

O que esperar de modelos de correção atmosférica e topográfica

Sidney Geraldo Silveira Velloso¹
João Flávio Costa dos Santos²
Guilherme Silvério Aquino de Souza²
José Marinaldo Gleriani²
Cibele Hummel do Amaral²
Júlio César de Oliveira²

¹ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
88010-300 - Florianópolis - SC, Brasil
sidney.veloso@ibge.gov.br

² Universidade Federal de Viçosa - UFV
36570-000 - Viçosa - MG, Brasil
{joao.flavio, guilherme.silverio, gleriani, chamaral, oliveirajc}@ufv.br

Abstract. Models for atmospheric and topographic correction have been proposed aiming to reduce some negative aspects of the remote sensing images. In this work, we used two atmospheric correction models (DOS and FLAASH) and two topographic correction models (SCS and Minnaert) to get some insights about characteristics of orbital images after the application of these models. The results showed that the use of Minnaert and DOS models together causes the reduction of the intraclass variability, which enhance the classification for thematic classes' extraction. It was observed that the SCS model is not suitable for the intraclass variability reduction, once the radiances values of the corrected images are highly correlated to the numerator of the equation applied in this model and poorly correlated to the denominator of the same equation. The spectral behavior of vegetation was obtained for the images after the use of the models and it was observed that, in general, there is correspondence between this behavior and that presented in the literature.

Palavras-chave: Minnaert, SCS, DOS, FLAASH, Minnaert, SCS, DOS, FLAASH

1. Introdução

Imagens orbitais adquiridas por sensores a bordo de plataformas espaciais são amplamente utilizadas hoje em dia. Esses sensores captam a energia refletida/emitida pelos alvos presentes na superfície terrestre e transformam-nos em números digitais que compõem as células das imagens (Lillesand et al., 2004). Por orbitarem o globo terrestre, essas plataformas adquirem imagens, em intervalos regulares de tempo, que abrangem áreas relativamente extensas da superfície terrestre. Além disso, a qualidade da energia eletromagnética que é obtida para geração das imagens vai além da região do espectro eletromagnético que sensibiliza os olhos humanos (região conhecida como visível). Por essas e outras características, uma gama multidisciplinar de usuários tem utilizado com frequência tais imagens.

No entanto, algumas peculiaridades na aquisição das imagens normalmente são desconsideradas quando da sua utilização, como é o caso dos efeitos topográficos e atmosféricos. No primeiro caso, visto que a superfície terrestre é irregular, a geometria de aquisição da energia eletromagnética refletida pelos alvos gera respostas diferentes para faces de exposição voltadas ou não para o sol, mesmo que a cobertura seja a mesma. No caso do efeito atmosférico, uma vez que a radiação eletromagnética interage com os constituintes presentes na atmosfera, o sinal captado pelo sensor será diferente daquele que seria adquirido numa atmosfera livre de gases e particulados. Nesse caso, há perda de contraste entre os alvos presentes nas imagens.

O objetivo deste trabalho foi avaliar variações na variabilidade dos dados após a utilização dos modelos de correção topográfica e atmosférica e observar o comportamento espectral em áreas de vegetação, após o uso desses modelos.

2. Metodologia de trabalho

2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada a sudeste do estado de Minas Gerais e a noroeste do estado do Rio de Janeiro, região sudeste do Brasil. As coordenadas geográficas limítrofes para a área de estudo são $44^{\circ}14'26''\text{O}$, $43^{\circ}55'29''\text{O}$, $22^{\circ}14'15''\text{S}$ e $21^{\circ}59'2''\text{S}$, abrangendo completamente o limite municipal de Santa Rita de Jacutinga e parte dos municípios de Valença, Bom Jardim de Minas, Liberdade, Passa-Vinte e Rio Preto (Figura 1). A classificação climática, segundo o sistema de Köppen, para a área de estudo é Cwb (subtropical úmido com invernos secos e verões moderados).

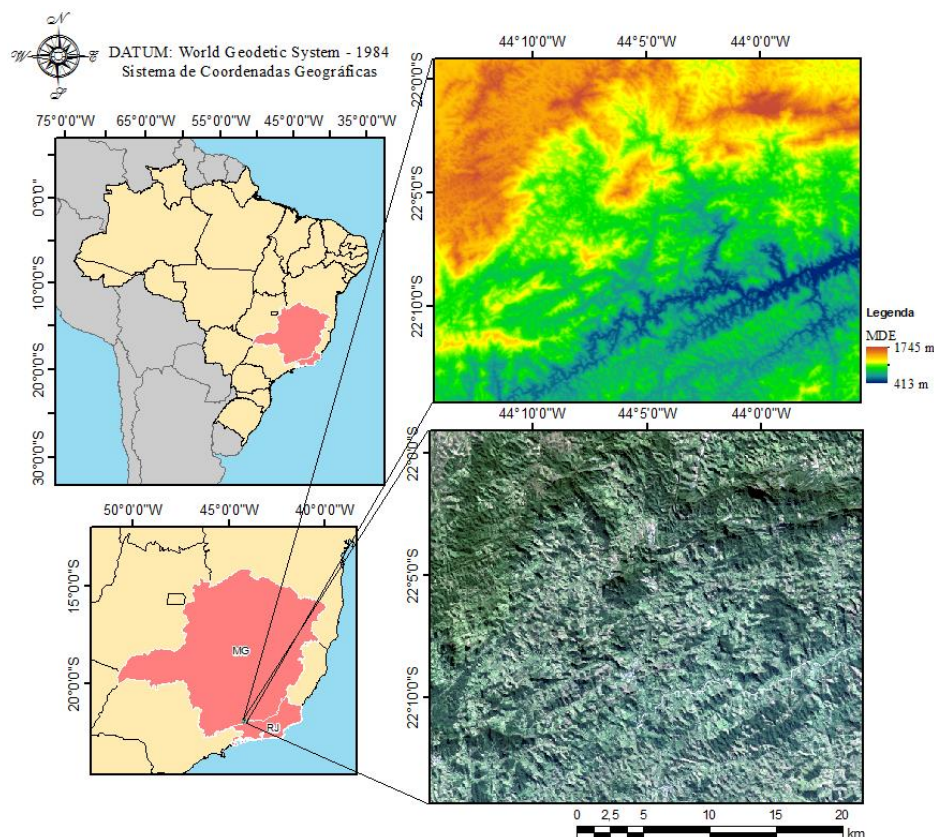


Figura 1. Localização da área de estudo.

2.2 Dados

Através do portal GLOVIS (USGS Global Visualization Viewer), imagens dos sensores TM/Landsat-5 e OLI/Landsat-8 foram adquiridas. As imagens utilizadas datam de 09 de junho de 1985 (TM/Landsat-5) e 12 de junho de 2015 (OLI/Landsat-8). Para aplicação dos modelos de correção topográfica, um Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido a partir do estereopar formado pelas imagens adquiridas pelo sensor ASTER, também foi adquirido pelo portal GLOVIS.

2.3 Pré-processamento

2.3.1 Correção atmosférica

Dois modelos de correção atmosférica foram adotados no presente estudo: *Dark Object Subtraction* (DOS) e *First Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH). O modelo DOS foi concebido com base na premissa de que, como as imagens orbitais normalmente abrangem ampla área da superfície terrestre, pixels que deveriam apresentar valor nulo (corpos d'água, sombras, etc.) estão presentes nas mesmas. Assim, os valores apresentados por tais pixels seriam provenientes do efeito aditivo da atmosfera (Chavez Jr., 1996). Para FLAASH, o modelo de transferência radiativa MODTRAN é adotado como base para eliminação do efeito atmosférico e obtenção da reflectância de superfície dos alvos.

Para DOS, diversas considerações tem sido feitas a respeito dos parâmetros adotados no momento de conversão dos valores de reflectância no topo da atmosfera para reflectância de superfície, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1. Diferenças nas concepções dos modelos DOS.

| Modelo | T_V | T_Z | E_{down} |
|--------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------|
| DOS1 | 1 | 1 | 0 |
| DOS2 | 1 | $\cos(\theta_S)$ | 0 |
| DOS3 | $e^{-\frac{\tau_r}{\cos(\theta_v)}}$ | $e^{-\frac{\tau_r}{\cos(\theta_S)}}$ | Rayleigh (6S) |
| DOS4 | $e^{-\frac{\tau}{\cos(\theta_v)}}$ | $e^{-\frac{\tau}{\cos(\theta_S)}}$ | πL_{atm} |

Onde: T_V : transmitância atmosférica entre superfície e sensor (adimensional), T_Z : transmitância atmosférica entre o topo da atmosfera e a superfície (adimensional), E_{down} : irradiância difusa introduzida pelo espalhamento atmosférico na trajetória descendente da radiação à superfície ($W.m^{-2}.\mu m^{-1}$), θ_S : ângulo zenital solar, θ_v : ângulo zenital do sensor, τ_r : espessura ótica da atmosfera para espalhamento Reyleigh no DOS3 (adimensional), τ : espessura ótica da atmosfera para espalhamento Reyleigh no DOS4 (adimensional) e L_{atm} : radiância difusa ascendente introduzida pelo espalhamento atmosférico ($W.m^{-2}.\mu m^{-1}$).

Para recuperação dos valores de reflectância de superfície no modelo DOS, utiliza-se a Equação 1 (Moran et al., 1992).

$$\rho_\lambda = \frac{\pi(L_\lambda - L_{atm})d^2}{(T_V(E_\lambda \cos(\theta_S)T_Z + E_{down}))} \quad (1)$$

Sendo ρ_λ a reflectância espectral na superfície, L_λ a radiância espectral no campo de visada do sensor ($W.m^{-2}.\mu m^{-1}$), d a distância Terra-Sol (unidades astronômicas (u. a.), 1 u. a. $\approx 1,5 \times 10^8$ km) e E_λ a irradiância espectral incidente no alvo ($W.m^{-2}.\mu m^{-1}$).

Para obtenção dos valores de radiância, Chander et al. (2009) apresentam os parâmetros de calibração para os sensores a bordo das plataformas Landsat. Esses parâmetros podem ser obtidos pelos metadados das imagens. As equações para obtenção das espessuras óticas da atmosfera em DOS3 e DOS4 são descritas em Song et al. (2001).

Para FLAASH, a equação para obtenção da reflectância de superfície é apresentada na Equação 2 (Cooley et al., 2002).

$$\rho_\lambda = \frac{(1 - \rho_e S) \left(L(\lambda, \theta_e) - \frac{B\rho_e}{(1 - \rho_e S)} - L_{atm} \right)}{A} \quad (2)$$

Sendo ρ_e a média de reflectância da superfície adjacente ao alvo, A e B parâmetros independentes da superfície e influenciados por características atmosférica e S o albedo atmosférico.

2.3.2 Correção topográfica

Os modelos de correção topográfica adotados no presente estudos foram o *Sun Canopy Sensor* (SCS) e o modelo de Minnaert. Ao passo que o modelo SCS considera alvos como superfícies lambertianas, o modelo Minnaert introduz o parâmetro k que diferencia as respostas dos alvos conforme o ângulo de visada. Esse parâmetro é dependente do comprimento de onda (λ) e varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, mais próximo à lambertianeidade é o comportamento da superfície.

O modelo SCS foi instituído com base na geometria formada entre radiação, dossel e sensor (Gu e Gillespie, 1998). Considera-se que a posição relativa das copas das árvores é influenciada pela topografia e, assim, mais árvores estariam expostas à radiação solar em faces de exposição voltadas para o sol. A Equação 3 é utilizada para a normalização topográfica pelo modelo SCS.

$$L_n = L(\lambda, \theta_e) \frac{\cos \theta_i}{\cos \theta_N \cos \theta_s} \quad (3)$$

Sendo L_n a radiância normalizada para a topografia, θ_i o ângulo efetivo de incidência (formado entre a radiação e a normal à superfície), θ_N a inclinação do terreno e θ_e o ângulo de excitância.

Para o modelo de Minnaert, inicialmente concebido para analisar a rugosidade da superfície lunar (Minnaert, 1941), a Equação 4 é adotada para normalização da radiância para a topografia.

$$L(\lambda, \theta_e) = \frac{L_n \cos^{k(\lambda)} \theta_i \cos^{k(\lambda)} \theta_e}{\cos \theta_e} \quad (4)$$

A linearização da Equação 4 permite a obtenção dos valores de $k(\lambda)$, conforme pode ser observado na Equação 5.

$$\log(L(\lambda, \theta_e)(\cos \theta_e)) = \log L_n + k(\lambda) \log(\cos \theta_i \cos \theta_e) \quad (5)$$

2.4 Avaliação dos métodos de correção atmosférica e topográfica

Para avaliar o desempenho dos modelos de correção atmosférica e topográfica verificou-se a homogeneidade intraclasse, a partir de 6 amostras obtidas em área de vegetação densa (para cada uma das imagens). A homogeneidade intraclasse foi obtida a partir dos valores de desvio padrão. Além disso, o comportamento espectral dessas amostras também foi obtido.

3. Resultados e Discussão

Os resultados apresentados nas tabelas 2 e 3 mostram que houve redução da variabilidade intraclasse para a adoção do modelo Minnaert conjuntamente ao modelo DOS4. A equação 6, a seguir, mostra que a adoção do modelo DOS4 conjuntamente ao modelo Minnaert causa a subtração de valores diferentes para cada pixel da imagem, o que ocasiona a redução da variabilidade. A diferença, no desvio padrão, observada para o modelo DOS4, sem normalização topográfica, é causada por ajustes computacionais.

A importância da variabilidade intraclasse reside no fato de que, quando adotados métodos de normalização topográfica em imagens orbitais, a acurácia de classificações automáticas é aumentada (Conese et al., 1993).

$$L_n = \frac{(L(\lambda, \theta_e) - L_{atm}) \cos \theta_e}{\cos \theta_i^{k(\lambda)} \cos \theta_e^{k(\lambda)}} \tag{6}$$

$$\rightarrow L_n = L(\lambda, \theta_e) \frac{\cos \theta_e}{\cos \theta_i^{k(\lambda)} \cos \theta_e^{k(\lambda)}} - L_{atm} \frac{\cos \theta_e}{\cos \theta_i^{k(\lambda)} \cos \theta_e^{k(\lambda)}}$$

Tabela 2. Variação dos valores de desvio padrão entre a imagem TM/Landsat-5 bruta e as imagens corrigidas pelos métodos DOS4, FLAASH, Minnaert, SCS, SCS + DOS4, SCS + FLAASH, Minnaert + DOS4 e Minnaert + FLAASH. Valores entre parênteses representam os valores percentuais de variação.

| Métodos | Bandas TM/Landsat-5 | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 |
| DOS4 | -0,0062 (-53,25808) | -0,00196 (-18,30872) | -0,00055 (-7,07563) | 0,00008 (0,10008) | -0,00006 (-0,00161) |
| FLAASH | 0,00308 (26,47776) | 0,00619 (57,65434) | 0,00343 (44,27747) | 0,04237 (51,51137) | 0,0268 (0,71129) |
| Minnaert | 0,00052 (4,43209) | 0,00104 (9,64669) | 0,00087 (11,18829) | 0,04904 (59,61246) | 0,03992 (1,05952) |
| SCS | 0,01763 (151,54447) | 0,0124 (115,53897) | 0,00812 (104,9471) | 0,04103 (49,87609) | 0,01669 (0,44302) |
| SCS + DOS4 | -0,00005 (-0,40515) | 0,0054 (50,34079) | 0,00616 (79,641) | 0,03831 (46,57047) | 0,01595 (0,42331) |
| SCS + FLAASH | 0,02245 (192,97167) | 0,01785 (166,34779) | 0,01583 (204,60094) | 0,10471 (127,29074) | 0,06076 (1,61249) |
| Minnaert + DOS4 | -0,00619 (-53,17707) | -0,00149 (-13,92129) | 0,00012 (1,57789) | 0,04798 (58,33165) | 0,03872 (1,0277) |
| Minnaert + FLAASH | 0,00305 (26,18681) | 0,00634 (59,10617) | 0,00412 (53,20813) | 0,0839 (101,99425) | 0,06834 (1,81368) |

Tabela 3. Variação dos valores de desvio padrão entre a imagem OLI/Landsat-8 bruta e as imagens corrigidas pelos métodos DOS4, FLAASH, Minnaert, SCS, SCS + DOS4, SCS + FLAASH, Minnaert + DOS4 e Minnaert + FLAASH. Valores entre parênteses representam os valores percentuais de variação.

| Métodos | Bandas OLI/Landsat-8 | | | | |
|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|
| | B2 | B3 | B4 | B5 | B6/B7 |
| DOS4 | -0,00371 (-57,22873) | -0,00121 (-17,51562) | -0,00048 (-10,05757) | 0,00029 (0,41269) | 0 (0,00864) |

| | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| FLAASH | 0,00523 (80,66785) | 0,01733 (249,95861) | 0,00971 (205,00799) | 0,03052 (43,75878) | -0,00194 (-6,41652) |
| Minnaert | 0,00136 (21,03009) | 0,00063 (9,08028) | 0,00047 (9,95489) | 0,0158 (22,65402) | 0,00983 (32,47482) |
| SCS | 0,02276 (350,87623) | 0,01555 (224,22561) | 0,00941 (198,56339) | 0,0564 (80,85226) | 0,02297 (75,89744) |
| SCS + DOS4 | 0,00211 (32,60233) | 0,00642 (92,53615) | 0,00583 (123,03047) | 0,05513 (79,03628) | 0,02293 (75,75304) |
| SCS + FLAASH | 0,01967 (303,28919) | 0,04161 (599,99455) | 0,02528 (533,61886) | 0,11367 (162,95524) | 0,02134 (70,50053) |
| Minnaert + DOS4 | -0,03648 (-562,4124) | -0,00109 (-15,76273) | -0,00023 (-4,92386) | 0,01602 (22,96441) | 0,00982 (32,43978) |
| Minnaert + FLAASH | 0,0047 (72,52209) | 0,01667 (240,35602) | 0,00951 (200,60577) | 0,04084 (58,55442) | 0,00232 (7,67477) |

Analisando os resultados gerados pelo modelo SCS, descobriu-se que após a normalização os resultados estavam altamente correlacionados ($R^2 = 92,29\%$) ao numerador da Equação 3, enquanto o denominador da mesma apresentou pouca influência ($R^2 = 2,43\%$) nos resultados gerados a partir desse modelo. A figura 2 mostra as correlações entre os valores normalizados e o numerador e denominador da equação.

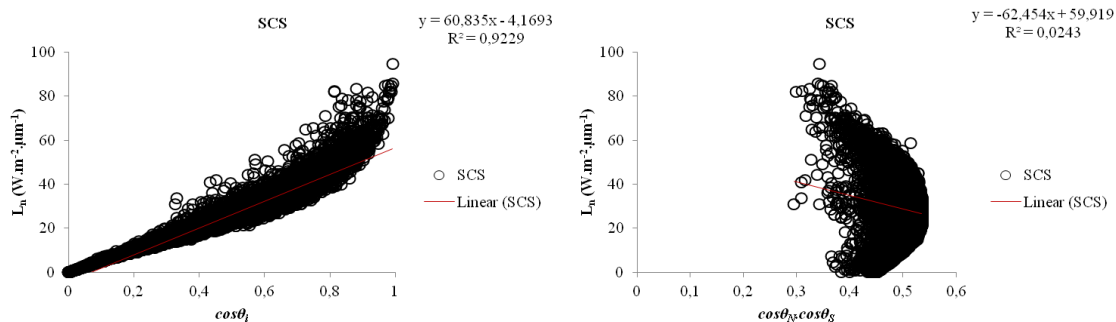


Figura 2. Correlação entre os valores de radiância normalizados (L_n) por SCS e o numerador ($\cos\theta_i$) e denominador ($\cos\theta_N\cos\theta_S$).

O comportamento espectral das amostras de vegetação densa são apresentados na figura 3. A forma das curvas encontradas no presente estudo estiveram mais próximas àquela descrita na literatura (Campbell e Wynne, 2011) quando houve a adoção de modelos de correção atmosférica.

Além disso, na imagem TM/Landsat-5, a correção topográfica pelo modelo SCS apresentou sobcorreção tanto para dados brutos quanto para dados corrigidos atmosféricamente. Para OLI/Landsat-8, o modelo SCS apresentou maior coerência para as bandas da região visível do espectro eletromagnético.

O modelo Minnaert apresentou coerência com os dados anteriores à normalização na região visível do espectro eletromagnético, enquanto na região do infravermelho, os resultados apontam elevada sobcorreção, tanto em TM-Landsat-5 quanto em OLI/Landsat-8.

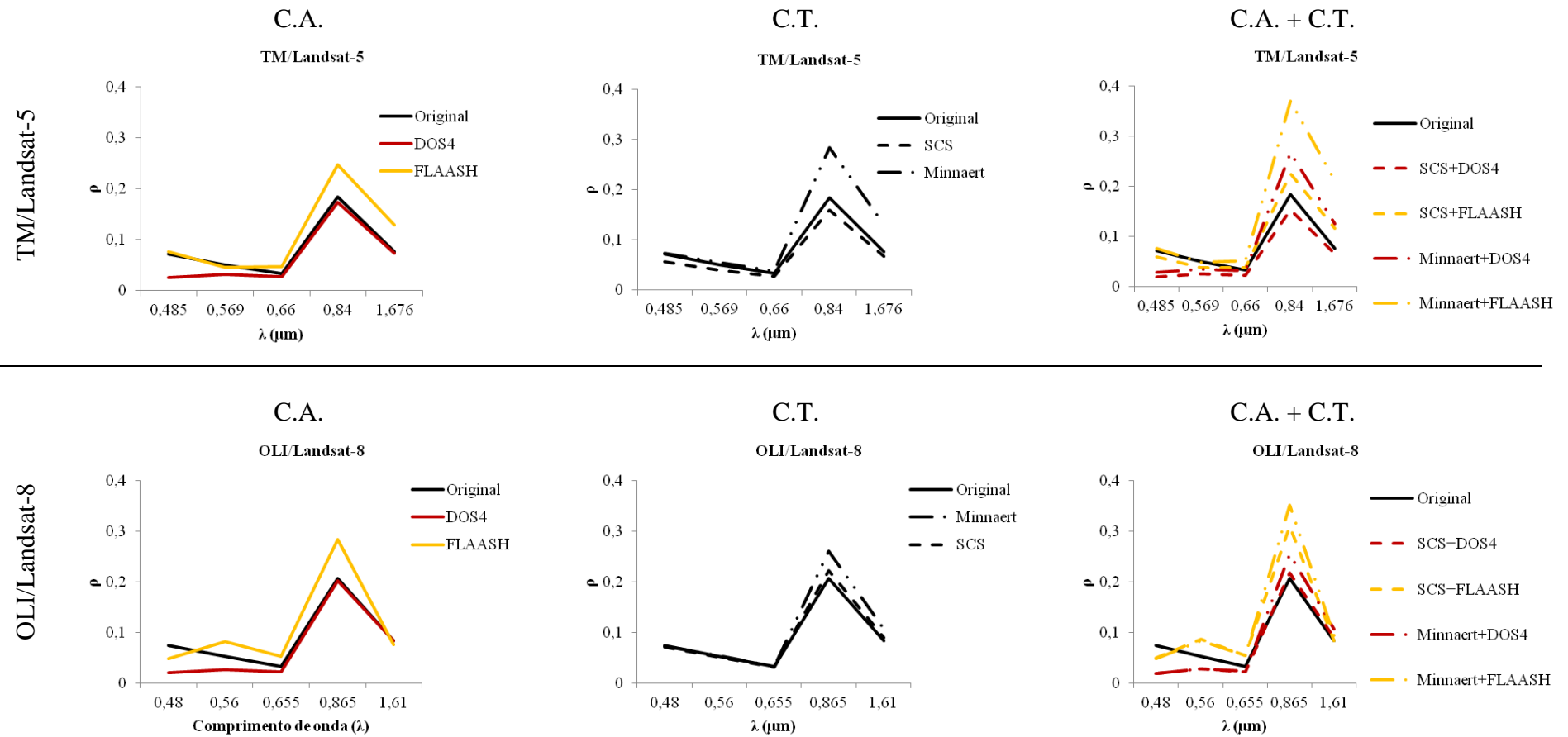


Figura 3. Curvas de comportamento espectral para as amostras de vegetação densa extraídas nas imagens TM/Landsat-5 e OLI/Landsat-8. Linha contínua em preto representa a imagem original; linhas tracejadas representam as correções topográficas conforme legenda; linhas amarelas e vermelhas representam os métodos de correção atmosférica DOS-4 e FLAASH, respectivamente. C. A. = Correção Atmosférica, C. T. = Correção Topográfica.

4. Conclusões

Conclui-se que a adoção do modelo DOS em conjunto com a correção topográfica por Minnaert reduz a variabilidade intraclasse. Além disso, o modelo SCS não reduz a variabilidade intraclasse, não sendo indicado para a normalização topográfica.

A resposta espectral fica mais coerente com o uso de modelos de correção atmosférica, sendo que os modelos de correção topográfica podem introduzir alguma diferença (sob ou sobrecorreção) em relação à resposta original.

5. Referências bibliográficas

Campbell, J. B.; Wynne, R. H. **Introduction to remote sensing**. 5ª edição. New York: The Guilford Press, 2011. 684 p.

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, n. 5, p. 893-903. 2009.

CHAVEZ JR., P. S. Image-based atmospheric corrections – revisited and improved. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 62, n. 9, p. 1025-1036. 1996.

Conese, C.; Gilabert, M. A.; Maselli, F.; Bottai, L. Topographic normalization of TM scenes through the use of an atmospheric correction method and digital terrain models. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 59, n. 12, p. 1745-1753. 1993.

Gu, D.; Gillespie, A. Topographic normalization of Landsat TM images of forest based on subpixel sun-canopy-sensor geometry. **Remote Sensing of Environment**, v. 64, n. 2, p. 166-175. 1998.

Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W.; Chipman, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. 5ª edição. New York: John Wiley & Sons, 2004. 763 p.

Minnaert, M. The reciprocity principle in lunar photometry. **The Astrophysical Journal**, v. 93, p. 403-410. 1941.

Moran, M. S.; Jackson, R. D.; Slater, P. N.; Teillet, P. M. Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output. **Remote Sensing of Environment**, v. 41, n. 2-3, p. 169-184. 1992.

Song, C.; Woodcock, C. E.; Seto, K. C.; Lenney, M. P.; Macomber, S. A. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? **Remote Sensing of Environment**, v. 75, n. 2, p. 230-244. 2001.