that of the target.

**Key words:** Simulation model; Spectral Reflectance; Landsat-TM.

**SIMULAÇÃO DA REFLECTÂNCIA ESPECTRAL PLANETÁRIA DE ALVOS** - *Um modelo físico é estabelecido para simular a reflectância planetária de diferentes alvos de uma região do nordeste do Brasil. O modelo simula o sinal detectado por um sensor como uma função de sucessivas ordens de interação da radiação solar com o sistema terra-atmosfera. Uma precisa expressão analítica é estabelecida para determinar a reflectância aparente de uma superfície uniforme isotrópica, incluindo-se os efeitos de absorção de gases e espalhamento molecular e de aerossóis. A atmosfera é considerada como uma mistura de ar e aerossóis. O método "single scattering" é utilizado para determinar a reflectância intrínseca da atmosfera. A parametrização dupla de Henyey-Greenstein é utilizada para representar a função de fase dos aerossóis. Os parâmetros ópticos atmosféricos são obtidos da literatura, exceto a profundidade óptica dos aerossóis que foi avaliada através de dados piranométricos. O modelo é aplicado para simular a reflectância planetária no intervalo espectral de 0,4 a 1,1  $\mu\text{m}$  e também para simular o sinal detectado nas bandas 1, 2, 3 e 4 do sensor TM do satélite Landsat-5, de áreas caracterizadas espectralmente (água, solo e vegetação). Os resultados mostram que a reflectância da atmosfera é predominante na reflectância planetária para alvos de baixa reflectância, mesmo quando a profundidade óptica dos aerossóis é pequena. No caso de alvos com média reflectância (solo e vegetação), a contribuição da atmosfera é pouco notada, pois a reflectância planetária é predominantemente representada pela reflectância do alvo.*

**Palavras-chave:** Modelo de simulação; Reflectância espectral; Landsat-TM.

<sup>1</sup> Professora Assistente da Universidade Estadual da Paraíba,  
Departamento de Física, Campina Grande, PB.

<sup>2</sup> Professor Adjunto da Universidade Federal da Paraíba,  
Centro de Ciências e Tecnologia,  
Departamento de Ciências Atmosféricas, Campina Grande, Pb.  
Atualmente no: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Divisão de Meteorologia por Satélites  
Av. dos Astronautas 1758, Jardim da Granja, 12227-010, São José dos Campos, SP

## INTRODUÇÃO

Para o sensoriamento remoto, a reflexão é um fenômeno importante, uma vez que normalmente é a radiação refletida pelos alvos na superfície terrestre a base das informações. Daí a associação entre o termo comportamento espectral e reflectância espectral. O termo comportamento espectral é comumente relacionado à maneira pela qual um determinado alvo reflete radiação proveniente de uma fonte natural ou artificial. A reflectância espectral é o parâmetro para distinguir os diferentes alvos numa imagem de satélite e está associada às características intrínsecas de composição físico-química do alvo, o que possibilita discriminar e/ou identificar os alvos das cenas.

A extração de informações e a utilização de dados coletados pelos sensores remotos são feitas através do conhecimento do comportamento espectral de alvos, e de fatores que interferem nesse comportamento. A caracterização do comportamento espectral de alvos é relevante na definição de novos sensores, na utilização em modelos de transferência radiativa de ondas curtas, na definição de albedos representativos das superfícies úteis na previsão do tempo e na modelagem climática e na calibração de sensores espaciais.

Em geral, não são muitas as informações sobre comportamento espectral de alvos. Em particular, aquelas a serem observadas por sensores remotos orbitais, pois o Brasil ainda não dispõe de uma metodologia de correção atmosférica e nem ao menos conseguiu aplicar convenientemente as disponíveis, tais como, os códigos Lowtran e 6S (Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum). Daí a grande dificuldade em obter bons resultados sobre as propriedades da superfície quando se trabalha com informações remotas orbitais. Sendo assim, com o intuito de aplicar o modelo de correção atmosférica adaptado por Freire (1996), este trabalho tem como objetivo simular as reflectâncias planetárias de alvos característicos de uma região do sertão nordestino.

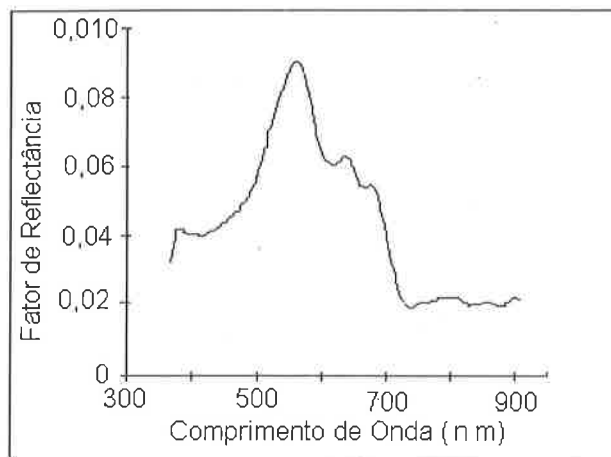
## DADOS DISPONÍVEIS

Os dados experimentais são medidas de reflectância espectral bidirecional ou fator de reflectância bidirecional de água (açude) e de vegetação (pastagem e caatinga). Estas medidas foram feitas durante o Experimento Integrado do Semi-Árido (EIS) no período de 27 a 31 de março de 1995.

As medidas radiométricas do fator de reflectância foram feitas utilizando um espectrorradiômetro SPECTRON-SE-590 (SPECTRON Engineering – USA). O processamento dos dados obtidos com o espectrorradiômetro SE-

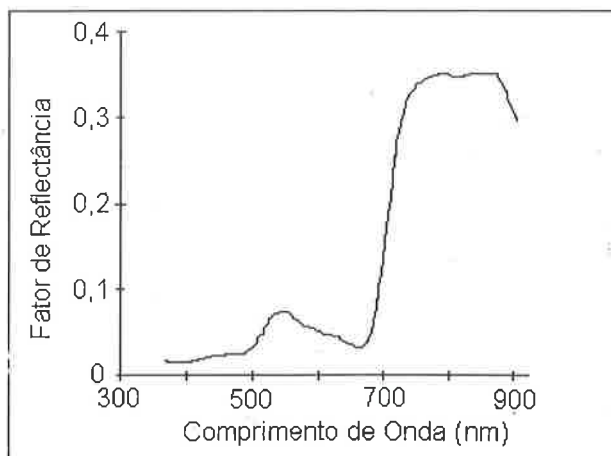
590 foi feito utilizando o programa ESPECTRO (Steffen et al., 1992), desenvolvido no Laboratório de Radiometria (LARAD) da Divisão de Sensoriamento Remoto (SERE) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Na vizinhança do açude também foi identificada a presença de solo nu (solo podzólico vermelho-amarelo equivalente eutrófico). Sendo assim e de acordo com suas características químicas e físicas, a curva de reflectância espectral do solo foi escolhida do trabalho de Epiphanyo et al. (1992). As Figs. 1, 2 e 3 apresentam os valores de fator de reflectância para as superfícies de água, vegetação nativa e solo, respectivamente.



**Figura 1** - Reflectância espectral do açude de São Gonçalo, Paraíba.

*Figure 1* - Spectral reflectance of São Gonçalo dam, Paraíba.



**Figura 2** - Reflectância espectral da vegetação nativa (caatinga).

*Figure 2* - Spectral reflectance of the native vegetation (caatinga).

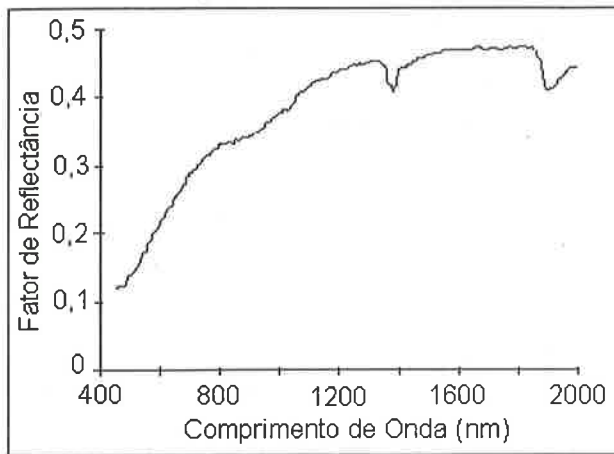


Figura 3 – Reflectância espectral de solo (Epiphanyo et al., 1992).

Figure 3 - Spectral reflectance of soil (Epiphanyo et al., 1992).

## DESCRIÇÃO DO MODELO

A simulação dos efeitos atmosféricos é feita utilizando o método adaptado por Freire (1996) de Tanré et al. (1986) e Vermote (1990). No modelo o sinal detectado pelo sensor a bordo de um satélite é descrito como uma função da interação da radiação solar com o sistema terra-atmosfera, considerando uma superfície homogênea e lambertiana. A faixa espectral considerada é a compreendida entre 400 e 1100nm.

A reflectância planetária,  $\rho'$ , sem considerar os efeitos de absorção numa banda ou num comprimento de onda, é dada por:

$$\begin{aligned} \rho'(\mu, \phi; -\mu_0, \phi_0) = & \rho\lambda^{atm}(\mu, \phi; -\mu_0, \phi_0) + \\ & + \rho\lambda \exp(-\tau\lambda/\mu_0) \exp(-\tau\lambda/\mu) + \rho\lambda \text{td}\lambda(\mu_0) \exp(-\tau\lambda/\mu) + \\ & + \rho\lambda [\exp(-\tau\lambda/\mu_0) + \text{td}\lambda(\mu_0)] \text{td}\lambda(\mu) + \\ & + \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} [\exp(-\tau\lambda/\mu_0) + \text{td}\lambda(\mu_0)] (\rho\lambda S\lambda)^n \right\} \rho\lambda [\exp(-\tau\lambda/\mu) + \\ & + \text{td}\lambda(\mu)], \end{aligned} \quad (1)$$

onde  $\mu_0 = \cos Z_0$  e  $\mu = \cos Z$ , ou seja, são os cossenos dos ângulos zenitais do Sol e de visada do satélite, respectivamente;  $\phi_0$  e  $\phi$  são os ângulos azimutais de iluminação e visada;  $\rho\lambda^{atm}(\mu, \phi; -\mu_0, \phi_0)$  é a reflectância da atmosfera;  $\rho\lambda$  é a reflectância do alvo;  $\text{td}\lambda(\mu_0)$  e  $\text{td}\lambda(\mu)$  são as funções de transmitância difusa da atmosfera descendente e

ascendente, respectivamente;  $\tau\lambda$  é a profundidade óptica da atmosfera; e,  $S\lambda$  é o albedo esférico da atmosfera.

A contribuição de cada termo para a reflectância aparente,  $\rho\lambda'$ , é a seguinte:  $\rho\lambda^{atm}$  é a contribuição da reflectância atmosférica;  $\rho\lambda \exp(-\tau\lambda/\mu_0) \exp(-\tau\lambda/\mu)$  é a contribuição da radiação solar direta refletida pelo alvo;  $\rho \text{td}\lambda(\mu_0) \exp(-\tau\lambda/\mu)$  é a contribuição da radiação solar difusa descendente refletida pelo alvo e diretamente transmitida na direção do sensor;  $\rho [\exp(-\tau\lambda/\mu_0) + \text{td}\lambda(\mu_0)] \text{td}\lambda(\mu)$  é a contribuição de primeira ordem da vizinhança do alvo e transmitida difusamente na direção do sensor; e, o último termo é a contribuição da reflexão múltipla entre a superfície e a atmosfera transmitida ao sensor.

Do desenvolvimento da série geométrica e de alguns termos da Eq. 1, esta reduz-se a:

$$\begin{aligned} \rho\lambda'(\mu, \phi; -\mu_0, \phi_0) = & \rho\lambda^{atm}(\mu, \phi; -\mu_0, \phi_0) + \\ & + T\lambda(\mu_0) \rho\lambda / (1 - S\lambda \rho\lambda) T\lambda(\mu), \end{aligned} \quad (2)$$

onde  $T\lambda(\mu_0) = \exp(-\tau\lambda/\mu_0) + \text{td}\lambda(\mu_0)$  é a transmitância atmosférica na direção  $\mu_0$ ;  $T\lambda(\mu) = \exp(-\tau\lambda/\mu) + \text{td}\lambda(\mu)$  é a transmitância atmosférica na direção  $\mu$ ;  $\text{td}\lambda(\mu_0)$  e  $\text{td}\lambda(\mu)$  são as funções de transmitância difusa da atmosfera descendente e ascendente, respectivamente.

O efeito de absorção é computado considerando que:

$$\rho\lambda^*(\mu, \phi; -\mu_0, \phi_0) = t_g\lambda(\mu, \phi; -\mu_0, \phi_0) \rho\lambda'(\mu, \phi; -\mu_0, \phi_0), \quad (3)$$

onde  $t_g\lambda(\mu, \phi; -\mu_0, \phi_0)$  é a função de transmitância para absorção gasosa e  $\rho\lambda^*(\mu, \phi; -\mu_0, \phi_0)$  é a reflectância detectada pelo sensor considerando os efeitos de absorção.

## PARAMETRIZAÇÕES

Considerando a aproximação “single scattering” (Liou, 1980), a reflectância intrínseca da atmosfera,  $\rho\lambda^{atm}$ , devido ao espalhamento da mistura de ar e aerossóis é:

$$\rho\lambda^{atm} = \omega\lambda / [4(\mu_0 + \mu)] \{ 1 - \exp[-\tau\lambda(1/\mu_0 + 1/\mu)] \} P\lambda(\mu^*), \quad (4)$$

onde  $\mu^*$  é o cosseno do ângulo de dispersão;  $\omega\lambda$  é o albedo simples da mistura de ar e aerossóis;  $\tau\lambda$  e  $P\lambda(\mu^*)$  são a profundidade óptica e a função de fase associada ao espalhamento da mistura de ar e aerossóis, respectivamente.

Na atmosfera está sempre presente uma mistura de aerossóis, ar e gases absorventes, ou seja, uma mistura opticamente homogênea de aerossóis (parâmetros  $\tau\lambda^a$  e  $\omega\lambda^a$ ) e um gás absorvente/dispersor (parâmetros  $\tau\lambda^R$  e  $\omega\lambda^R$ ). No espalhamento molecular considera-se  $g_R = 0$  e  $\omega\lambda^R = 1$ . Para os aerossóis atmosféricos naturais, o fator de assimetria apresenta valores típicos da ordem de 0,7, e podem exceder 0,8 para aerossóis antropogênicos (Shettle & Fenn, 1979; Coakley et al., 1983).

Uma mistura de ar e aerossóis admite a aproximação delta adicionada à função de fase remanescente, dada pela combinação linear da função de fase remanescente dos aerossóis e a função de fase associada à dispersão do gás dispersor, tal que:

$$P\lambda(\mu^*) = 2 Y f \delta(\mu^*) + (1-f) Y P_a^*(\mu^*) + (1-Y) P_R(\mu^*). \quad (5)$$

A função de fase remanescente para a mistura  $P^*$  é a dada por:

$$P\lambda^*(\mu^*) = [(1-f) Y P_a^*(\mu^*) + (1-Y) P_R(\mu^*)]/(1-f^*), \quad (6)$$

a qual admite para a mistura o peso  $f^* = Y f$  da aproximação e um fator de assimetria  $g^* < 0,5$ . A constante  $Y$  e o fator de assimetria  $g^*$  para a função de fase remanescente são determinados por:

$$Y = (\omega\lambda^a \tau\lambda^a) / (\omega\lambda^a \tau\lambda^a + \omega\lambda^R \tau\lambda^R) \quad (7a)$$

$$e \quad g^* = (g - f)/(1/Y - f^*). \quad (7b)$$

Para calcular a profundidade óptica ( $\tau\lambda$ ) e o albedo simples ( $\omega\lambda$ ) para a mistura de ar e aerossóis, consideram-se as seguintes expressões:

$$\tau\lambda = \tau\lambda^R + \tau\lambda^a \quad (8a)$$

$$e \quad \omega\lambda = (\omega\lambda^a \tau\lambda^a + \tau\lambda^R) / \tau\lambda, \quad (8b)$$

onde  $\tau\lambda$  é a profundidade óptica e  $\omega\lambda$  é o albedo simples, cujos índices são "a" para aerossóis e "R" para Rayleigh.

No caso da mistura, quando se utiliza a função de fase DHG para os aerossóis, a função de fase remanescente é ponderada pelas profundidades ópticas Rayleigh e de aerossóis, ou seja,

$$P\lambda^*(\mu^*) = [\tau\lambda^R P_R(\mu^*) + \tau\lambda^a P_a(\mu^*)]/(\tau\lambda^R + \tau\lambda^a). \quad (9)$$

A profundidade óptica Rayleigh é avaliada pela formulação empírica proposta por Robinson (1966) dada por:

$$\tau\lambda^R = (P/P_0) 0,00888 \lambda^{-4,05}, \quad (10)$$

onde  $P_0 = 1013,25$  hPa é a pressão atmosférica ao nível do mar,  $P$  é a pressão atmosférica ao nível da estação e  $\lambda$  é o comprimento de onda, dado em  $\mu\text{m}$ . A correção  $P/P_0$  é necessária, pois o espalhamento Rayleigh é proporcional ao número de moléculas numa coluna vertical e, portanto, proporcional à pressão atmosférica  $P$ .

Devido aos comportamentos anisotrópicos das moléculas da atmosfera (polarização parcial da radiação na dispersão Rayleigh), para a função de fase adota-se a seguinte expressão (Tanré et al., 1986):

$$P_R(\mu^*) = 0,7552 + 0,7345 (\mu^*)^2. \quad (11)$$

A Eq. (11) foi calculada utilizando um fator de depolarização  $\delta = 0,0139$ , e é válida para qualquer comprimento de onda do espectro solar.

A profundidade óptica dos aerossóis foi determinada utilizando medidas de radiação global e o método da derivada, que é baseado na lei de Lambert-Beer-Bouguer (Fattori & Ceballos, 1984).

Para estimativas do albedo simples dos aerossóis ( $\omega\lambda^a$ ) é considerada a parametrização de Shettle & Fenn, 1979 (Coakley et al., 1983), para aerossóis continental, onde  $\omega\lambda^a$  é dado pela expressão:

$$\omega\lambda^a = 0,862 + 0,429 \lambda - 0,569 \lambda^2 + 0,190 \lambda^3. \quad (12)$$

A função de fase dos aerossóis é representada pela "Dupla Henyey-Greenstein (DHG - Kattawar, 1975) dada por:

$$P_a(\mu^*, g_n) = \alpha P'(\mu^*, g_1) + (1 - \alpha) P'(\mu^*, g_2), \quad (13)$$

onde

$$P_a(\mu^*, g_n) = (1 - g_n^2)/(1 + g_n^2 - 2 g_n \mu^*)^{3/2}, \quad (14)$$

sendo  $n = 1, 2$ ; os parâmetros  $\alpha$ ,  $g_1$  e  $g_2$  são os fatores de assimetria que dependem da concentração dos aerossóis e do comprimento de onda da radiação incidente. Conside-

rando a falta de informações sobre a distribuição dos aerossóis para a região, são adotados os valores apresentados por Aranuvachapun (1986) para condições de céu aberto, ou sejam,  $\alpha = 0,948$ ,  $g_1 = 0,801$  e  $g_2 = -0,580$ .

Em geral, os sensores remotos possuem canais espectrais em regiões do espectro eletromagnético onde a absorção pelos gases ( $O_3$ ,  $H_2O$  e  $CO_2$ ) é fraca. Em particular, a região espectral de  $0,4 - 1,1 \mu m$  e as faixas dos sensores TM do Landsat-5 não possuem bandas no espectro solar contaminadas por forte absorção do vapor d'água e do dióxido de carbono. Sendo assim, apenas são considerados os efeitos de absorção do ozônio, em particular, da banda de absorção de Chappuis no intervalo de  $0,45$  a  $0,70 \mu m$  (Goody & Yung, 1989). Neste caso, para os propósitos do trabalho, são válidas as parametrizações existentes na literatura, como a de Elterman (1970) e a de Kneizys et al. (1983, 1988).

Segundo Tanré et al. (1979) o termo de transmissão difusa pode ser expresso através da seguinte expressão:

$$td\lambda(\mu) = \exp[-(\tau\lambda^R + \tau\lambda^a)/\mu] \{ \exp[-(\alpha_R\tau\lambda^R + \alpha_a\tau\lambda^a)/\mu] - 1 \}, \quad (15)$$

sendo  $\alpha_R = (1 + g_R)/2$  e  $\alpha_a = (1 + g_a)/2$ . Para espalhamento molecular  $g_R = 0$  e para espalhamento por aerossóis  $g_a = g$ .

O albedo esférico da atmosfera é representado por uma aproximação empírica (Tanré et al., 1986), dada por:

$$S\lambda = b\tau\lambda/(2 + b\tau\lambda) [1 + \exp(-b\tau\lambda)], \quad (16)$$

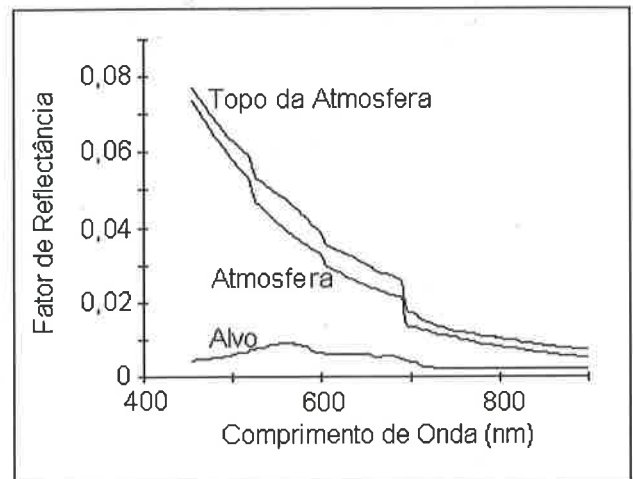
onde  $b = 1 - g$ .

## RESULTADOS

As Figs. 4 a 10 mostram os resultados obtidos para simulação da reflectância planetária do sistema terra-atmosfera, para vários alvos e composição de alvos (água, solo, vegetação, água + vegetação, água + solo, vegetação + solo e água + vegetação + solo). Observa-se que, no caso de alvos com valores de reflectância médio, como a vegetação e solo para comprimentos de ondas maiores que  $500 \text{ nm}$ , a reflectância planetária é modulada pela reflectância do alvo, pois esta é a componente predominante. Para alvos de baixa reflectância, como a água, a componente predominante é a reflectância da atmosfera; observa-se uma relação quase direta entre a reflectância da atmosfera e a reflectância planetária, com uma constante de

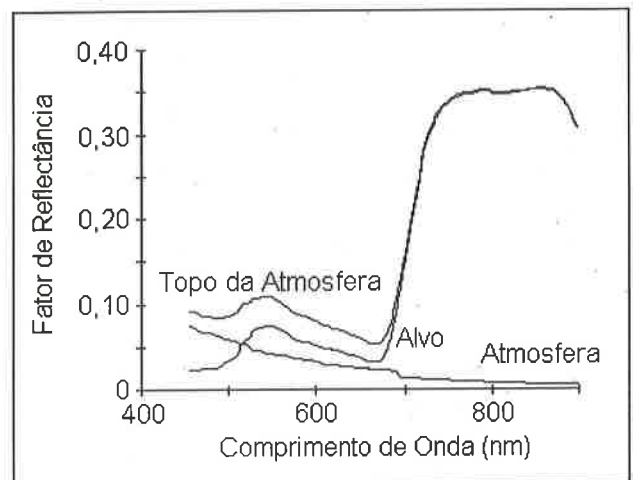
proporcionalidade próxima de 1. Este fato é utilizado em alguns métodos alternativos de correção atmosférica, em que a água é utilizada para estimar a reflectância da atmosfera, usando a própria imagem de satélite como informação.

Em se tratando de alvos compostos, em que a água é um dos componentes presentes (água + vegetação, água + solo e água + vegetação + solo), os demais componentes



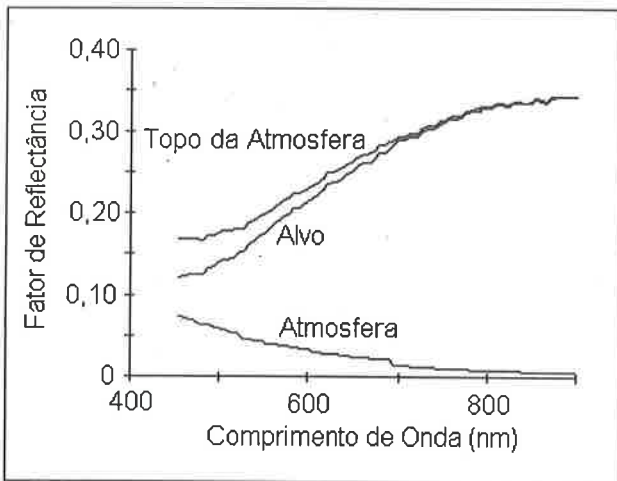
**Figura 4** - Simulação da reflectância espectral planetária do alvo água.

*Figure 4* - Simulation of the spectral planetary reflectance over water.



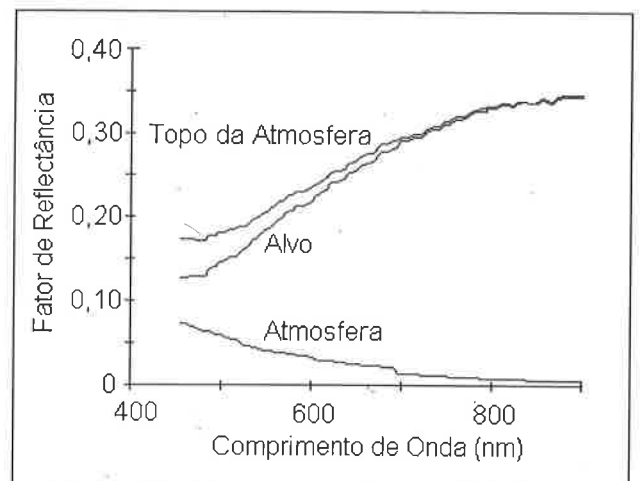
**Figura 5** - Simulação da reflectância espectral planetária do alvo vegetação.

*Figure 5* - Simulation of the spectral planetary reflectance over vegetation.



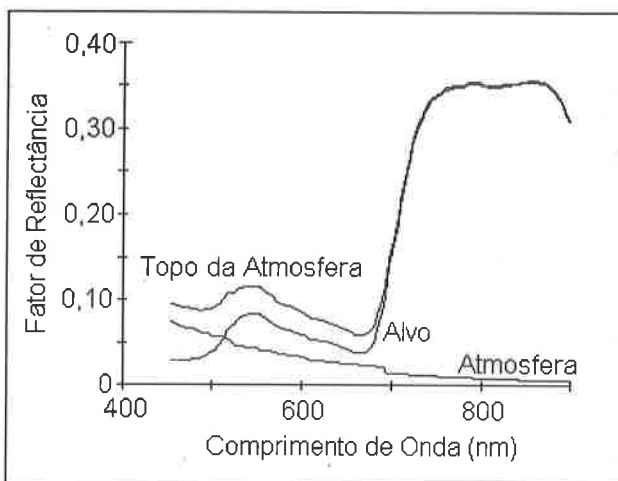
**Figura 6** - Simulação da reflectância espectral planetária do alvo solo.

*Figure 6* - Simulation of the spectral planetary reflectance over soil.



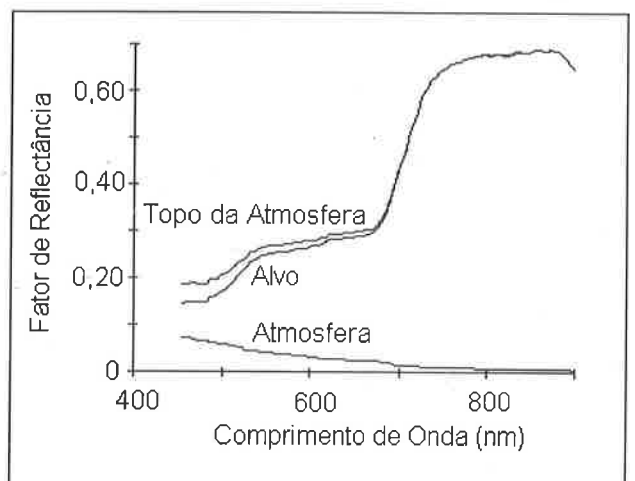
**Figura 8** - Simulação da reflectância espectral planetária do alvo composto de água e solo.

*Figure 8* - Simulation of the spectral planetary reflectance over water-soil composed target.



**Figura 7** - Simulação da reflectância espectral planetária do alvo composto de água e vegetação.

*Figure 7* - Simulation of the spectral planetary reflectance over water-vegetation composed target.



**Figura 9** - Simulação da reflectância espectral planetária do alvo composto de vegetação e solo.

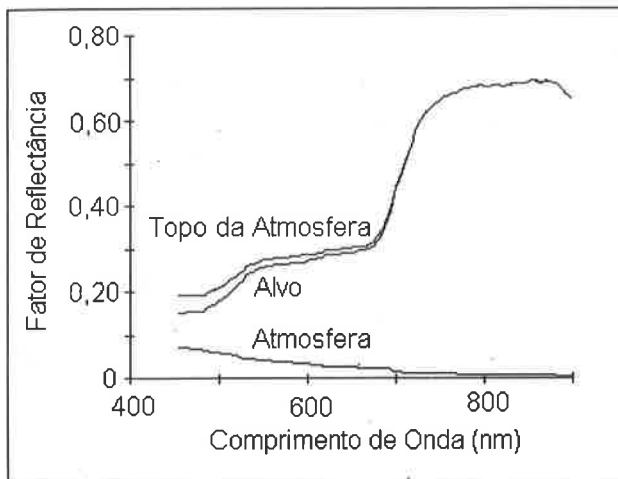
*Figure 9* - Simulation of the spectral planetary reflectance over vegetation-soil composed target.

são os que modulam a reflectância planetária. Entretanto, no caso da composição água + vegetação, tem-se uma predominância da atmosfera para os comprimentos de onda inferiores a 520 nm. Isto devido a existência de uma forte absorção da vegetação nesta faixa de comprimento de onda.

Para a composição solo + vegetação há uma predominância da reflectância de um ou de outro para a reflectância planetária, dependendo da faixa espectral; abaixo de 500 nm tem-se

a contribuição do solo e acima de 690 nm tem-se a contribuição da vegetação, embora a reflectância do solo seja maior que 0,28. Este mesmo fato ocorre no caso da composição de água + vegetação + solo, pois a água tem reflectância muito baixa, predominando as características da reflexão da vegetação e do solo.

De maneira geral, o efeito da atmosfera é predominante em alvos de baixa reflectância, mesmo quando se considera uma atmosfera Rayleigh. Em alvos de média reflectância,



**Figura 10** - Simulação da reflectância espectral planetária do alvo composto de água, vegetação e solo.

*Figure 10* - Simulation of the spectral planetary reflectance over water-vegetation-soil composed target.

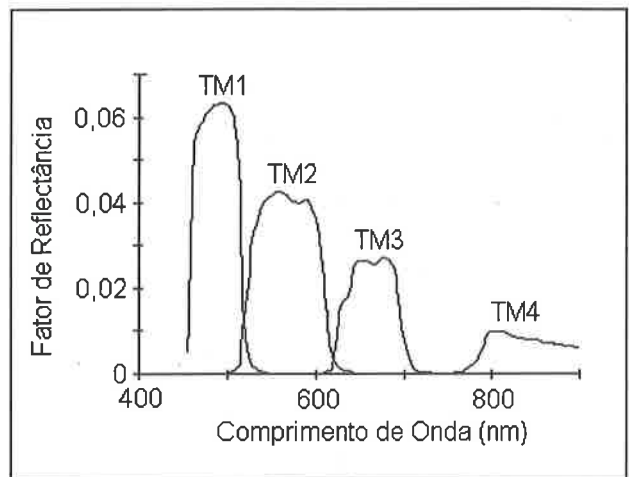
como solo e vegetação, a reflectância atmosférica contamina o sinal, principalmente, para comprimentos de onda menores que 700 nm. Todavia, dependendo da carga de aerossóis na atmosfera, a reflectância planetária pode ser alterada significativamente pelos efeitos de espalhamento atmosféricos.

As funções respostas espectrais dos canais TM1, TM2, TM3 e TM4 do Landsat-5 foram aplicadas para simulação da reflectância planetária dos referidos canais. As Figs. 11 a 17 apresentam a reflectância detectada pelos sensores do Landsat-5. Observa-se claramente a contribuição do espalhamento atmosférico nas simulações da reflectância planetária do alvo aquático; a reflectância é maior na banda 1 seguindo as bandas 2, 3 e 4. Para vegetação, observa-se a predominância da atmosfera na banda 1. Nas bandas 2 e 3 tem-se uma predominância da vegetação, mas o sinal ainda é contaminado pela atmosfera. No caso da banda 4, a reflectância planetária é totalmente explicada pela reflectância da vegetação. Já para o solo, há uma considerável contribuição da atmosfera nas bandas 1 e 2; para as bandas 3 e 4 a reflectância planetária é a reflectância da superfície.

A análise da reflectância planetária para as superfícies de solo + vegetação e água + solo + vegetação evidencia-se o domínio da reflectância do solo nas bandas 1, 2 e 3, e o domínio do solo e da vegetação na banda 4, já que ambas superfícies apresentam valores de reflectância muito próximos nesta banda. Para uma situação como esta, a

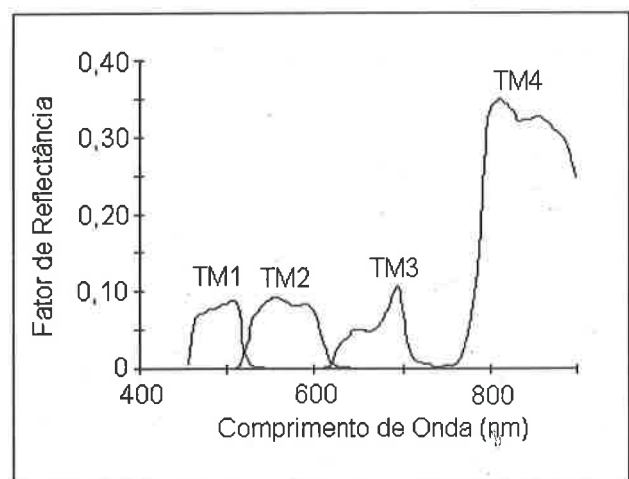
identificação da vegetação através de uma imagem de satélite se daria possivelmente pela banda 4. Entretanto, a identificação da superfície aquática seria praticamente impossível em quaisquer das bandas.

Diante das análises, verifica-se que a água é o alvo que sofre mais influência da atmosfera e quando em composição com outras superfícies sua reflectância pode ser até mesmo interpretada como um ruído do que propriamente como um sinal.



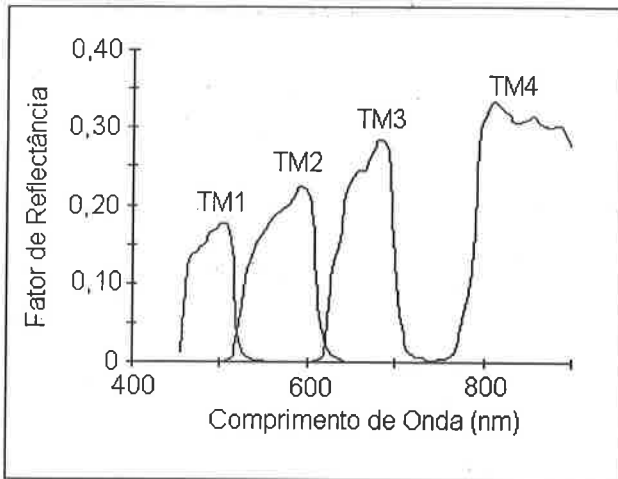
**Figura 11** - Simulação da reflectância detectada pelo sensor TM (canais 1, 2, 3 e 4) do Landsat-5, quando o alvo é a água.

*Figure 11* - Simulation of the reflectance detected at channels 1, 2, 3 and 4 of TM Landsat-5 over a water target.



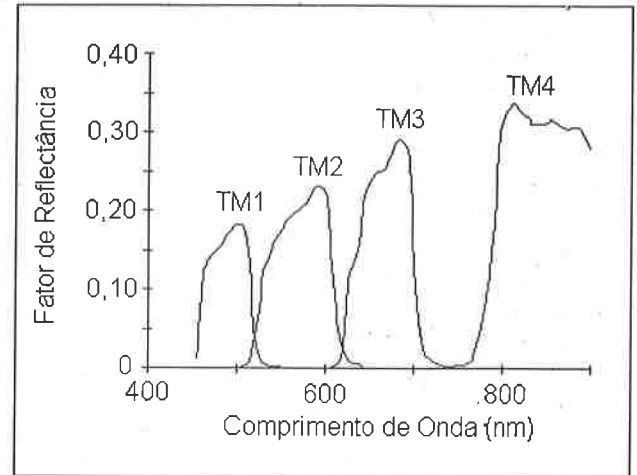
**Figura 12** - Simulação da reflectância detectada pelo sensor TM (canais 1, 2, 3 e 4) do Landsat-5, quando o alvo é a vegetação.

*Figure 12* - Simulation of the reflectance detected at channels 1, 2, 3 and 4 of TM Landsat-5 over a vegetation target.



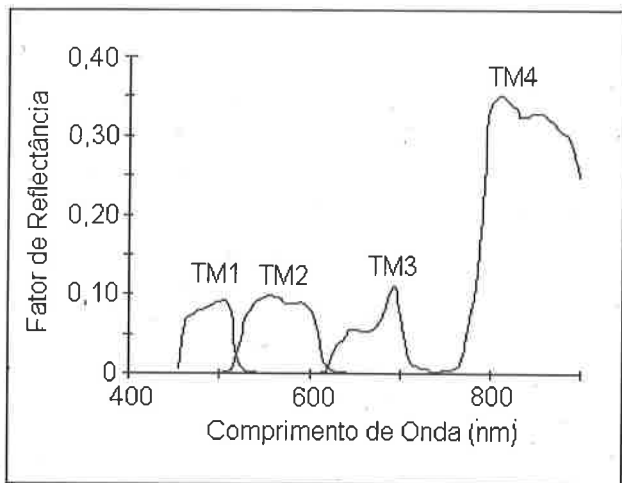
**Figura 13** - Simulação da reflectância detectada pelo sensor TM (canais 1, 2, 3 e 4) do Landsat-5, quando o alvo é o solo.

*Figure 13* - Simulation of the reflectance detected at channels 1, 2, 3 and 4 of TM Landsat-5 over a soil target.



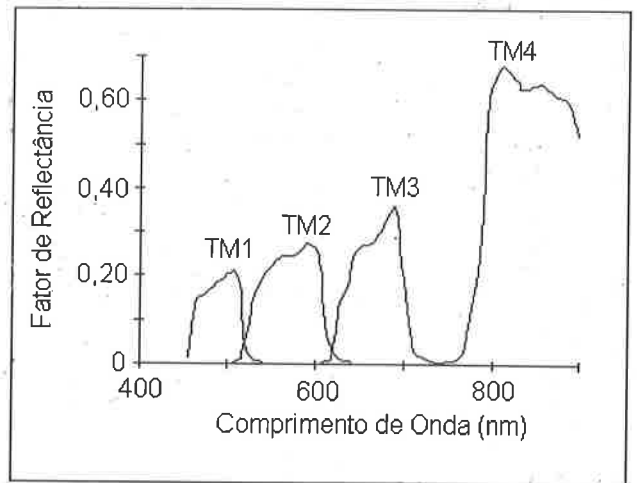
**Figura 15** - Simulação da reflectância detectada pelo sensor TM (canais 1, 2, 3 e 4) do Landsat-5, quando o alvo é composto de água e solo.

*Figure 15* - Simulation of the reflectance detected at channels 1, 2, 3 and 4 of TM Landsat-5 over a water-soil composed target.



**Figura 14** - Simulação da reflectância detectada pelo sensor TM (canais 1, 2, 3 e 4) do Landsat-5, quando o alvo é composto de água e vegetação.

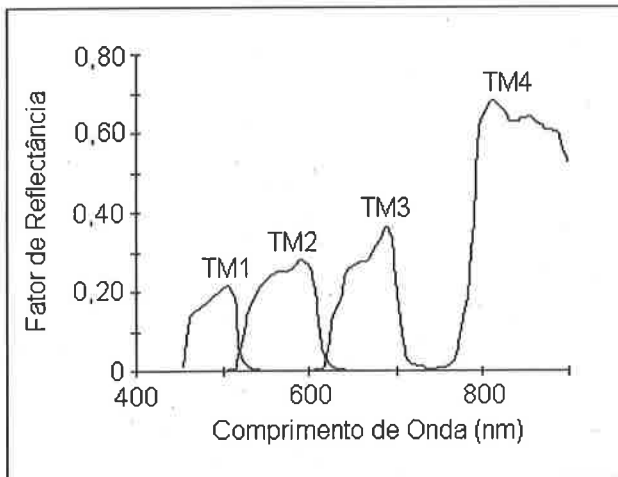
*Figure 14* - Simulation of the reflectance detected at channels 1, 2, 3 and 4 of TM Landsat-5 over a water-vegetation composed target.



**Figura 16** - Simulação da reflectância detectada pelo sensor TM (canais 1, 2, 3 e 4) do Landsat-5, quando o alvo é composto de vegetação e solo.

*Figure 16* - Simulation of the reflectance detected at channels 1, 2, 3 and 4 of TM Landsat-5 over a vegetation-soil composed target.





**Figura 17** - Simulação da reflectância detectada pelo sensor TM (canais 1, 2, 3 e 4) do Landsat-5, quando o alvo é composto de água, vegetação e solo.

*Figure 17* - Simulation of the reflectance detected at channels 1, 2, 3 and 4 of TM Landsat-5 over a water-vegetation-soil composed target.

## CONCLUSÃO

Em resumo, é importante ressaltar a influência da atmosfera para análise de comportamento espectral de alvos com baixa reflectância. Além disso, observam-se que também existe uma forte contribuição da atmosfera na reflectância planetária associada à vegetação e solo. Sendo assim, a correção atmosférica é fundamental para melhor classificação temática de superfícies do globo, ou seja, melhor discriminação entre os recursos naturais da Terra.

## REFERÊNCIAS

- ARANUVACHAPUN, S. - 1986 - Satellite remote sensing of atmospheric optical depth spectrum. *International Journal of Remote Sensing*, 7(4): 499-514.
- COAKLEY, J. A., CESS, R. D. & YUREVICH, F. B. - 1983 - The effect of tropospheric aerosols on the Earth's radiation budget: a parameterization for climate models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 40(1): 116-138.
- ELTERMAN, L. - 1970 - Vertical-attenuation model with eight surface meteorological ranges 2 to 13 kilometers.

Air Force Cambridge Research Laboratory, Environment Research Paper n° 318, U. S. Force.

- EPIPHANIO, J. C. N., FORMAGGIO, A. R., VALERIANO, M. M. & OLIVEIRA, J. B. - 1992 - Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo. Relatório do Convênio FAPESP - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 132p.
- FATTORI, A. P. & CEBALLOS, J. C. - 1984 - Turbidez atmosférica: um estudo da informação fornecida por determinações pireliométricas. Anais do 3º Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belo Horizonte, MG, Sociedade Brasileira de Meteorologia. Vol. 2: 146-154.
- FREIRE, M. L. F. - 1996 - Correção atmosféricas em imagens Landsat contaminadas por efeitos de adjacência. Dissertação de Mestrado, CCT/UFPb, Campina Grande, Pb, 100pp.
- GOODY, R. M. & YUNG, Y. L. - 1989 - Atmospheric radiation: theoretical basis. Oxford, Oxford University Press, 518pp.
- KATTAWAR, G. G. - 1975 - A three-parameter analytic phase function for multiple scattering calculations. *Journal Quantical Spectroscopy Radiative Transfer*, 15: 839-849.
- KNEIZYS, F. X., SHETTLE, E. P., GALLERY, W. O., CHETWYND, J. H., ABREU JR., L. W., SELBY, J. E. A., CLOUGH, S. A. & FENN, R. W. - 1983 - Atmospheric transmittance and radiance: computer code LOWTRAN-6. Hanscom AFB, Air Force Geophysics Laboratory. Publication AFGL-TR-83-0187.
- KNEIZYS, F. X., SHETTLE, E. P., GALLERY, W. O., CHETWYND, J. H., ABREU JR., L. W., SELBY, J. E. A., CLOUGH, S. A. & FENN, R. W. - 1983 - Atmospheric transmittance and radiance: computer code LOWTRAN-7. Hanscom AFB, Air Force Geophysics Laboratory. Publication AFGL-TR-88-0177.
- LIU, K. N. - 1980 - An introduction to atmospheric radiation. New York, NY, Academic Press, 392pp.
- ROBINSON, M. - 1966 - Solar radiation. New York, NY, Elsevier, 340pp.
- SHETTLE, E. P. & FENN, R. W. - 1979 - Models for aerosols of lower atmosphere and the effects of humidity variations on their optical parameters. Hanscom AFB, Air Force Geophysics Laboratory. Publication AFGL-TR-79-0214, 94p.

**STEFFEN, C. A., OLIVEIRA, J. L. & GAMA, F. - 1992**

- Programa espectro (versão 1.0/1991). Laboratório de Radiometria (LARAD) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, São Paulo, Technical Note, 14pp.

**TANRÉ, D., HERMAN, M., DESCHAMPS, P. Y. &**

**LEFFE, A. - 1979** - Atmospheric modeling for space measurements of ground reflectances including bidirectional properties. *Applied Optics*, **18(21)**: 3587-3594.

**TANRÉ, D., DEROO, C., DUHAUT, P., HERMAN,**

**M., MORCRETTE, J. J., PERBOS, J. &**

**DESCHAMPS, P. Y. - 1986** - Simulation of the satellite signal in the solar spectrum (5S). Technical Report, 149pp.

**VERMOTE, E. - 1990** - Effets d'atmosphère en télédétection. Tese de Doutorado, U. F. R. de Physique Fondamentale, Laboratoire D'optique Atmosphérique, Lille Flandres, França, 177pp.

Received: December, 1997

Accepted: October, 1998

(See note about the authors on page 208)

## SIMULATION OF SPECTRAL PLANETARY REFLECTANCE OF TARGETS

To discriminate the different targets in the satellite images the spectral reflectance is used, since it is associated with the target's physical and chemical composition. The process of target identification and discrimination is very sensitive to the intervening atmosphere and therefore the data can not be directly used for applications in Meteorology and Natural Resources.

In this work, a physical model is employed to simulate the planetary reflectance, considering the different target characteristics of a northeastern region of Brazil. The model simulates the signal detected by the sensor as a function of successive orders of interaction of the solar radiation with the earth-atmosphere system. Thus, a fairly accurate analytical expression of an uniform surface apparent reflectance is established. In this expression, the effects of the gaseous absorption and the scattering by molecules and aerosols are included. The surface is assumed to have a uniform Lambertian reflectance and the atmosphere is considered as a mixture of the air and aerosol. The 1st order approximation (single scattering) is used to determine the intrinsic mixture reflectance. For atmospheric aerosols, the two-term Henyey-Greenstein phase function is used. The atmosphere optical parameters (asymmetry factor, single scattering albedo, optical depth) were obtained from the literature, and the aerosol optical depth was evaluated using pyranometer data. The model is applied to simulate the TM signal of channels 1, 2, 3 and 4 of Landsat-5 for characteristic sites (lake, soil and vegetation).

For wavelengths longer than 500 nm, the planetary reflectance is modulated by target reflectances. For low reflectance targets (water), the atmospheric reflectance is dominant in the satellite signal. In this case, there is a linear relationship between the atmospheric and the planetary reflectances, with a constant ratio of approximately 1.

Analyzing composed targets (water + vegetation, water + soil and water + vegetation + soil), the simulation of the satellite signal is modulated by vegetation and soil. For water + vegetation target, the atmospheric reflection is dominant for wavelength values smaller than 520 nm. This is possible due

to the existence of the absorption vegetation band in this spectral region. For vegetation and soil composition, the planetary reflectance is modulated by soil reflectance in the spectral region below 500 nm and by vegetation for wavelengths longer than 690 nm. For water, soil and vegetation composed target, the satellite signal is modulated by the soil and vegetation reflectance, but it is mainly modulated by the atmospheric reflectance at wavelength between 520 and 750 nm. The results show that the atmospheric reflectance influence is dominant for low reflectance targets, even in the case of low values of aerosols optical depth. The opposite occurs in the case of medium reflectance targets where the predominant reflectance is that of the target. The atmospheric effect is dominant in the targets with low reflectance even considering the Rayleigh scattering. For vegetation and soil, the atmospheric reflectance contaminates the satellite signal, principally, for wavelengths shorter than 700 nm.

In the simulation of the TM signal in channels at 1, 2, 3 and 4 of Landsat-5 for characteristic sites (lake, soil and vegetation) it is observed that the contribution of atmospheric scattering is very important for the four considered channels of Landsat-5, over water. For vegetation, it is noted the predominance of the atmosphere in band 1, but in channels 2 and 3 the signal of vegetation reflectance is contaminated by the atmospheric scattering. For channel 4, the planetary reflectance is explained by the vegetation reflectance. For soil, there is a considerable contribution of the atmospheric reflectance in channels 1 and 2; for channels 3 and 4, the planetary reflectance is represented mainly by the surface reflectance. Similar behavior occurs for composed targets.

It is important to note the influence of atmospheric reflectance over the spectral behaviour of low reflectance targets. For others targets (vegetation, soil and composed targets), there is a strong contribution of the atmospheric reflectance (atmospheric scattering) in the planetary reflectance. Thus, the atmospheric correction is fundamental to get a better surface thematic mapping as well as to get a better discrimination among the natural resources of the Earth.