

Análise comparativa da eficiência na correção atmosférica dos módulos ATCOR, DOS e solução USGS nas imagens TM-Landsat 5 e OLI-Landsat 8

Hélder Arlindo Machaieie^{1,4}
Carla Bernadete Madureira Cruz²
Rafael Silva de Barros²
Cleverson Guizan Silva¹
Eduardo Negri de Oliveira³

¹Universidade Federal Fluminense – UFF/PPDOT
Av. Gen. Milton Tavares de Souza s.n., Gragoatá– Niterói-RJ, Brasil
cguizan@id.uff.br

²Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/PPGG
Av. Athos da Silveira Ramos, 283, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro,
Brasil
carlamad@gmail.com
rafael.barros@ufrj.br

³Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ/FO
Rua São Francisco Xavier, 524 – 20550-013 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil
negrig@gmail.com

⁴Universidade Eduardo Mondlane – UEM/ESCMC
Av. 1 de Julho, C.P. 128, Chuabo-Dembe, Quelimane, Moçambique
machaielder@yahoo.com.br

Abstract: the radiation that leaves the earth surface to remote sensing satellites is modified by scattering and absorption effects of gases and particles that compose the atmosphere and consequently the flux that reaches the sensor contains a loss or an addition of radiation by scattering or absorption. In order to reduce the interference of the atmosphere many companies and single researchers have made effort in order to develop models for correction of remote sensing acquired products. The aim of this work is to compare the efficiency of three different atmospheric models for TM-Landsat 5 and OLI-Landsat 8 Image correction, namely ATCOR model, DOS model and USGS solution. We evaluated the difference between the apparent reflectance and the surface reflectance resulted from the application of each of the three models on TM-Landsat 5 and OLI-Landsat 8 images. The models showed distinct results especially in the visible region of electromagnetic spectrum. The results showed that for the same target a same atmospheric model can generate different results for TM-Landsat 5 image and OLI-Landsat 8. The ATCOR model seemed to overestimate the surface reflectance, especially in the TM-Landsat 5 image. The USGS solution showed good performance for both TM-Landsat 5 and OLI-Landsat 8 images and for all analyzed targets. The DOS model showed similar results to USGS solution for OLI-Landsat 8 image but also showed some inconsistencies for TM-Landsat 5 image.

Palavras-chave: Remote sensing, image processing, radiative transfer model, dark object subtraction model, spectral signature; sensoriamento remoto, processamento de imagens, modelo de transferência radiativa, modelo de subtração de objeto escuro, assinatura espectral.

1. Introdução

A radiação refletida pela superfície da terra para os sensores a bordo de satélites é modificada pelos efeitos espalhamento e absorção dos constituintes atmosféricos durante a sua interação com a atmosfera, conseqüentemente, o fluxo que chega ao sensor contém radiação adicionada ou subtraída pela absorção e/ou espalhamento (ANTUNES, 2012). Os efeitos de absorção e espalhamento dos constituintes atmosféricos impactam de maneira diferenciada ao longo das faixas de comprimento de onda do espectro eletromagnética o que torna ineficaz a opção de ignorá-los, principalmente em estudos que envolvem operação entre bandas diferentes. Neste contexto, pesquisadores e instituições fornecedoras de produtos de sensoriamento remoto têm envidado esforços no sentido de desenvolver modelos que visam anular ou minimizar os efeitos atmosféricos, porém nem sempre os modelos desenvolvidos se mostram eficazes. De entre vários fatores a eficiência dos modelos atmosféricos pode variar em função do sensor, do tipo de alvo e das condições atmosféricas no momento de aquisição da imagem. Apesar de alguns métodos se mostrarem eficientes, a sua utilização pelos tem sido limitada pelo fato de a sua aquisição ser muito onerosa. Os serviços Geológicos dos Estados Unidos têm fornecido imagens com correções atmosféricas gratuitamente, bastando apenas que o usuário faça solicitação. Por outro lado, a comunidade *Quantum GIS* disponibilizou o *Semi-automatic Classification Plugin* (SCP) que de entre outros algoritmos traz consigo o método *Dark Object Substraction* (DOS) que pode ser acessado gratuitamente no Software *Quantum GIS*.

O presente trabalho faz uma análise comparativa da eficiência de três modelos de correção atmosférica para imagens dos Sensores TM-Landsat 5 e OLI-Landsat 8, nomeadamente: módulo ATCOR disponível no software comercial PCI-Geomática, e que utiliza o modelo de transferência radiativa para corrigir efeitos de espalhamento e absorção, modelo DOS que corrige os efeitos de espalhamento e a solução dos serviços geológicos dos Estados Unidos (USGS).

2. Material e Métodos

Foram utilizadas uma imagem do Landsat 5, sensor TM obtida no dia 03 de Agosto de 2005 e outra do Landsat 8, sensor OLI obtida no dia 31 de Agosto de 2015, referentes a órbita 218, ponto 76. As bandas utilizadas no trabalho estão apresentadas na Tabela 1. As imagens foram todas projetadas para UTM, WGS84, 23S.

Tabela 1: Bandas espectrais do Landsat 5 e Landsat 8 utilizados no trabalho

Sensor TM		Sensor OLI	
Nº da Banda	Centro da faixa espectral (nm)	Nº da Banda	Centro da faixa espectral (nm)
1	485 (blue)	1	440 (coastal blue)
2	560 (green)	2	480 (blue)
3	660 (red)	3	560 (green)
4	830 (NIR)	4	655 (red)
5	1650 (SWIR-1)	5	865 (NIR)
7	2215 (SWIR-2)	6	1610 (SWIR-1)
		7	2200 (SWIR-2)

Antes de se efetuar a correção atmosférica as imagens originais foram reservadas em refletância do topo da atmosfera (TOA) através do sistema PCI. A correção atmosférica pelo módulo ATCOR foi feita através no sistema PCI com os seguintes parâmetros de entrada: modelo de atmosfera tropical, modelo de aerossóis rural, visibilidade de 50 km. Após a correção as imagens de saída foram compactadas no arquivo PIX. As imagens com correção USGS foram adquiridas nos serviços geológicos dos Estados Unidos (USGS). Após a aquisição das imagens com correção USGS foi feita uma conversão de ND para refletância de superfície através dos parâmetros de conversão disponibilizados pelos USGS. A correção pelo método DOS foi efetuada com auxílio do *Semi-automatic Classification Plugin* no ambiente *Quantum GIS*.

Após a realização das correções atmosféricas foram selecionadas para cada imagem cinco amostras de cada classe, nomeadamente: água costeira, água do mar aberto, floresta e solo exposto. Para a efetivação da análise comparativa dos modelos atmosféricos e seus efeitos sobre a imagem original, para cada amostra foram feitas curvas espectrais da média da refletância de superfície correspondente à imagem com correção ATCOR, imagem original, imagem com correção USGS e imagem com correção DOS.

4. Resultados e discussão

As Figuras 1a e 1b apresentam as curvas de refletância das amostras de água costeira extraídas na imagem do sensor *ThematicMapper* (TM) e do sensor *Operational Land Imager* (OLI), respectivamente. Os valores da refletância na imagem do sensor TM corrigida pelo modelo ATCOR apresentam um aumento da banda do azul (10.03 %) a banda do verde (10.87 %) seguida de uma queda contínua até a banda SWIR-1 (1.59%) terminando com uma ligeira subida SWIR-2 (1.94 %). A curva de refletância aparente (TOA) apresenta no geral valores mais baixos de refletância em relação à imagem corrigida pelo ATCOR sendo que esta apresenta uma queda contínua desde a banda do azul com 10.14% até atingir valor nulo na banda SWIR-2. A curva da correção pela solução USGS apresenta um ligeiro aumento da banda do azul a banda do verde (4.02 % a 4.20%) seguido por uma queda contínua até atingir cerca 0.22% na banda SWIR-2. A curva da correção do DOS apresenta um comportamento diferente das restantes três curvas especialmente nas primeiras três bandas onde apresenta uma queda abrupta caindo de 11.63% na banda do azul para 4.20% na banda do verde voltando a subir para 4.84% na banda do vermelho e por fim registra uma queda contínua até a banda SWIR-2 com cerca de 1.63%.

Os perfis de refletância da imagem do sensor OLI apresentam um comportamento diferente dos perfis da imagem do sensor TM principalmente nas correções ATCOR e DOS. A curva de refletância TOA apresenta maior refletância em relação à ATCOR e USGS e DOS nas bandas do visível e a correção DOS apresenta os maiores valores no infravermelho. A imagem TOA apresenta queda contínua com valor de 13.57 % na banda do azul costeiro a 0.17% na banda SWIR-2. A imagem com correção ATCOR apresenta mesma tendência (queda contínua) da imagem TOA, mas com valores relativamente inferiores, com máximo (11.75 %) na banda do azul costeiro e valor nulo no SWIR-2. A imagem com correção DOS apresenta um ligeiro aumento passando de 5.82% na banda do azul costeiro para 6.09% na segunda banda do azul de onde registra uma queda contínua até atingir cerca de 1.11% na banda SWIR-2. Diferentemente das outras, a curva da correção pela solução USGS apresenta valores relativamente menores principalmente no visível, com 3.89% na banda do azul costeiro, 4.88% na banda do azul e o pico de 5.36% localizado na banda do verde de onde começa a apresentar comportamento semelhantes ao das demais curvas.

A refletância espectral de águas claras diminui continuamente nas faixas do visível e infravermelho devido à absorção na coluna de água. Quando a concentração de sedimentos aumenta os valores de refletância aumentam, principalmente na região do visível. O pico de refletância desloca-se para maiores comprimentos de onda na faixa do visível quanto maior for a concentração de sedimentos (JANSEN, 2001). Atendendo que as amostras de refletância foram extraídas em águas costeiras, com concentração significativa de sedimentos em suspensão espera-se que os valores de refletância nas curvas de amostras de água com sedimentos sejam maiores que nas curvas da água do oceano aberto e o pico de refletância esteja situado a direita da faixa do azul. As curvas das amostras de correção pelo ATCOR e da solução USGS da imagem do sensor TM e a curva da solução USGS na imagem do sensor OLI apresentam perfis típicos de água com sedimentos em suspensão não obstante a aparente superestimação da refletância na curva da correção ATCOR.

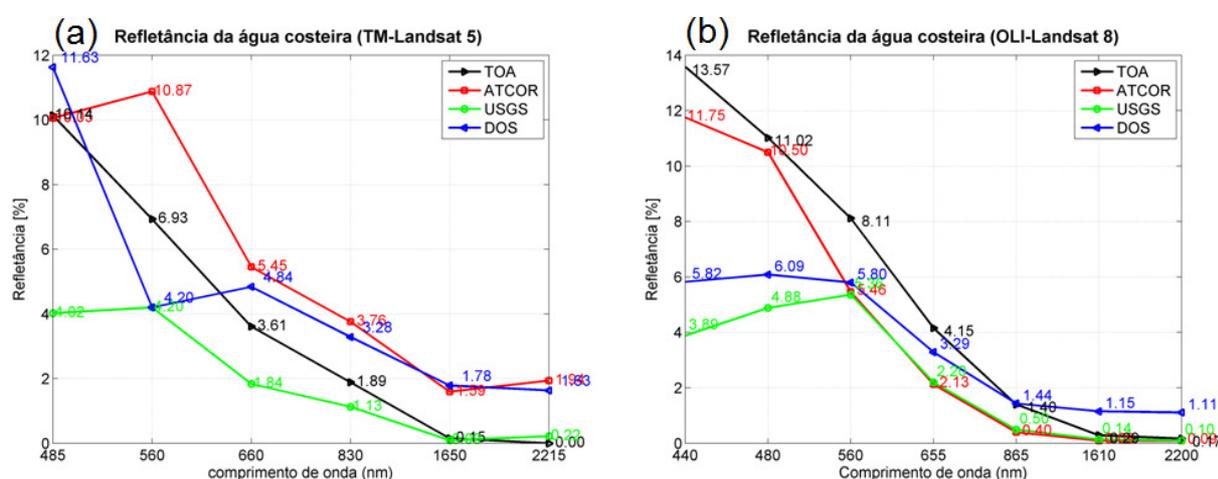


Figura 1: Comparação dos valores de refletância (%) da água costeira em cada banda dos sensores TM (painel esquerdo) e OLI (painel direito) das imagens: TOA, corrigida pelo ATCOR, corrigida pela solução USGS e corrigida pelo DOS.

As curvas da refletância das amostras de água do mar aberto extraídas da imagem do sensor TM estão representadas na Figura 2a. A curva de refletância aparente apresenta uma queda contínua variando de 8.53% na banda do azul para valor nulo na banda do SWIR-2. A curva da imagem corrigida pelo modelo ATCOR apresenta um ligeiro aumento da banda do azul (7.87%) para a banda do verde (8.10%) de onde apresenta uma queda contínua até atingir cerca de 1.53% na banda centrada no SWIR-2. A curva da solução USGS apresenta uma queda contínua da banda do azul (2%) a banda do vermelho (0.76%) seguida por um ligeiro aumento na banda do NIR (0.9%) de onde volta a cair até atingir 0.15 no SWIR-2. Analogamente ao que se tinha registrado nas águas costeiras a curva da correção DOS apresenta uma queda abrupta da banda do azul (10.01%) para a banda do verde (1.69 %) voltando a subir para 3.75% no vermelho onde sofre uma queda contínua até 1.42% no SWIR-2.

Para o sensor OLI (Figura 2b) a curva de refletância aparente apresenta os valores mais elevados em relação às outras curvas na faixa do visível sendo que na faixa do infravermelho a curva da correção DOS é que apresenta os valores mais elevados. Todas as quatro curvas apresentam uma queda contínua a partir do azul costeiro até registrar o mínimo SWIR-2 sendo que as curvas da solução USGS e DOS apresentam valores relativamente menores que os da refletância aparente e correção pelo ATCOR na faixa do visível.

As águas do oceano aberto, que geralmente são classificadas como águas em que o fitoplâncton é um principal agente responsável pela sua cor costumam apresentar características típicas de água pura. Nestas águas o coeficiente de espalhamento é elevado na região de comprimentos de ondas mais curtos (região ultravioleta e do azul), e decresce exponencialmente com o inverso da quarta potência do comprimento de onda (λ^{-4}), aproximadamente (KAMPEL e NOVO, 2005) sendo que quase todo o fluxo radiante incidente no infravermelho próximo e médio (740 – 3000 nm) que penetra neste corpo de água é absorvido, e pouco espalhamento acontece (JANSEN, 2001). A partir das curvas de refletância da imagem do sensor TM pode se afirmar que existe uma inconsistência na curva da correção pelo ATCOR devido ao fato de esta apresenta um aumento de refletância na banda do verde e na curva DOS por apresentar um aumento de no valor de refletância entre a banda do verde e a banda do vermelho. Tanto na imagem do sensor TM assim como na imagem OLI a curva da refletância aparente (TOA) apresenta um perfil típico da água do oceano aberto. A magnitude da refletância nas curvas da correção USGS e correção DOS encontram-se dentro do que poderia se esperar na faixa do visível, porém a correção DOS parece ter superestimado os valores de refletância na faixa do infravermelho. No geral nota-se uma melhor tendência das curvas da imagem do sensor OLI em relação as curvas do sensor TM. Essa melhoria pode estar relacionada com melhoria na relação sinal/ruído nas imagens do sensor OLI que por sua vez deve-se ao tipo de amostragem do sensor.

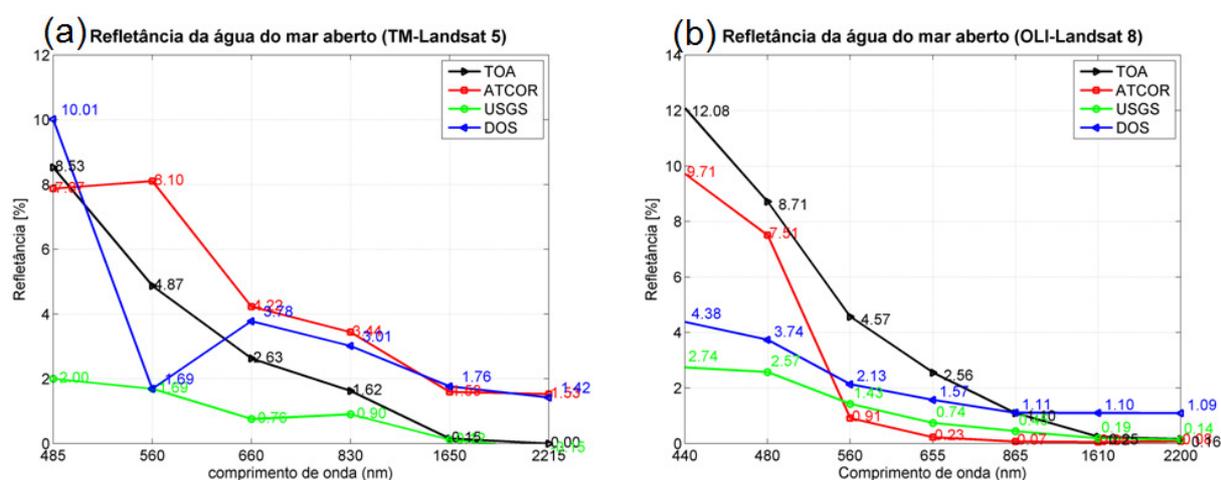


Figura 2: Comparação dos valores de refletância (%) da água do oceano aberto em cada banda dos sensores TM (a) e OLI (b) das imagens: TOA, corrigida pelo ATCOR, corrigida pela solução USGS e corrigida pelo DOS.

A clorofila-a e clorofila b são os mais importantes pigmentos vegetais absorvedores da luz azul e luz vermelha: a clorofila-a nos comprimentos de onda de 430 e 660 nm e clorofila-b nos comprimentos de onda 450 e 650 nm (JANSEN, 2001). Uma relativa diminuição de absorção entre as duas bandas acima citadas é observada em aproximadamente 540 nm na porção do verde o que faz com que as folhas verdes saudáveis pareçam verdes aos nossos olhos. A refletância na região do infravermelho próximo em uma floresta verde típica aumenta na região entre 700 e 1200 nm. Esse aumento é resultante de um mecanismo de espalhamento pelo mesófilo esponjoso e refletância filiar aditiva (JANSEN, 2001). De acordo com as características espectrais da vegetação espera-se que o seu espectro típico apresente no geral valores mais baixos nas faixas do azul e vermelho intercalados por um ligeiro pico no verde e um aumento maior na faixa do infravermelho próximo.

Na Figura 3a estão representadas as curvas das amostras de floresta referentes à imagem do sensor TM. A curva da refletância TOA apresenta uma queda contínua caindo de 8.13% na banda de azul costeiro centrada em a 3.82% na banda do vermelho seguida de um aumento brusco na banda do infravermelho próximo (24.68%) voltando a cair nas bandas SWIR-1 (10.49%) e SWIR-2 (0%). A curva da correção pelo ATCOR apresenta um comportamento diferente da curva TOA no que diz respeito às primeiras três bandas, sendo que esta mostra um ligeiro crescimento da banda do azul à banda do verde (de 7.32% para 9.66%) tendo um decréscimo na banda vermelho (5.72%) seguido de aumento abrupto na banda do NIR (31.46%) e voltando a cair bandas SWIR-1 (13.84%) e SWIR-2 (0%). A curva da correção da USGS é semelhante à curva da correção pelo ATCOR com relação à tendência de variação da refletância, porém essa apresenta valores relativamente menores em todas as bandas. A curva da correção USGS apresenta um pequeno crescimento de 1.34 a 3.30% da banda do azul a banda verde seguida de um ligeiro decréscimo na banda do vermelho (2.23%) de onde aumenta abruptamente na banda NIR (26.85%) voltando a cair nas bandas SWIR-1 e SWIR-2 em que apresenta 11.92 e 5.01% respectivamente. A curva da correção DOS apresenta uma queda entre a banda do azul (9.6%) e a banda do verde (3.30%) voltando a crescer para 5.02% na banda do vermelho antes de atingir o pico máximo de cerca 26.87% na banda do NIR de onde cai até 5.82% na banda do SWIR-2.

As curvas de refletância das amostras de floresta extraídas na imagem do sensor OLI estão na Figura 3b. Analogamente ao que foi observado na imagem do sensor TM a curva da refletância TOA apresenta uma queda contínua desde a banda do azul costeiro (10.85%) até a banda do vermelho (3.65%) seguida por um aumento brusco no NIR (28.29%) e voltando a cair nas bandas SWIR-1 (11.52%) e SWIR-2 (4.42%). A curva da correção pelo ATCOR é semelhante à da imagem TOA sendo que apresenta valores relativamente menores nos comprimentos de onda do visível com uma queda mais acentuada entre as bandas do azul e do verde (de 6.45% para 2.65%).

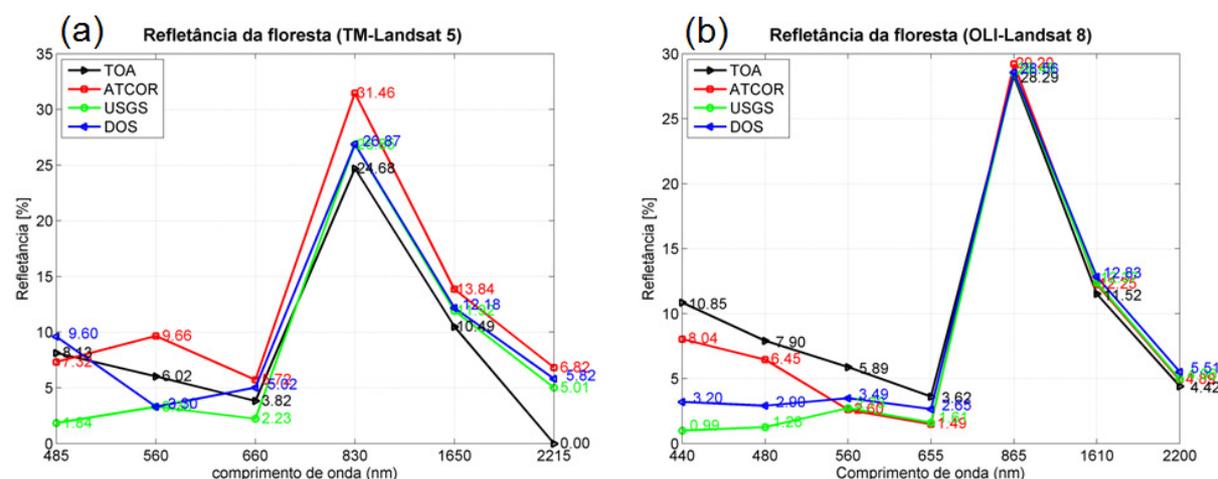


Figura 3: Comparação dos valores de refletância (%) da floresta em cada banda dos sensores TM (a) e OLI (b) das imagens: TOA, corrigida pelo ATCOR, corrigida pela solução USGS e corrigida pelo DOS.

A curva da correção da USGS apresenta pequeno aumento da banda do azul costeiro (0.99%) a banda do verde (2.73%) seguida de uma pequena queda na banda do vermelho (1.61%) aumentando abruptamente na banda NIR (287.48) de onde volta a cair nas bandas SWIR-1 (12.37%) e SWIR-2 (4.96%). Já a curva da correção DOS apresenta uma ligeira queda entre a banda do azul costeiro (3.20%) e a banda do verde (2.9%) voltando a subir ligeiramente para 3.49% na banda do verde de onde volta a decrescer para 2.65% no vermelho

antes de aumentar abruptamente para 28.56% no NIR para terminar com uma queda contínua até registrar 5.51% na banda SWIR-2.

Tanto na imagem TM como na imagem OLI as curvas de refletância apresentam valores mais baixos na faixa do visível por essa sofrer muita absorção. As curvas da correção ATCOR e USGS da imagem do sensor TM e as curvas USGS e DOS da imagem do sensor OLI é que apresentaram um comportamento esperado para a vegetação sendo que a correção pelo ATCOR na imagem TM parece ter superestimado os valores que refletância pelo que se esperava que esses fossem menores que os da refletância aparente.

Nas amostras do solo exposto a refletância aparente para o sensor TM (Figura 4a) apresenta uma queda contínua a partir da banda do azul (10.46%) até a banda do vermelho (8.95%) de atinge o seu pico na banda do infravermelho (25.3%) antes de voltar a cair até atingir o valor nulo na banda do infravermelho mais distante. A correção ATCOR apresenta mesmo o aumento da banda do azul para a banda do verde (10.46% para 14.2%) caindo para 12.14% na banda do vermelho, aumenta abruptamente na banda do infravermelho próximo (32.21%) e finalmente cai gradualmente até 15.06% na banda do infravermelho mais distante. A solução USGS mostra uma elevação contínua desde a banda do azul (4.51%) até a banda SWIR-2 (12.06%) sendo que esta apresenta os valores mais baixos quando comparada com as outras três curvas na região do visível e valores mais elevados em relação a refletância aparente nos comprimentos de onda mais elevados. A correção pelo DOS apresenta uma queda da banda do azul a banda do verde (12.01% a 7.36%) passando a aumentar continuamente até atingir o seu pico no NIR (27.50%) de onde apresenta uma queda contínua até atingir cerca de 12.66% no SWIR-2.

Para o sensor OLI (Figura 4b) a curva da refletância aparente (TOA) apresenta uma ligeira queda da banda do azul costeiro a banda do azul (de 19.74% para 19.43%) seguido de um aumento gradual até atingir o seu valor máximo de 36.61% na banda do SWIR-1 finalizando com uma queda para 23.51% no SWIR-2. A curva da correção pelo ATCOR apresenta tendência semelhante à da refletância aparente mas com valores ligeiramente superiores entre as bandas do azul costeiro e NIR. As curvas da correção pela solução USGS e DOS apresentam tendências semelhantes em todos os comprimentos de onda sendo que a curva DOS apresenta valores relativamente maiores que os da curva USGS nas duas bandas do azul (11.46% e 13.18%) e valores ligeiramente menores entre a banda do verde e SWIR-2.

Segundo ANTUNES (2012) a curva do solo exposto tende a crescer da banda do azul ao NIR. Pelas características das curvas apresentadas nas duas imagens se pode observar que para o solo exposto as correções atmosféricas geraram resultados diferentes entre os dois sensores. Para a imagem do sensor TM a solução USGS apresentou o melhor empenho, com valores relativamente menores que os da refletância aparente como efeito da correção dos efeitos do espalhamento e valores relativamente maiores nos comprimentos de onda mais longos como resultado da correção dos efeitos da absorção. Já na imagem do sensor OLI ambas as correções pela solução USGS e DOS apresentaram resultados satisfatórios não obstante as ligeiras diferenças nos valores de refletância, provavelmente associadas às diferenças nos princípios físicos usados nas correções.

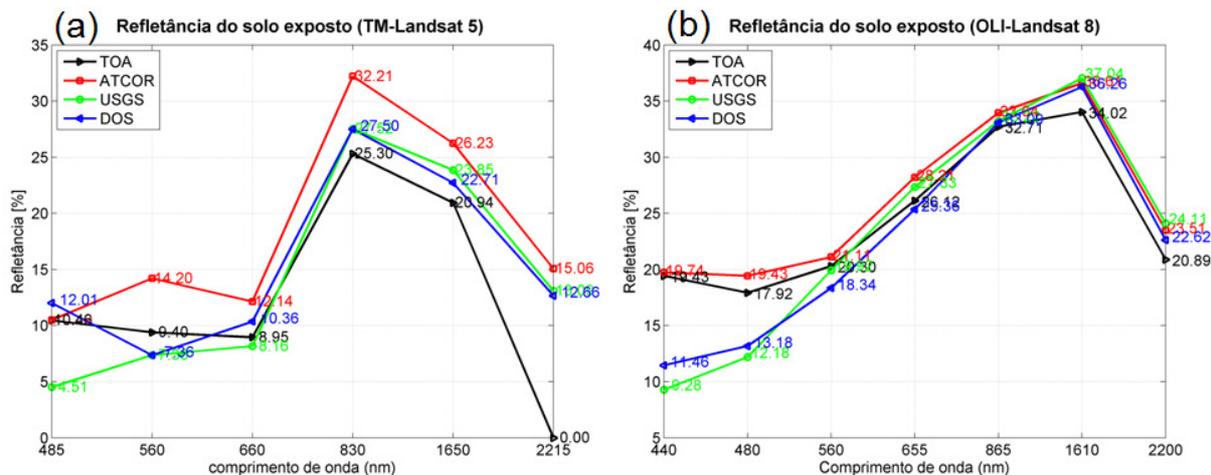


Figura 4: Comparação dos valores de refletância (%) do solo exposto em cada banda dos sensores TM (a) e OLI (b) das imagens: TOA, corrigida pelo ATCOR, corrigida pela solução USGS e corrigida pelo DOS.

5. Conclusões

Os resultados mostraram que para um mesmo alvo, um mesmo modelo de correção atmosférica pode ter empenhos distintos nas imagens do sensor TM-Landsat 5 e OLI-Landsat 8.

Na faixa do visível, onde se espera que com a correção dos efeitos do espalhamento os valores da refletância de superfície sejam menores que os da refletância aparente o modelo ATCOR fez o contrário tendo gerado valores de refletância de superfície superiores que os da refletância aparente principalmente na imagem do sensor TM-Landsat 5.

A solução USGS apresentou resultados consistentes para todos os alvos tanto para a imagem TM-Landsat 5 como para OLI-Landsat 8.

A correção pelo modelo DOS apresentou resultados consistentes e curvas semelhantes às da solução USGS para a imagem OLI-Landsat 8, porém apresentou algumas inconsistências na imagem TM-Landsat 5.

Agradecimentos

O Primeiro autor deste trabalho é bolsista da Coordenação de aperfeiçoamento do Pessoal do Ensino Superior (CAPES). Os autores agradecem o apoio do Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra (UFF-PPDOT) e do Laboratório Espaço de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais (UFRJ-PPGG).

Referências Bibliográficas

Antunes, M. A. H., Debiasi, P, Costa, A. R;&Gleriani, J. M. (2012). Correção Atmosférica das Imagens alos/avnir-2 Utilizando o Modelo 6S.Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodesia, fotogrametria e Sensoriamento Remoto ISSN: 1908-0936: **Revista Brasileira de Cartografia**. No: 64/4:531-539.

Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2011. 604 p.

Kampel, M, & Novo, E. M. L. M. O Sensoriamento Remoto da Água.In: Ronald Buss de Souza (Org.). **Oceanografia Por Satélites**, São Paulo: Oficina Textos, 2005. Cap. 12. p179-196.