

## Imagem de reflectância de superfície USGS como referência para comparação de diferentes métodos de correção atmosférica

Patricia Michele Pereira Trindade<sup>1</sup>  
Dejanina Luderitz Saldanha<sup>1</sup>  
Waterloo Pereira Filho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS/CEPSSRM  
Caixa Postal 15044 – 91501-970 – Porto Alegre - RS, Brasil  
pattytrindadegeo@gmail.com  
dejanira.saldanha@ufrgs.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Maria – UFSM/CCNE  
Avenida Roraima, nº1000 – 97105-900 – Santa Maria - RS, Brasil  
waterloopf@gmail.com

**Abstract.** Satellites' remote sensors register images that, in some way, carry atmospheric interference. Thus, methods of atmospheric correction were developed and products of surface reflectance were made available, such as, for example, the images of the Landsat 8 platform. Regarding this context, the objective of our study is to compare two methods of correction, while considering as reference the values obtained in the images of surface reflectance provided by the USGS, and to verify what is their influence on the values of radiometric indices for constructed surfaces. Our methodology followed some steps, such as: the acquisition of three Landsat 8 images (surface reflectance [SR], top of atmosphere reflectance [TOA] and digital numbers [DN]); conversion of the DN into physical values and atmospheric corrections through DOS and FLAASH methods; calculation of the radiometric index NDBI; collection of spectral signatures for targets of constructed surfaces, vegetation, water and bare soil; comparison between the reflectance images and the reference image; and comparison between the NDBI values for the constructed surface's class. As result, it was possible to determine that different correction methods can generate different values of surface reflectance and of NDBI for the same targets. Thus, it remains undetermined which method is better suited. In our study, the image corrected with FLAASH presented values of reflectance and of NDBI that were closer to those of the reference image. Studies that use Landsat 8 image rely on images corrected in advance, which facilitates work and guarantees more reliability.

**Palavras-chave:** DOS, FLAASH, urban area, radiometric index, physical values, spectral curves, DOS, FLAASH, área urbana, índice radiométrico, valores físicos, curvas espectrais.

### 1. Introdução

Uma das principais informações obtidas a partir dos produtos de sensoriamento remoto orbital é a caracterização das propriedades físicas dos diversos alvos existentes na superfície terrestre. No entanto, é de comum acordo entre a comunidade científica que, os dados registrados pelos sensores sofrem interferência de um meio dinâmico que fica entre o sensor e a superfície imageada, a atmosfera. Uma das principais interferências é a diminuição do contraste entre as superfícies adjacentes e alteração do brilho em cada ponto da imagem (Zullo Junior, 1996). Liou (1980) e Latorre *et al.* (2002) são exemplos de trabalhos que avaliaram a interferência atmosférica nos valores espectrais de diferentes alvos na superfície terrestre.

A importância da correção atmosférica pode ser identificada em três casos: quando o usuário deseja conhecer a reflectância ou emitância do objeto em estudo; quando o usuário necessita utilizar algoritmos que se baseiem em operações aritméticas entre as bandas; quando o usuário deseja comparar propriedades dos objetos em imagens de diferentes datas (NOVO, 2008).

Diversos métodos de correção atmosférica foram desenvolvidos para serem aplicados nas imagens e mitigar os efeitos atmosféricos sobre a REM captada pelos sensores, a exemplo, o método DOS (*Dark Object Subtraction*) e o algoritmo Flaash (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis Spectral Hypercubes*). O primeiro, segundo Chávez (1988) utiliza

dados somente da imagem e considera os valores de espalhamento atmosférico. Já o segundo método, de acordo com Aldler-Golden (1999) e Matthew *et al.* (2002) fundamenta-se no código de transferência radiativa MODTRAN para estimar os parâmetros na correção das imagens. Alguns trabalhos já foram desenvolvidos em relação aos diferentes métodos de correção atmosférica, como por exemplo, Couto Junior *et al.* (2011) que avaliaram o desempenho do algoritmo FLAASH (baseado no código MONTRAN) com imagem Landsat 7 EMT para o bioma do Cerrado. Fragal e Montanher (2011) compararam as correções atmosféricas 6s e DOS para a caracterização espectral de alvos naturais utilizando imagens Landsat 5 sensor TM.

Produtos já convertidos para reflectância de superfície estão disponíveis gratuitamente, como é o caso das imagens Landsat 8 disponibilizadas no site da USGS (*United States Geological Survey*). Os dados de reflectância de superfície Landsat 8 são gerados a partir do algoritmo LaSRC (*Landsat Surface Reflectance Code*), o qual utiliza a banda de aerossóis para realizar testes de inversão de transferência radiativa (USGS, 2016).

A correção atmosférica é considerada importante para estudos baseados nas características espectrais dos alvos, sendo que, sem a correção os índices espectrais podem apresentar valores diferentes (LU *et al.*, 2002). Um exemplo é o índice radiométrico NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*) que é utilizado para identificar áreas construídas, considerando como base o grande incremento de resposta espectral das áreas construídas nas bandas do infravermelho próximo e ondas curtas (Zha *et al.*, 2003; Xu, 2007; França *et al.* 2012).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é comparar imagens em reflectância de superfície obtidas por diferentes métodos de correção atmosférica e verificar sua influência no índice radiométrico NDBI. Para tanto, a imagem em reflectância de superfície disponibilizada pela USGS foi utilizada como referência.

## 2. Metodologia de Trabalho

No presente trabalho foram utilizadas três imagens da plataforma Landsat 8, sensor OLI referentes à órbita ponto 223/81 do dia 19/01/2014, foram usadas as bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. A primeira imagem corresponde aos valores de reflectância aparente ou no topo da atmosfera (TOA), a segunda à reflectância de superfície (SR) e a terceira em números digitais (ND). A aquisição das imagens foi realizada no *site* da USGS. A área escolhida para este estudo foi a cidade de Santa Maria -RS devido ao conhecimento prévio da área de modo a facilitar a interpretação dos dados (Figura 1).

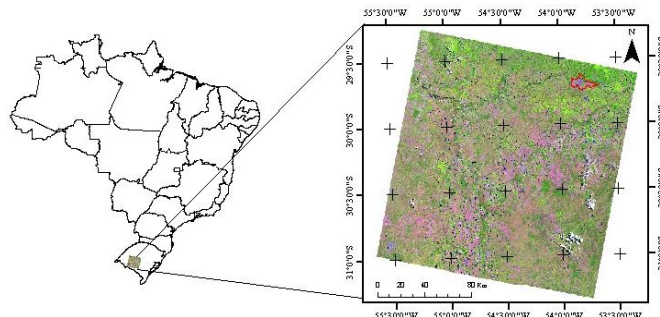


Figura 1 – Localização da área de estudo.

### 2.1. Correção atmosférica com o método DOS e no algoritmo FLAASH

O processamento digital referente à correção atmosférica foi realizado na imagem em números digitais. Para tanto, antes de iniciar as correções com os dois métodos distintos, a imagem foi convertida para valores de radiância (para correção com o FLAASH) e para

valores de reflectância aparente (para correção com o DOS). Os parâmetros utilizados na correção são encontrados na página oficial do programa Landsat e estão disponíveis nos metadados das imagens.

O método de correção atmosférica DOS segundo Chávez (1988) utiliza dados da própria imagem, assim, fatores como condições atmosféricas e visibilidade horizontal não são considerados para correção. Este método toma como pressuposto que qualquer cena e qualquer banda espectral existem pixels com o valor 0, tanto imagens em ND quanto em imagens já convertidas para reflectância aparente, são áreas que não poderiam receber radiação incidente (sombras por exemplo). Assim, se esses pixels apresentam valores maior que zero, o valor excedente é explicado pela interferência aditiva do espalhamento atmosférico (PONZONI, 2010). Para realizar a correção segundo este método no presente trabalho foram identificadas em cada banda espectral quais as quantidades de reflectância aparente que deveriam ser subtraídas da imagem como um todo, assim foi considerado que a interferência atmosférica seria uniforme em toda a cena.

A correção atmosférica com o algoritmo FLAASH utiliza o código de transferência radiativa MODTRAN, sendo que a principal vantagem em utilizar esse modelo é que este considera também o fenômeno de absorção da REM o que resulta informações mais confiáveis para trabalhos que envolvam parâmetros geofísicos (PONZONI, 2010). Os parâmetros de entrada para correção foram: imagem convertida para valores de radiância, características da cena, data, latitude e longitude, altitude do sensor, modelo atmosférico (Mid-Latitude Summer), visibilidade horizontal (40 Km), sensor a bordo do satélite (OLI), banda espectral, e modelo de aerossol (neste caso foi considerado o “Rural” pois a correção realizada em toda a cena).

Para o desenvolvimento do trabalho foram consideradas quatro imagens: 1ª Reflectância aparente USGS (R\_TOA), 2ª Reflectância de superfície USGS (SR\_USGS), 3ª Reflectância de superfície com o método DOS (SR\_DOS) e 4ª Reflectância de superfície com o método FLAASH (SR\_FLASH).

## 2.2. Cálculo do índice radiométrico

Foi realizado o cálculo do índice radiométrico NDBI (Equação 1) para as quatro imagens (R\_TOA, SR\_USGS, SR\_FLASH, e SR\_DOS). Neste caso, foram consideradas as bandas 5 e 7 do sensor OLI. Este índice foi considerado pois o recorte espacial para as análises dos dados é a área urbana de Santa Maria, desta forma foi possível espacializar de maneira rápida as áreas construídas dentro da cidade. Zha *et al.* (2003) propuseram o NDBI utilizando as bandas TM4 e TM5 para atrair áreas urbanizadas de Nanjing, China.

$$NDBI = (pivoc - pivp) / (pivoc + pivp) \quad (1)$$

Onde, pivoc = reflectância no infravermelho de ondas curtas, pivp= reflectância no infravermelho próximo.

## 2.3. Comparação entre as imagens

O resultado das correções atmosféricas DOS e FLAASH foram comparadas com a imagem de reflectância de superfície da mesma cena disponibilizada pela USGS (considerada imagem referência). Foram coletadas 15 assinaturas espectrais de áreas construídas, água, vegetação e solo exposto. Estas amostras foram escolhidas de forma irregular e posteriormente foi gerada uma curva média para cada classe e plotadas em um gráfico para as

comparações entre as imagens. Assim, foi realizado o cálculo da diferença entre USGS e FLAASH e USGS e DOS subtraindo os valores das imagens corrigidas da imagem referência.

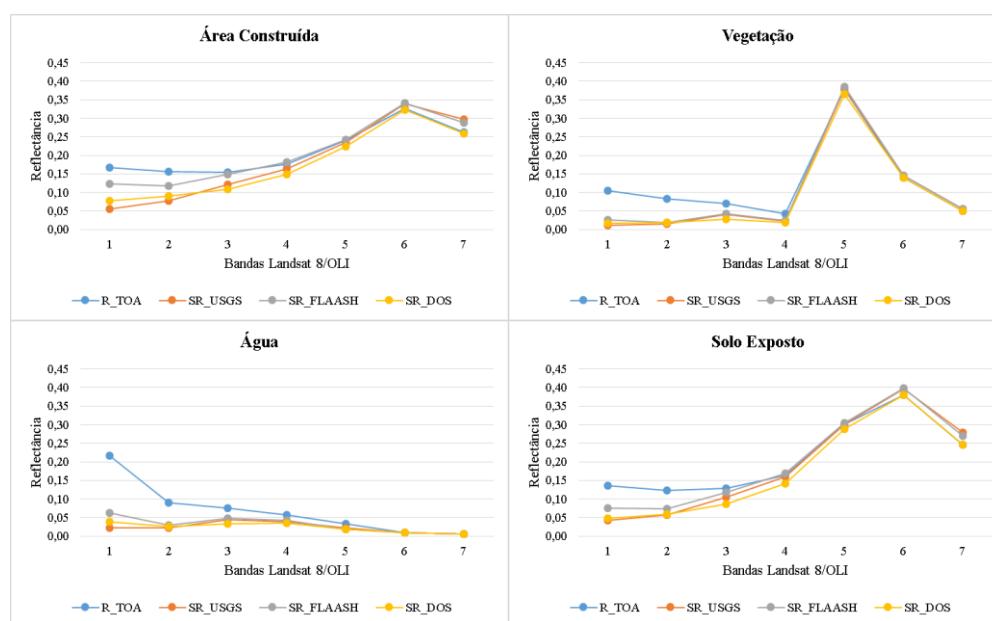
Em relação ao NDBI foram realizadas as comparações dos valores entre as quatro imagens (reflectância parente USGS, reflectância de superfície USGS, reflectância de superfície FLAASH, e reflectância de superfície DOS) a partir das amostras coletadas.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Resultados das correções atmosféricas

Observou-se alta correlação entre as curvas espectrais (R\_TOA, SR\_USGS, SR\_FLAAASH e SR\_DOS), onde os valores de reflectância FLAASH apresentam-se um pouco superiores em todas as classes selecionadas em relação às reflectâncias USGS e DOS (Figura 2). A classe área construída apresentou maior variação entre as imagens de reflectância de superfície e a classe vegetação a menor variação.

As curvas de reflectância aparente apresentam valores superiores nas bandas do visível para as diferentes classes. Este fato foi explicado por Ponzoni (2010) que nas bandas do visível os valores de reflectância aparente serão sempre superiores aos de reflectância de superfície devido ao espalhamento da REM causado pela interferência atmosférica, principalmente, nos menores comprimentos de onda.



**Figura 2** – Resposta espectral de diferentes alvos a partir das imagens Reflectância aparente (R\_TOA), Reflectância de superfície USGS (SR\_USGS), Reflectância de superfície FLAASH (SR\_FLAAASH) e Reflectância de superfície DOS (SR\_DOS).

Nas regiões do infravermelho próximo e ondas curtas os valores de reflectância de superfície USGS e FLAASH apresentam-se superiores aos de reflectância aparente. Conforme Ponzoni (2010) este fato é explicado pela predominância do fenômeno de absorção da REM nessas bandas espectrais. Já os valores de reflectância de superfície DOS foram inferiores ao de reflectância aparente, isso acontece pois esse método considera o fenômeno de espalhamento como dominante em todas as bandas espectrais.

Uma observação interessante que foi constatada é que os valores de reflectância aparente são muito próximos aos valores de reflectância de superfície a partir da banda 5,

independentemente do método de correção, o que possibilita afirmar que as correções atmosféricas têm maior influência nas bandas dos visível.

### 3.2. Comparação entre os diferentes métodos de correção atmosférica

Para caracterização espectral de alvos a partir de imagens orbitais são necessárias as conversões dos ND para valores físicos (radiância e reflectância aparente) bem como correções atmosféricas. Para tanto existem os métodos de correção atmosférica disponíveis, em contrapartida, existe a dúvida de qual o melhor método de correção. Neste trabalho os valores de reflectância de superfície USGS foram considerados os mais adequados, pois são distribuídas pela USG, agência científica dos EUA. As imagens Landsat 8 cotam com um algoritmo de correção especialmente desenvolvido para elas, sendo que as correções fazem uso da banda de aerossóis, dados climáticos auxiliares do MODIS e os ângulos zênites (USGS, 2016).

Assim, tendo como referencia a imagem de reflectância de superfície USGS como verdadeiros foram realizadas duas subtrações entre os valores de reflectância de superfície USGS e FLAASH e subtração USGS e DOS. Os resultados foram os valores de diferença entre os métodos para as sete bandas consideradas neste trabalho (Figura 3).

Na classe área construída os valores das diferenças entre USGS e FLAASH apresentaram-se maiores do que USGS e DOS nas bandas 1, 2, 3 e 4. Sendo que a partir do infravermelho próximo as diferenças entre USGS e DOS foram maiores.

Para a classe vegetação as maiores diferenças ocorreram entre USGS e DOS, no entanto, na banda 1 a diferença entre DOS e USGS foi menor do que a diferença entre USGS e FLAASH, sendo que na banda 2 as duas comparações apresentaram valores parecidos.

Nas amostras de água a diferença entre USGS e DOS foram menores nas bandas 1 e 2, na banda 3 registou valores maior que USGS e FLASH, e nas demais bandas as diferenças apresentaram-se praticamente iguais.

Pode-se dizer que as assinaturas espectrais do solo exposto e área urbana são paracidas. No entanto, quando foram analisadas as diferenças entre os métodos de correções foi verificado que não foram semelhantes. Na classe solo exposto, as diferenças entre USGS e DOS foram inferiores somente nas bandas 1 e 2 e aumentaram a partir da banda 3. Na classe área construída os valores foram maiores somente para as bandas 5, 6 e 7.

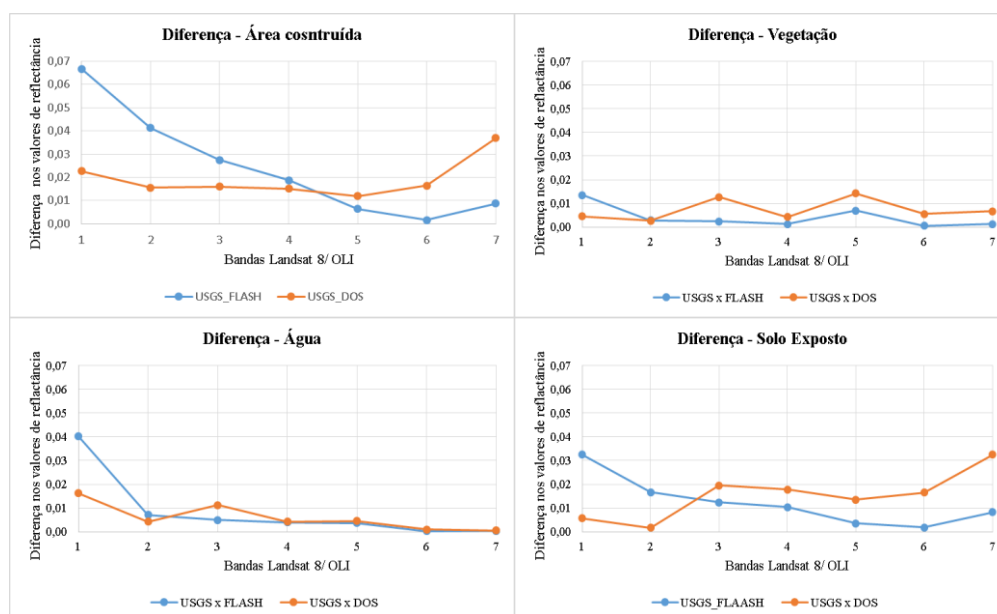


Figura 3 – Diferenças da reflectância de superfície entre USGS e FLAASH e USGS e DOS.

Em uma análise geral foi possível observar que os valores das diferenças entre USGS e FLAASH foram as menores para a maioria das bandas nas classes vegetação, água e solo exposto. Sendo que a diferença entre USGS e DOS só foi menor para a classe área construída e nas bandas 1, 2, 3 e 4. A diferença entre USGS e FLAASH foram menores para esta classe nas bandas do infravermelho próximo e de ondas curtas, o que torna o método FLAASH mais adequado para estudos urbanos, já que geralmente as bandas consideradas para composições coloridas (melhor contraste na área urbana) bem como para a geração do NDBI consideram as bandas do infravermelho próximo e de ondas curtas.

### 3.3. Comparação entre os valores NDBI para classe área construída

A figura 4 apresenta os resultados do NDBI gerado para as quatro imagens abordadas neste estudo. Os valores de NDBI variam de -1 a 1, sendo que os maiores valores indicam a existência de áreas construídas na área considerada. A partir das quatro imagens de NDBI é possível verificar que visualmente não existem diferenças entre elas.

No entanto, ao analisar os 15 valores de NDBI para as amostras de áreas construídas coletadas foi possível verificar diferenças entre os valores de NDBI das imagens corrigidas pelos dois métodos. Os menores valores de NDBI foram identificados na imagem de reflectância aparente para todas as amostras. Já a imagem de Reflectância de superfície USGS apresentou os maiores valores de NDBI para as 15 amostras de área urbanizada. A imagem corrigida com o método DOS apresentou os menores valores entre as imagens de reflectância de superfície (Figura 5).

Tomando a imagem de NDBI USGS como referência foram calculadas as diferenças desta em relação às obtidas com os dois métodos de correção. Assim foi possível verificar que os valores de NDBI da imagem FLAASH apresentaram menor diferença em relação à imagem USGS. Este fato, pode ser explicado porque as diferenças entre as imagens de reflectância de superfície USGS e FLAASH foram menores para as bandas 5, 6, e 7 do que a comparação USGS x DOS. Como as bandas utilizadas para o cálculo do NDBI foram as 5 e 7, conseqüentemente, os valores de NDBI FLAASH são mais próximos dos valores de NDBI USGS.

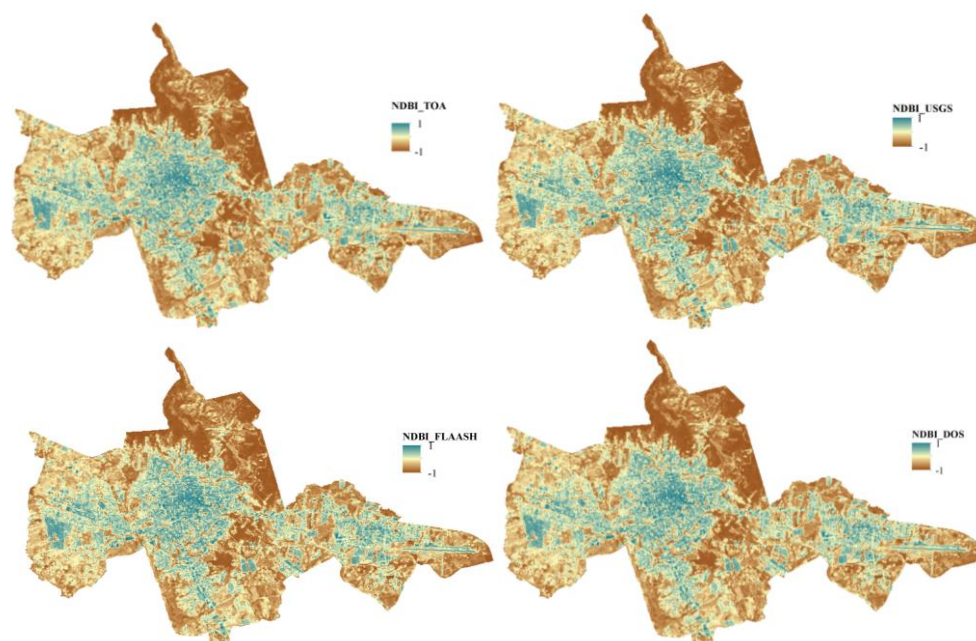
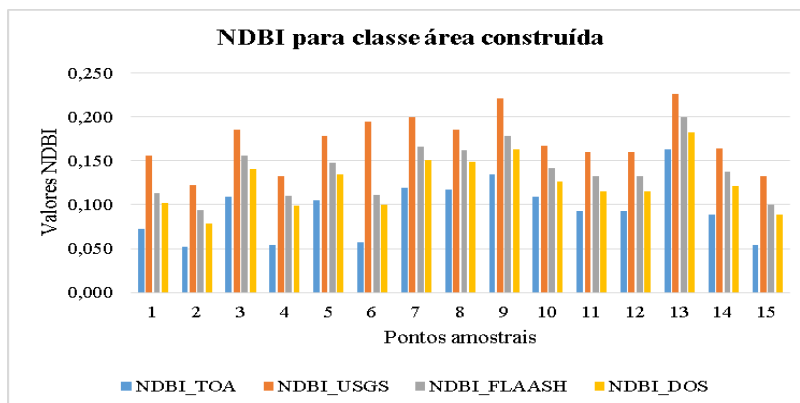


Figura 4 – Espacialização das áreas construídas na cidade de Santa Maria a partir do NDBI.



**Figura 5** – Valores de NDBI da classe área construída para as imagens de Reflectância aparente e Reflectância de Superfície.

#### 4. Conclusões

A partir do desenvolvimento deste estudo foi possível estimar as diferenças entre as imagens de reflectância de superfície disponibilizadas pela USGS e as imagens corrigidas com os métodos FLAASH e DOS. Neste sentido, as menores diferenças entre os valores de reflectância de superfície foram encontradas entre as imagens USGS e FLAASH para os alvos vegetação, água e solo exposto (bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7), sendo que as diferenças entre as imagens USGS e DOS foram menores para as bandas 1, 2, 3 e 4 na classe área construída e bandas 1 e 2 para os demais alvos.

Estudos que necessitam conhecimento das grandezas físicas dos objetos a partir de imagens Landsat 8 contam com a disponibilidade de imagens já corrigidas em reflectância de superfície o que facilita o trabalho e garante maior confiabilidade, já que dados disponibilizados pela USGS podem ser considerados mais precisos, pois são desenvolvidos algoritmos e parâmetros de correção especialmente para as imagens Landsat 8. No entanto, se houver a necessidade de conversão dos valores ND para valores físicos e posterior correção, recomenda-se a correção pelo algoritmo FLAASH, pois este apresentou valores mais próximos da imagem referência.

Para estudos urbanos que visam a utilização do índice NDBI também recomenda-se a imagem corrigida pelo FLAASH, pois os valores de reflectância foram mais próximos aos da imagem referência, bem como a diferença entre os valores de NDBI entre a imagem USGS e FLAASH foram menores para classe área construída. Assim, é possível afirmar que diferentes métodos de correção podem gerar diferentes valores de reflectância de superfície e NDBI para os mesmos alvos.

De acordo com a literatura, a atmosfera tem influência sobre os valores de radiância registrados nos sensores de sensoriamento remoto e para tentar minimizar essa interferência foram desenvolvidos diferentes métodos de correção. No entanto, surge a questão: será que aplicando tais métodos sobre as imagens realmente obtém-se imagens com o verdadeiro valor físico dos diversos alvos presentes na superfície terrestre? E se a correção for considerada imprescindível, qual o método utilizar? Para a área de estudo do presente trabalho e imagem Landsat8 o método FLAASH foi considerado mais adequado, no entanto, mais estudos devem ser desenvolvidos considerando diferentes áreas e imagens.

#### Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq por bolsa a primeira autora e por bolsa de produtividade em pesquisa ao último autor.

## Referências Bibliográficas

Aldler-Golden, S.M.; Matthew, M.W.; Bernstein, L.S.; Levine, R.Y.; Berk, A.; Richtsmeier, S.C.; Acharya, P.K.; Anderson, G.P.; Felde, G.; Gardner, J.; Hike, M.; Jeong, L.S.; Pukall, B.; Mello, J.; Ratkowski, A.; Burke, H. Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4. *SPIE Proc. Imaging Spectrometry*, v. 3753, p. 61-69, 1999.

Chávez, J. P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*. New York, v.24, p. 459-479, 1988.

Couto Junior, A. F.; Meneses, P. R.; Sano, E. E. Desempenho da correção atmosférica baseada no algoritmo FLAASH e sua avaliação para o processamento digital de imagens do sensor Landsat 7-ETM+ dentro do Bioma Cerrado. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2011. *Anais...São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos*, p. 7317-7323. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1610.pdf>> Acesso em 18 de set. 2016.

França, A. F. de; Tavares Junior, A. R.; Moreira Filho, J.C.C. Índices, NDVI, NDWI, NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa olho D'Água, em Jabotão dos Gauraraes-PE. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2012, Recife. *Anais...IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2012. Artigos*, p.001-009.

Fragal, E. H.; Montanher, O. C. Correções atmosféricas 6s e DOS na caracterização espectral de alvos naturais de Ilha Grande utilizando dados do sensor TM 5. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2011. *Anais...São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos*, p. 7456-7463. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1022.pdf>> Acesso em 18 de set. 2016.

Latorre, M.; Carvalho Júnior, O. A.; Carvalho, A. P. F.; Shimabukuro, Y. E. Correção Atmosférica: Conceitos e Fundamentos. *Espaço & Geografia*, v. 5, n. 1, p. 153-178, 2002.

Liou, K.N. *An Introduction to atmospheric radiation*. New York: Academic Press, 1980. 392p.

Lu, D.; MAUSEL, P.; BRONDIZIO, E.; MORAN, E. Assessment of atmospheric correction methods for Landsat TM data applicable to Amazon basin LBA research. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n. 13, p. 2651-2671, 2002.

Matthew, M.W.; Adler-Golden, S.M.; Berk, A. Atmospheric correction of spectral imagery: Evaluation of the FLAASH algorithm with AVIRIS data. In: 31st Applied Imagery Pattern Recognition Workshop, 2002. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1182270> > Acesso em 20 de set. 2016.

Novo, E. M. L. de M. *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações*. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2008. 363p.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. *Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação*. São José dos Campos: Ed. A. Silva Vieira. 2007. 1280p.

United States Geological Survey – USGS. *Provisional Landsat 8 Surface Reflectance Code (LaSRC) Product*. Versão 3.3. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/documents/provisional\\_lasrc\\_product\\_guide.pdf](http://landsat.usgs.gov/documents/provisional_lasrc_product_guide.pdf)> Acesso em outubro de 2016.

Xu, H. Extraction of urban built-up Land features form Landsat imagery a thematic-oriented index combination technique. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. v. 73, n. 12, p. 1381- 1391, 2007.

Zha, Y. J. Gao, J.; Ni, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*. v. 24, n.3, p.583-594, 2003.

Zullo Junior., J.; Bezerra, P. C.; Guyot, G.; Gu, X. Importância prática da correção atmosférica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8. 1996, Salvador. *Anais... São José dos Campos: INPE, 1996. Artigos*, p. 977-978. On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em <<http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.02.11.25/doc/T191.pdf>> Acesso em 15 ago. 2016.