

Análise comparativa dos métodos de correção atmosférica GREEN, ATREM, FLAASH e QUAC na determinação dos índices EVI e EVI2 em dados AVIRIS

Mayara Lucyanne Santos de Araújo¹
Khalil Ali Ganem¹
Gustavo Macedo de Mello Baptista¹

¹ Universidade de Brasília – UNB/IG
Caixa Postal 4465 - 70910-90 - Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte -
Brasília - DF, Brasil
mayara.araujo.eng@gmail.com/khalilganem@hotmail.com/gmbaptista@unb.br

Abstract. Atmospheric correction is performed to rectify the effects of scattering and absorption in an image, but depends on the wavelength of the sensor system. The same can cause a considerable increase in the range of spectral indices or masking results after their application. The aim of the present work is to perform a comparative analysis between the atmospheric correction methods ATREM, GREEN, FLAASH and QUAC applied to the vegetation indices EVI and EVI2 in a hyperspectral image AVIRIS, in the city of São João D'Aliação - Brazil. The AVIRIS image was obtained through the SCAR-B mission in 1995. The atmospheric correction methods were applied to the image, and later the EVI and EVI2 indices. To analyze the results it was performed a transect in the scene that covered targets such as vegetation, straw and bare soil, in order to statistically observe and analyze the EVI and EVI2 behavior against the applied atmospheric correction method. The EVI and EVI2 indices presented satisfactory results for the observation of vegetation cover of the area, being considered efficient for AVIRIS. The applied linear regression showed a high relation in all the methods, with a very high coefficient of determination, allowing the use of any of the methods for the atmospheric correction of the AVIRIS image.

Palavras-chave: spectral indices, remote sensing, image processing, índices espectrais, sensoriamento remoto, processamento de imagens.

1. Introdução

A radiação eletromagnética (REM) emitida pelo Sol se propaga pelo vácuo à velocidade da luz, incide no topo da atmosfera terrestre e sofre atenuações até chegar à superfície da Terra (JENSEN, 2009). Esse processo de atenuação é causado pela absorção e espalhamento da REM por partículas presentes na atmosfera terrestre. Essas partículas podem ser poeiras, aerossóis ou moléculas de vários tipos de gases e podem apresentar tamanhos diferentes em sua estrutura.

Segundo Antunes et al. (2012), esse processo de atenuação da REM produz uma alteração no contraste entre os alvos e no brilho da imagem. Meneses (2012) acrescenta que os efeitos atmosféricos podem impedir a radiação solar de atingir a superfície terrestre ou no mínimo sua intensidade é atenuada. Baptista (2012) por sua vez, ao tratar da existência de estudos comparando índices espectrais em imagens hiperespectrais, não observou diferenças entre dados brutos de radiância e dados com correção atmosférica. Observando que a correção atmosférica mascara resultados, como as feições de água a 1,4 e a 1,9 μm que não são bem removidas. Tachiiri (2005) acrescenta um aumento considerável na faixa de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) após a correção atmosférica. A correção atmosférica é aplicada na imagem por meio de diferentes algoritmos. Como exemplo, as correções atmosféricas ATREM, GREEN, FLAASH e QUAC.

Entre os anos 80 e anos 90, os sensores hiperespectrais mostraram-se como uma tecnologia emergente (KRUSE et al., 1993). Atualmente, os dados hiperespectrais oferecem um potencial considerável para a obtenção de informações sobre a superfície da terra (WANG, 2003). Diversos estudos utilizam dados hiperespectrais nas pequenas detecções dos alvos, identificação dos materiais, discriminação entre as classes muito semelhantes, e até mesmo a estimativa de parâmetros bioquímicos (OUERGHEMMI et al., 2016; BLACK et al.,

2016; BARET&JACQUEMOUD, 1994; BLACKBURN, 1998; KALACSKA et al., 2015; DALPONTE et al., 2014; GALVÃO et al., 2005).

Nesse contexto, é necessário entender os efeitos que os diferentes métodos de correção atmosférica causam em imagens hiperespectrais, principalmente após aplicação de índices espectrais. Com isso, o objetivo do presente trabalho é realizar uma análise comparativa entre os métodos de correção atmosférica ATREM, GREEN, FLAASH e QUAC aplicados nos índices de vegetação EVI e EVI2 em uma imagem hiperespectral AVIRIS (*Airborne Visible/InfraRed Imaging Spectrometer*, JPL/NASA), no município de São João D'Aliança, Goiás, Brasil.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

A imagem da área de estudo pertence ao município de São João D'Aliança, localizada na porção nordeste do estado de Goiás (Figura 1). A área de estudo limita-se a norte com Alto Paraíso, a leste com Flores de Goiás, a sul com Planaltina de Goiás, a oeste com Niquelândia, e está localizada a aproximadamente 150 km de Brasília.

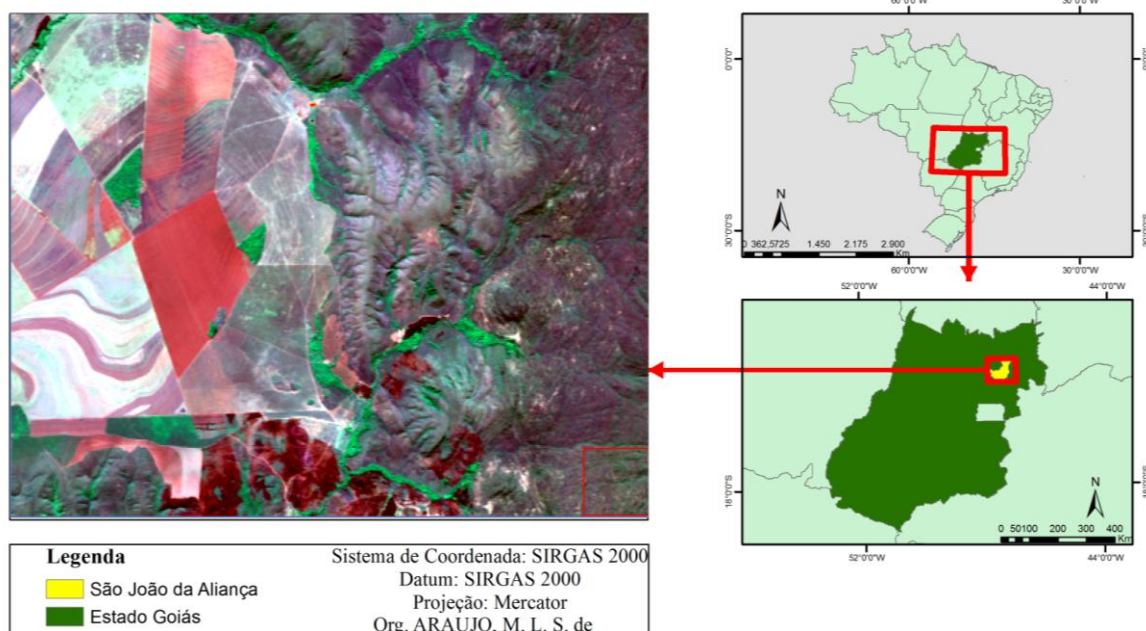


Figura 1. Localização do município São João D'Aliança e imagem AVIRIS (R30 G60 B90) correspondente a área de estudo.

O município está nos limites pertencentes à Chapada dos Veadeiros. Possui população de 10.257 habitantes, segundo o censo demográfico de 2010 (IBGE, 2010), sendo que 66% correspondem à população urbana e, portanto, 33% à rural (VIVALDE, 2013). Possui uma área de 3.327,379 km² (IBGE, 2010).

2.2 Aquisição dos Dados

Esse trabalho foi realizado em uma imagem do sensor hiperespectral *Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer* (AVIRIS). O sensor possui 224 bandas e é instalado na plataforma aérea ER-2. Tem uma faixa espectral entre 400 - 2500 nm, uma resolução espacial de 17m e uma largura de faixa de 11 km. Sua resolução espectral é de 10 nm e sua cobertura espectral é contínua.

A imagem AVIRIS estudada foi obtida por meio da missão SCAR-B (*Smoke, Clouds and Radiation - Brazil*). Essa missão foi realizada no período de agosto a setembro de 1995 devido

a um convênio entre a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Agência Espacial Brasileira (AEB). Essa missão abrangeu os estados de Rondônia, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás.

A obtenção da imagem ocorreu no dia 16 de agosto de 1995, por meio do voo 02 (parte da 950816L2, subcena 03). Segundo Baptista (1998), nessa época do ano os terrenos ainda apresentavam uma cobertura de restos da cultura anterior, com uma área considerável de solo exposto.

2.3 Processamento e Análise dos Dados

O procedimento adotado baseou-se em duas etapas: correção atmosférica (por meio dos métodos GREEN, ATREM, FLAASH e QUAC) com a redução dos dados de radiância para reflectância de superfície e a aplicação dos índices espectrais (EVI e EVI2) em todas as imagens obtidas a partir da aplicação dos métodos de correção atmosférica. Para a realização dos procedimentos foi utilizado o software ENVI© versão 4.8.

A correção atmosférica FLAASH é um algoritmo baseado no MODTRAN4, que executa a correção para o efeito de adjacência, ou seja, mistura de pixel devido ao espalhamento de superfície, e também calcula a visibilidade média da cena (aerossol/névoa) (ENVI, 2003). Para sua execução é necessário uma série de parâmetros da imagem. O método de correção GREEN também é baseado no modelo MODTRAN3 de transferência radiativa e na calibração dos dados utilizando parâmetros coletados no campo (GREEN et al., 1991).

O QUAC, por sua vez, é um método empírico que consiste na busca da resposta espectral média dos objetos que compõem a cena (*endmembers*) utilizando informações contidas na imagem (ENVI, 2003). Já o ATREM, utiliza um modelo de transferência radiativa atmosférica que considera as variações espaciais e temporais do vapor d'água, com base nas feições de 0,94mm e 1,14 mm (GAO et al., 1993).

Os índices de vegetação são modelos matemáticos aplicados a imagem com o propósito de se explorar as propriedades espectrais da vegetação. Especialmente nas regiões do vermelho e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético (WIEGAND et al., 1991). Encontram-se associados a parâmetros biofísicos da vegetação, como a biomassa, o índice de área foliar, a atividade fotossintética, a porcentagem de cobertura vegetal e a porcentagem de cobertura do solo (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

O índice EVI (Enhanced Vegetation Index) foi desenvolvido por Huete et al. (1997) com o objetivo de melhorar a capacidade de detecção em regiões com maiores densidades de biomassa, e para reduzir a influência da resposta espectral do *background* de solo e do espalhamento atmosférico no início do visível sobre a resposta do dossel. O EVI faz uso da banda azul para correção da banda vermelha quanto ao espalhamento atmosférico por aerossóis.

Pensando em melhorar a sensibilidade e linearidade a regiões de alta biomassa, e proporcionar a capacidade da geração do índice EVI por sensores que não possuem a banda do azul, como ASTER e AVHRR, Jiang et. al. (2008) desenvolveram o EVI2. O novo índice pode ser usado para obter melhores observações da superfície, informações adicionais sobre as propriedades biofísicas da vegetação, tendo a finalidade de reduzir o ruído e as incertezas associadas à alta variabilidade dos aerossóis atmosféricos.

A partir do resultado obtido por meio da aplicação dos índices nas imagens corrigidas pelos métodos explicitados, foi definido então um transecto (Figura 2) que abrangeu diferentes alvos da área de estudo (palhada, solo exposto e vegetação), permitindo assim a realização de uma análise mais precisa da variação do comportamento do EVI e do EVI2 em função de cada método de correção atmosférica na imagem AVIRIS.

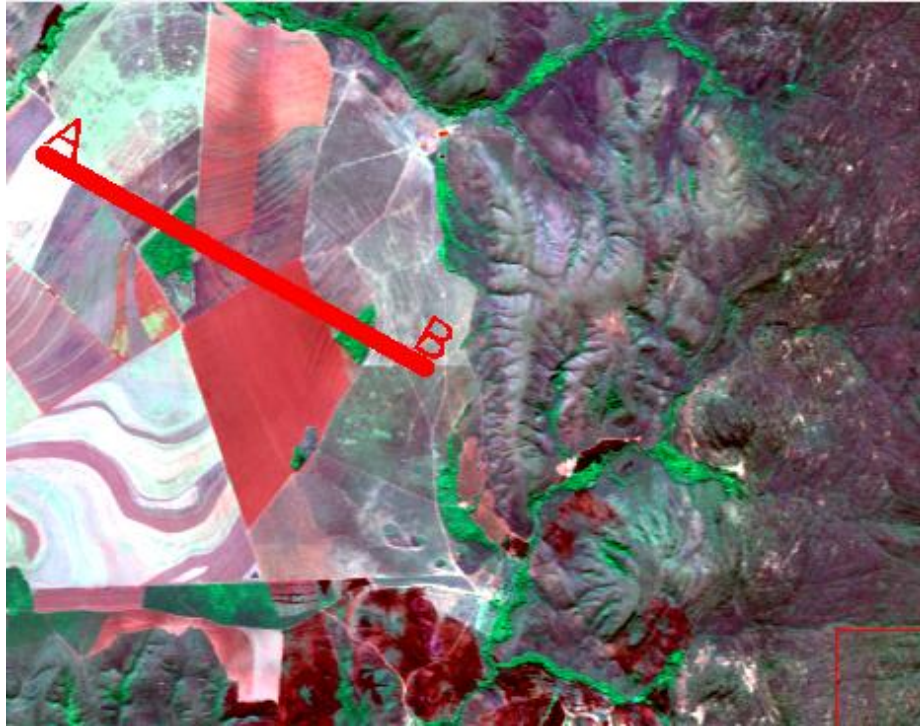


Figura 2. Representação do transecto em alvos distintos na imagem AVIRIS (R30 G60 B90) correspondente a área de estudo.

Posteriormente os dados do EVI e do EVI2 foram analisados estatisticamente por meio de regressões lineares, nas quais foram gerados coeficientes de determinação para melhor explicar a relação entre os métodos de correção atmosférica, tendo como referência o método GREEN (variável independente).

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos por meio do transecto permitiram analisar os dados e os índices em questão. O EVI e o EVI2 apresentaram dados com variações de forma superestimada nas regiões que apresentam uma vegetação densa, no intervalo dos pixels de aproximadamente 60 a 77 e 153 a 165, em todos os métodos de correção atmosférica aplicados, como é observado na Figura 3 e Figura 4. Essas regiões apresentam maior densidade de biomassa e atividade fotossintética mais expressiva, o que atesta a aplicabilidade do índice para a imagem AVIRIS. Albuquerque (2010) também observou variações acima de 1 no índice EVI2 em imagens com correções atmosféricas Atcor-2 e Atcor-3 (Atmospheric and Topographic Correction for Satellite Imagery).

Para os alvos palhada e solo exposto, observou-se valores muito mais baixos, tanto para o EVI como para o EVI2 em todos os métodos de correção atmosférica. No caso do solo exposto, os valores são quase nulos, justamente devido a ausência de vegetação, de onde infere-se ausência de biomassa e, conseqüentemente, de atividade fotossintética. Observando o comportamento dos dois índices, verifica-se que o EVI2 apresentou valores mais baixos para a vegetação ao se comparar com o EVI. Isso pode estar relacionado ao fato de este ser um índice melhorado que anula a utilização da banda espectral na faixa do azul, minimizando, assim, distorções causadas pela atmosfera.

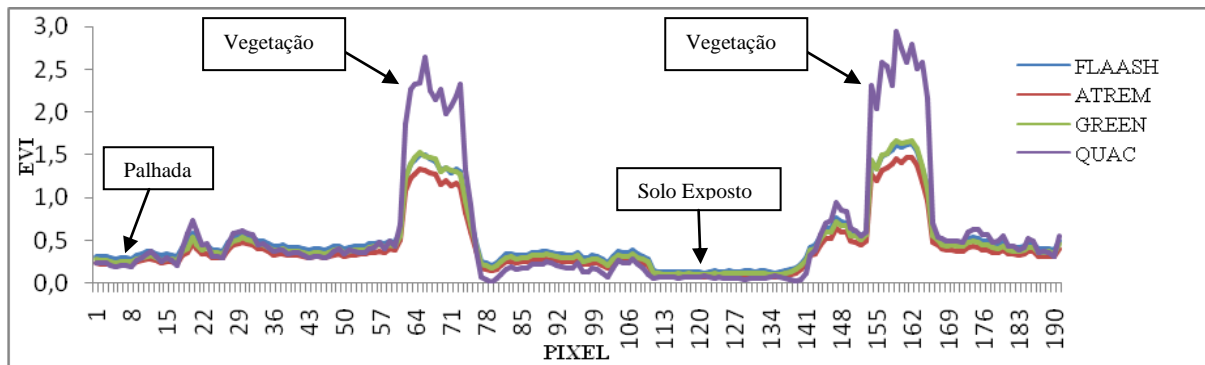


Figura 3. Valores do índice EVI para os diferentes métodos de correção atmosférica de acordo com o transecto aplicado na imagem AVIRIS.

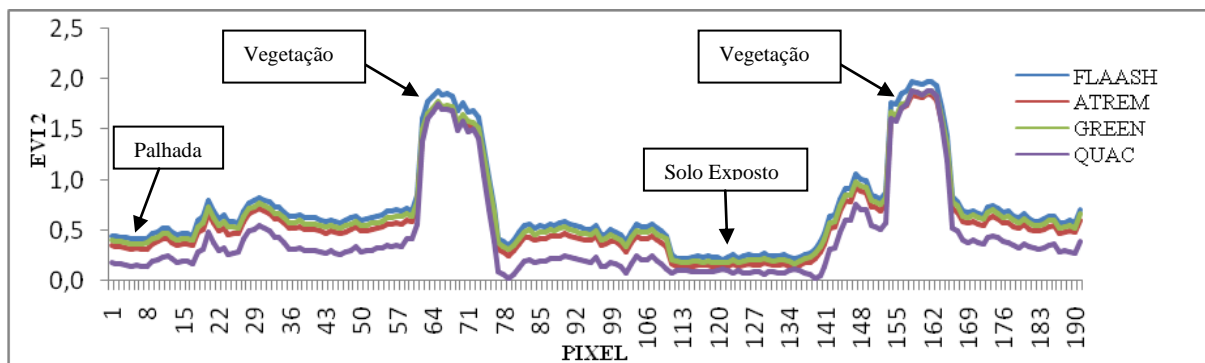


Figura 4. Valores do índice EVI2 para os diferentes métodos de correção atmosférica de acordo com o transecto aplicado na imagem AVIRIS.

Ao se fazer um comparativo entre os diferentes métodos de correção atmosférica para o índice EVI, verifica-se que o QUAC apresenta valores mais superestimados na identificação da vegetação, esse comportamento pode estar relacionado com o fato do QUAC ser uma correção atmosférica melhor aplicada em regiões temperadas. Já para o EVI2, todos os métodos apresentaram um comportamento bastante similar ao longo de todo o transecto, tendo o FLAASH apresentado valores sutilmente maiores.

A região de palhada apresentou valores mais elevados em relação à área de solo exposto. Isso vai de acordo com o estudo de Baptista (1998), o qual verificou que para a mesma área, nessa época do ano os terrenos ainda apresentavam uma cobertura de restos da cultura anterior, o que explica os maiores valores de EVI e EVI2. Segundo Sims et al. (2008) e Sims et al. (2006b) o índice EVI no alvo solo exposto produz um valor de 0,08-0,10, valores estes que também foram observados para o alvo na área de estudo em questão.

Para o índice EVI2 houve maiores variações entre os métodos de correção atmosférica ao longo do transecto em comparação com o EVI, no qual apenas o QUAC se apresentou superestimado. Houve maiores valores de EVI2 na região de vegetação densa, e também na região de solos com presença de vegetação de pequeno porte, atestando novamente a aplicabilidade do índice. O método QUAC apresentou valores inferiores aos demais métodos em todos os alvos observados, apenas no alvo vegetação densa o mesmo acompanhou o comportamento dos demais métodos de correção.

A regressão linear aplicada nos índices EVI (Figura 5) e EVI2 (Figura 6) para os diferentes métodos de correção atmosférica, tendo como referência o método GREEN (variável independente), teve como resultado uma alta relação em todos os métodos, com os coeficientes de determinação (R^2) próximos de 1.

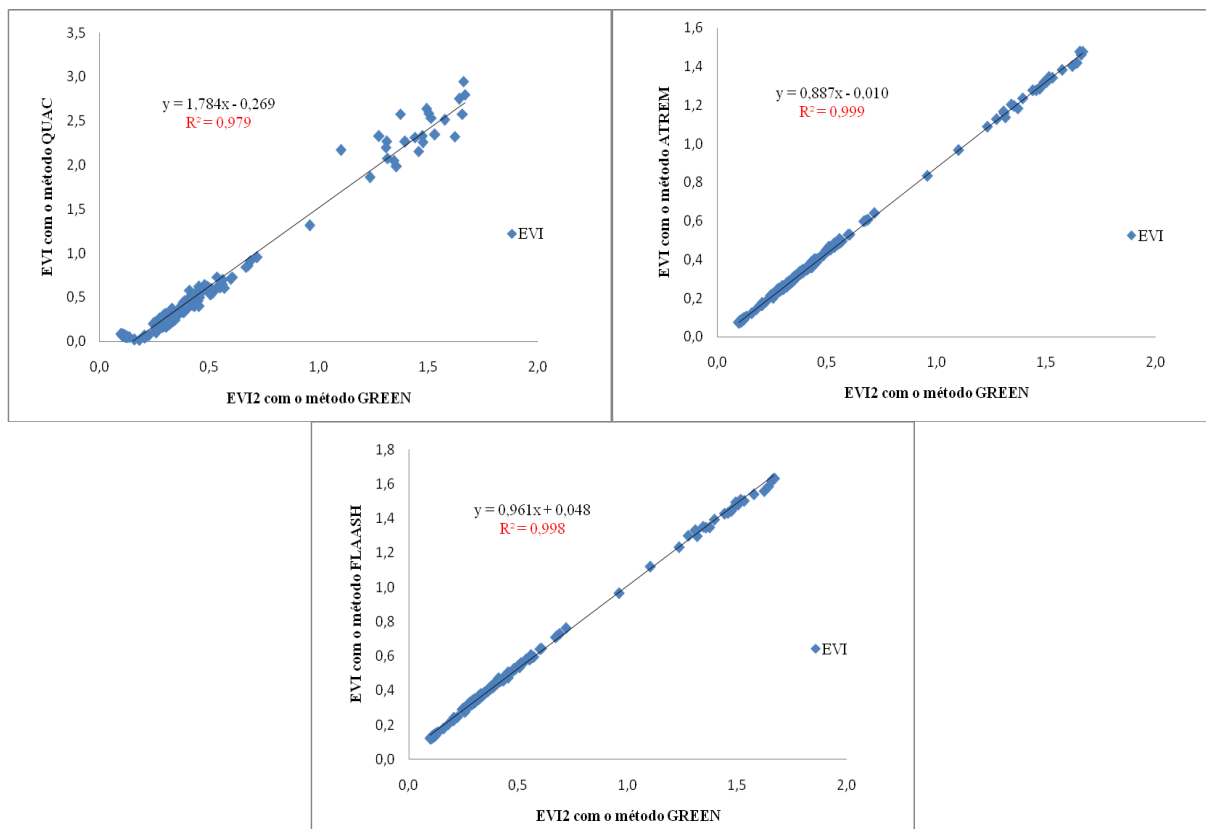


Figura 5. Gráficos demonstrando as regressões lineares entre os diferentes métodos de correção atmosférica para o índice EVI.

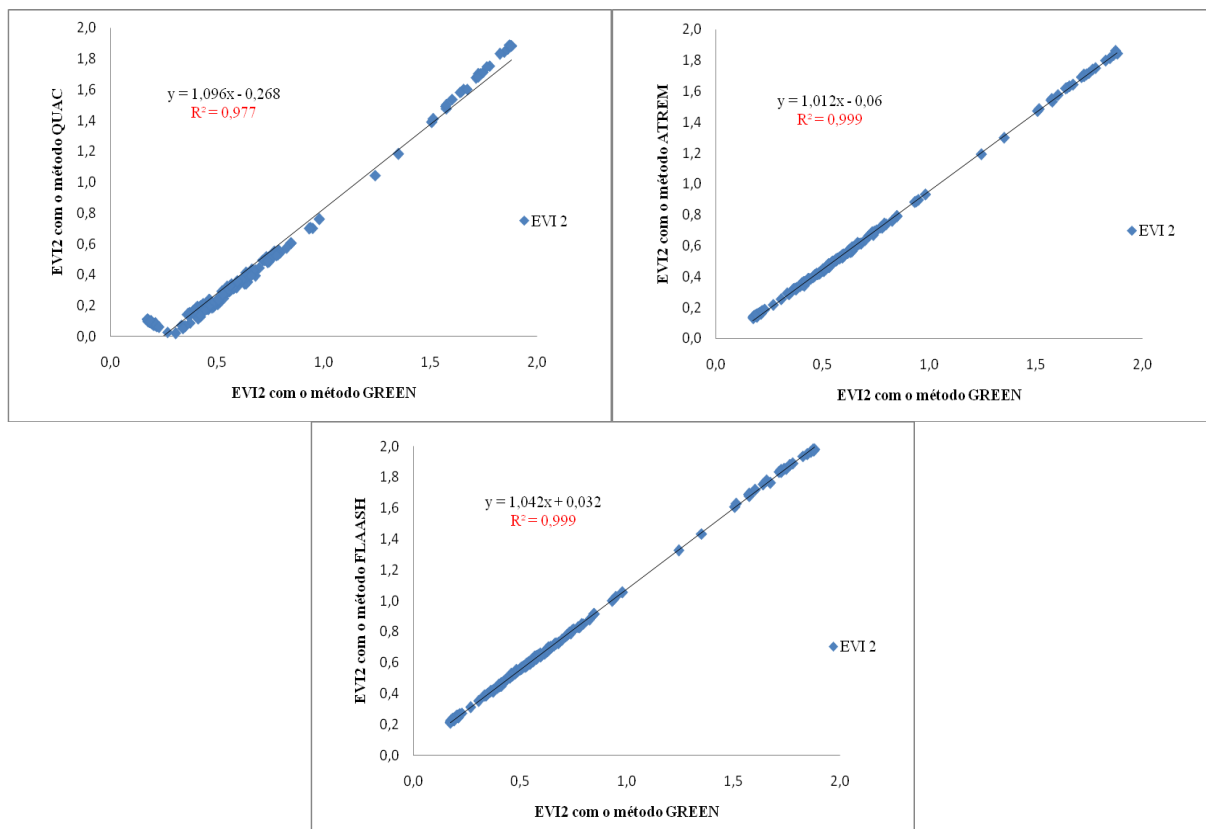


Figura 6. Gráficos demonstrando as regressões lineares entre os diferentes métodos de correção atmosférica para o índice EVI2.

Os diferentes métodos possuem valores de EVI e EVI2 muito relacionados, possibilitando a utilização de qualquer um dos métodos para a correção atmosférica da imagem AVIRIS. Porém, o método com menor coeficiente de determinação foi o método QUAC, com valores de R^2 de 0,979 e 0,977, para os índices EVI e EVI2, respectivamente. Também é possível observar para esse mesmo método uma dispersão dos dados no início da reta, confirmando sua menor eficiência em regiões tropicais.

Carvalho Júnior et al. (2002) concluíram que o método GREEN obteve melhor resposta para a imagem do sensor AVIRIS em comparação com o método ATREM. Isso corrobora com o estudo realizado neste trabalho, uma vez que o método GREEN foi adotado como referência para as comparações e tendo em vista ainda que o ATREM apresentou maiores coeficientes tanto para o EVI como para o EVI2.

Por sua vez, Kruse (2004) observou que os métodos FLAASH e ATREM apresentam similaridades nos espectros para o sensor AVIRIS, o que também foi observado nesse estudo para ambos os índices analisados. Por fim, Baptista et al. (1998) aplicou o índice RCGb (relação Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) sobre a mesma imagem desse presente trabalho, corrigidas com os métodos GREEN e ATREM, obteve resultados altamente correlacionáveis. Ou seja, os resultados obtidos nesse estudo estão de acordo com a literatura.

4. Conclusões

Os índices EVI e EVI2 apresentaram resultados satisfatórios para a observação de cobertura vegetal da área por meio de dados do sensor AVIRIS, podendo ser considerado índices eficientes para esse sensor. Os mesmos apresentaram dados com variações acima de 1 de forma superestimada nas regiões que apresentam uma vegetação densa.

O índice EVI2 apresentou valores mais baixos para a vegetação ao se comparar com o EVI. Isso pode estar relacionado ao fato de este ser um índice melhorado, minimizando as distorções causadas pela atmosfera.

A regressão linear aplicada nos índices para os diferentes métodos de correção atmosférica teve como resultado uma alta relação em todos os métodos, com o coeficiente de determinação muito alto. Possibilitando a utilização de qualquer um dos métodos para a correção atmosférica da imagem AVIRIS.

Referências Bibliográficas

- Albuquerque, C. K. **Avaliação Qualitativa de Fragmentos Florestais com Dados de Sensoriamento Remoto como Subsídio à Formação de Corredores Ecológicos na APA São João**. 2010. 223 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.
- Antunes, M.A.H.; Debiasi, P.; Costa, A.R. da; Gleriani, J. M. Correção Atmosférica de Imagens Alos/Avnir-2 Utilizando o Modelo 6S. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 64/4, p. 531-539, 2012.
- Baptista, G.M.M.; Martins, E.S.; Madeira Netto, J.S.; Carvalho Jr., O.A.; Meneses, P.R. Use of AVIRIS Data for Mineralogical Mapping in Tropical Soils, in the District of São João D'Aliança, Goiás. In: NASA/JPL, **Seventh Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop**. JPL Publications, 97-21, v.1, p. 33-42. 1998.
- Baptista, G.M.M., Madeira Netto, J.S.; Meneses, P.R. Determinação da Relação Sílica-Alumina a partir dos Dados do Sensor AVIRIS (JPL/NASA), para Discretização Espacial do Grau de Intemperismo de Solos Tropicais. In: IX SBSR, Santos, Brasil, 11- 18 setembro 1998. Anais... São José dos Campos: INPE, p. 1345-1355, 1998. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.08.16.41/doc/6_73o.pdf> Acesso em: 25 out. 2016.
- Baptista, G.M.M. Processamento de dados hiperespectrais. In: Meneses, P.M.; Almeida, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, DF. Universidade de Brasília. Portal CNPq. 2012. p.221-238.
- Baret, F., & Jacquemoud, S. Modeling canopy spectral properties to retrieve biophysical and biochemical characteristics. In J. Hill, & J. Megier (Eds.), **Imaging spectrometry—a tool for environmental observations**. p. 145-167. Dordrecht, The etherlands: Kluwer. 1994.
- Black, M.; Riley, T.R.; Ferrier, G.; Fleming, A.H.; Fretwell, P.T. Automated lithological mapping using airborne hyperspectral thermal infrared data: A case study from Anchorage Island, Antarctica. **Remote Sensing of Environment**. v. 176, p. 225–241, 2016.
- Blackburn, G.A. Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf canopy scales: an evaluation of some hyperspectral approaches. **Remote Sensing Reviews**. v. 66, p. 273-285, 1998.

- Carvalho Júnior, O.A.; Latorre, M.; Dias, L.A.V.; Carvalho, A.P.F. de; Guimarães, R.F.; Meneses, P.R. Comparação dos métodos GREEN e ATREM para correção atmosférica de imagens hiperespectrais AVIRIS. **Espaço & Geografia**. v. 5, nº 1, 179-197, 2002.
- Dalponte, M.; Ørka, H.O.; Ene, L.T.; Gobakken, T.; Næsset, E. Tree crown delineation and tree species classification in boreal forests using hyperspectral and ALS data. **Remote Sensing of Environment**. v. 140, p. 306–317, 2014.
- ENVI. Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User's Guide. ESRI, 2009. Disponível em: <http://www.harrisgeospatial.com/portals/0/pdfs/envi/flaash_module.pdf>. Acesso em: 25 out. 2016.
- Galvão, L.S.; Formaggio, A.R.; Tisot, D.A. Discrimination of sugarcane varieties in Southeastern Brazil with EO-1 Hyperion data. **Remote Sensing of Environment**. v. 94, p. 523–534, 2005.
- Green, R.O.; Conel, J.E.; Margolis, J.S.; Brugge, C.J.; Hoover, G.L. An Inversion Algorithm for Retrieval of Atmospheric and Leaf Water Absorption from AVIRIS Radiance with Compensation for Atmospheric Scattering, Proceedings of the Third Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS). **JPL Publications**. 91-28, p. 51-61. 1991.
- HUETE, A. R. et al. A comparison of vegetation indexes over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440-45. 1997.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades, Goiás, São João D'Aliança. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=522000&search=goias|sao-joao-d'alianca|infograficos:-informacoes-completas>> Acesso em: 27 out. 2016.
- Jensen, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução de José Carlos N Epiphânio; Antonio R Formaggio, et al. tradução da 2ª. ed. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.
- Jiang, Z.; Huete, A.R.; Didan, K.; Miura, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**. v.112, p. 3833–3845, 2008.
- Kalacska, M.; Lalonde, M.; Moore, T.R. Estimation of foliar chlorophyll and nitrogen content in an ombrotrophic bog from hyperspectral data: Scaling from leaf to image. **Remote Sensing of Environment**. v. 169, p. 270–279, 2015.
- Kruse, F.A. Comparison of ATREM, ACORN, and FLAASH Atmospheric Corrections Using Low-Altitude AVIRIS Data of Boulder, Colorado. Proceedings of 13th JPL Airborne Geoscience Workshop, Pasadena, CA, USA, 31 March–2 April 2004. Disponível em: <ftp://popo.jpl.nasa.gov/pub/docs/workshops/04_docs/Kruse-JPL2004_ATM_Compare.pdf>. Acesso em: 24 out. 2016.
- Kruse, F.A.; Lefkoff, A. B.; Dietz, J. B. Expert system-based mineral mapping in Northern Death Valley, California/Nevada, using the airborne/infrared imaging spectrometer (AVIRIS). **Remote Sensing of Environment**. New York, v. 44, p. 309-336, 1993.
- Meneses, P. R.; Almeida, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Parêntese, 2012. 266p.
- Ouerghemmi, W.; Gomez, C.; Naceur, S.; Lagacherie, P. Semi-blind source separation for the estimation of the clay content over semi-vegetated areas using VNIR/SWIR hyperspectral airborne data. **Remote Sensing of Environment**. v. 181, p. 251–263, 2016.
- Sims, D.A.; Rahman, A.F.; Cordova, V.D.; El-Masri, B.Z.; Baldocchi, D.D.; Flanagan, L.B.; Goldstein, A.H.; Hollinger, D.Y.; D.Y.; Misson, L.; Monson, R.K.; Oechel, W.C.; Schmid, H.P.; Wofsy, S.C.; Xu L. On the use of MODIS EVI to assess gross primary productivity of North American ecosystems. **Journal of Geophysical Research**. v. 111, p. G04015, 2006.
- Sims, D.A.; Rahman, A.F.; Cordova, V.D.; El-Masri, B.Z.; Baldocchi, D.D.; Bolstad, P.V.; Flanagan, L.B.; Goldstein, A.H.; Hollinger, D.Y.; Misson, L.; Monson, R.K.; Oechel, W.C.; Schmid, H.P.; Wofsy, S.C.; Xu L. A new model of gross primary productivity for North American ecosystems based solely on the enhanced vegetation index and land surface temperature from MODIS. **Remote Sensing of Environment**. 112 (4), p. 1633-1646, 2008.
- Ponzoni, F.J.; Shimabukuro, Y.E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. Editora Parêntese, São José dos Campos, p. 135, 2007.
- Tachiiri, K. Calculating NDVI for NOAA/AVHRR data after atmospheric correction for extensive images using 6S code: a case study in the Marsabit district, Kenya. **ISPRS J. Photogramm. Remote Sens**. 59 (3), p. 103–114, 2005.
- Vivaldi, D.D. **Avaliação dos processamentos de correção atmosférica e de crosstalk em dados ASTER para identificação de relação mineralógica Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) em solos tropicais**. 2013. xii, 142 f., il. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- Wang, Y.; Buermann, W.; Stenberg, P.; Smolander H.; Häme, T.; Tian, Y.; Hu, J.; Knyazikhin, Y.; Myneni, R.B. A new parameterization of canopy spectral response to incident solar radiation: case study with hyperspectral data from pine dominant forest. **Remote Sensing of Environment**. v. 85, Issue 3, p. 304–315. 2003.
- Wiegand, C.L.; Richardson, A.J.; Escobar, D.E. Vegetation indices in crops assessment. **Remote Sensing of Environment**. v.35, p.105-119, 1991.