

Análise da influência de métodos correção atmosférica e de determinação de reflectância TOA na aplicação do índice RCGb em solos tropicais por meio dos dados SWIR do sensor AVIRIS

Raúl Roberto Poppiel¹
Gustavo Macedo de Melo Baptista²

¹ FAV/UnB – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, CEP 70910-970, Brasília, DF, Brasil
raulpoppiel@gmail.com

² IG/UnB – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, CEP 70910-900, Brasília, DF, Brasil
gmbaptista@unb.br

Abstract. Available AVIRIS hyperspectral data are in radiance and to comparison with laboratory data, the atmospheric correction is necessary. The aim of this paper was to analyze the influence of atmospheric corrections methods and conversion to TOA reflectance in the determination of the spectral index RCGb by means SWIR data of AVIRIS sensor, in Sao João D'Aliança, Goiás State, Brazil. Was applied five different methods – Green, FLAASH, QUAC, IARR and Flat Field – and was applied the RCGb index to reflectance images and radiance. The RCGb index values of the six images we compared by Pearson correlation coefficient. Results showed high correlation between methods, with variations of 0,045. However, the best performance methods were QUAC and Green, with spatial distribution of RCGb index values closer to reality. The Flat Field method showed the worst performance, with lowest proportionality, underestimating levels of gibbsite in relation to kaolinite, being a method not recommended to determination of the RCGb index in AVIRIS images.

Palavras-chave: imaging spectroscopy, AVIRIS, kaolinite, gibbsite, espectroscopia de imageamento, AVIRIS, caulinita, gibbsita.

1. Introdução

Dados de Sensoriamento Remoto Hiperespectral ou Espectroscopia de Imageamento permitem extrair de pixels, representando a ocorrência de diferentes tipos de alvos na cena, um espectro de reflectância em um nível de resolução espectral mais próximo do existente em condições de laboratório (Green et al., 1998). Assim, quanto maior o número de bandas de um sensor, melhor é a representação de feições de absorção espectral que podem ser usadas para identificação de materiais na cena.

A espectroscopia de imageamento permite determinar a presença de minerais espectralmente dominantes nos espectros de solos, representando uma poderosa ferramenta alternativa aos métodos usuais (Baptista et al., 2011). Técnicas de processamento digital como a razão de bandas ou índices mais complexos permitem quantificar a ocorrência de determinados minerais (Meneses e Almeida, 2012).

Um dos principais sensores hiperespectrais em operação é o *Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer* (AVIRIS) desenvolvido em 1983 pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), tornando-se operativo em 1989. O sensor voa a bordo da aeronave ER-2 da NASA, que foi trazido para o Brasil em 1995 na missão SCAR-B (*Smoke, Clouds and Radiation – Brazil*) para o estudo dos constituintes da atmosfera (Kaufman et al., 1998). O mesmo possui quatro espectrômetros com os seguintes intervalos nominais: A (0,4 a 0,7 μm), B (0,65 a 1,25 μm), C (1,2 a 1,82 μm) e D (1,78 a 2,40 μm). O AVIRIS gera uma imagem com resolução espacial de 20 metros e espectral de aproximadamente 10 nanômetros (nm) e possui 224 bandas.

Os dados obtidos pelo sensor AVIRIS são disponibilizados em valores de radiância ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$), sendo desejável, para a sua comparação com dados espectroscópicos obtidos em laboratório, a normalização dos dados. Para isso, pode-se reduzir os dados

AVIRIS para reflectância aparente ou de superfície. Isso pode ser feito por meio de modelos de transferência radiativa ou por métodos empíricos. Outra possibilidade é converter dados de radiância para reflectância no topo da atmosfera, ou TOA (*Top Of Atmosphere*). Por outra parte, em função dos dados AVIRIS terem sido adquiridos a uma altura de voo de 20 km sobre território brasileiro, existe uma atmosfera interposta entre os alvos e o sensor, gerando espalhamento e absorções da radiação eletromagnética, com efeito sobre a energia refletida.

Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência dos métodos de correção atmosférica e de conversão para reflectância TOA na determinação do índice espectral RCGb dos solos de ocorrência mediante os dados SWIR do sensor AVIRIS, em São João D'Aliança, no estado de Goiás, Brasil.

1.1 Área de estudo

A área selecionada para o estudo (Figura 1) possui solos provenientes da alteração de rochas metassedimentares ácidas do grupo Paranoá (Faria, 1995), representada por relevo plano, com declividade inferior a 3%, apresentando Latossolo Vermelho-Escuro de textura argilosa (Embrapa, 2013). A região da imagem em análise caracteriza-se geomorfologicamente como topo de encosta convexa com caimento NW-SE, onde nas porções mais conservadas e menos afetadas pela erosão, os solos devem apresentar menor evolução pedogenética, enquanto as áreas mais intemperizadas devem apresentar uma cobertura de solos mais alterada.

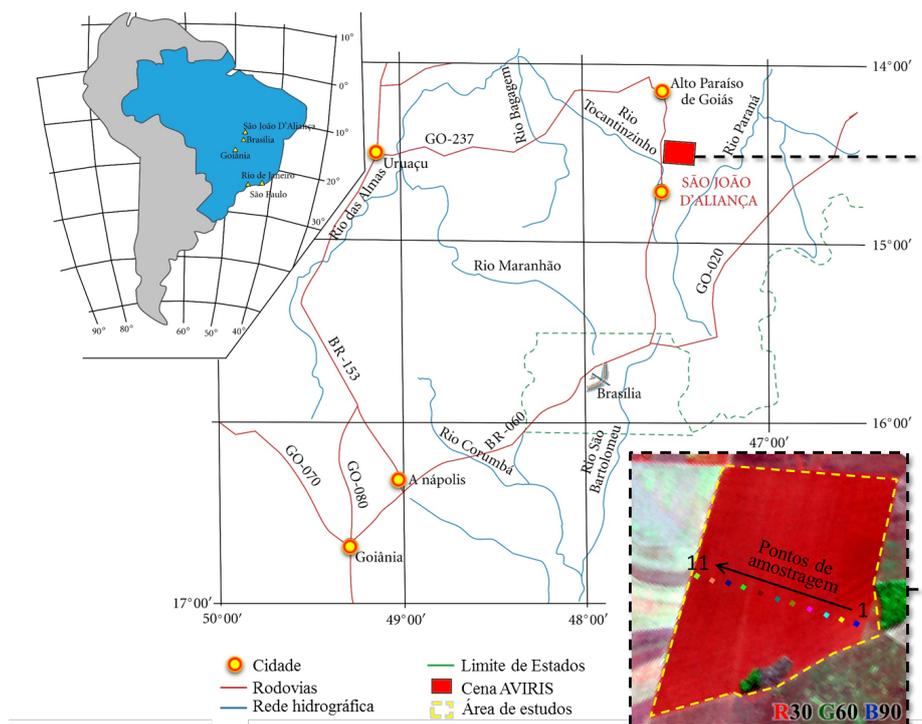


Figura 1. Localização da área de estudos com a identificação dos pontos de amostragem (coleta dos dados de RCGb nas imagens de reflectância e radiância).

2. Metodologia de Trabalho

Foi utilizada para o estudo uma imagem do sensor AVIRIS da missão SCAR-B (950816L2-03) adquirida dentro da estação seca (agosto de 1995) em 224 bandas (10 nm de largura) na faixa espectral de 0,4 a 2,5 μm , com resolução espacial de 20 x 20 m (1:50.000).

Os dados, originalmente fornecidos em valores de radiância, foram convertidos para valores de reflectância mediante cinco métodos diferentes. Utilizaram-se dois métodos baseados no modelo de transferência radiativa: o *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of*

Spectral Hypercubes (FLAASH) (Adler-Golden et al., 1999) e o método Green (Green et al., 1991). Também, foi empregado o método empírico QUAC (*QUick Atmospheric Correction*) (Bernstein et al., 2012), que ao contrário dos métodos baseados em modelos de transferência radiativa, ele é implementado a partir de parâmetros obtidos diretamente da cena, sem informações auxiliares. Para a determinação da reflectância TOA utilizaram-se os métodos *Flat Field* e o *Internal Average Relative Reflectance* (IARR) (Exelis VIS, 2016).

As imagens processadas pelos diferentes métodos, além da imagem de radiância sem correção, foram utilizadas na determinação da relação caulinita/caulinita+gibbsita dos solos da área de estudos. A imagem radiância representa o dado bruto, com as calibrações feitas no *Jet Propulsion Laboratory* (JPL/NASA), mas sem nenhum processamento de correção atmosférica e sem redução para reflectância de superfície.

Dentro desta cena, selecionou-se uma área da imagem de 87 por 137 pixels, representando uma mancha de solos. Nesta área, foi aplicado o índice espectral RCGb (Baptista, 2000) (Equação 1) por meio das bandas do sensor AVIRIS da região do *Short Wave Infrared* (SWIR) nas seis imagens. Após esse processamento, foi coletada a mesma sequência de 11 pontos (figura 1) utilizada por Baptista et al. (2011) para cada imagem, a fim de se obter os valores de RCGb de cada método. Em seguida foi testada a normalidade desses dados, pelo método de Shapiro-Wilk, e foram determinados os coeficientes de correlação de Pearson, com o intuito de comparar os diferentes métodos de determinação de reflectância com os valores obtidos da imagem radiância.

$$RCGb = \frac{((R_{2,127} + R_{2,226})/2 - (R_{2,176} + R_{2,196})/2)}{((R_{2,127} + R_{2,226})/2 - (R_{2,176} + R_{2,196})/2) + ((R_{2,226} + R_{2,286})/2 - R_{2,266})}, \quad (1)$$

Onde R é a radiância ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$) ou o valor de reflectância (%) em vários comprimentos de onda (μm) adaptados para as bandas do sensor AVIRIS.

Baptista et al. (2011) utilizaram a mesma cena AVIRIS (950816L2-03), na qual determinaram um coeficiente de regressão de 0,75 ($y = 0,64x + 0,22$), entre os valores RCGb calculados a partir das proporções de caulinita e gibbsita em amostras de solo – ATG (obtidos em topossequência com 13 pontos) e os valores de RCGb calculados a partir da imagem radiância do AVIRIS. Por este motivo, neste trabalho, a imagem radiância foi escolhida como referência.

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos da aplicação do índice RCGb sobre as imagens corrigidas com os métodos Green, FLAASH, QUAC, IARR e *Flat Field* e a imagem radiância estão apresentados na tabela 1. Estes dados se ajustaram à distribuição normal de Shapiro-Wilk.

Tabela 1. RCGb obtido da média de 4 pixels para cada amostra coletada das imagens AVIRIS

Amostra (imagem)	RCGb					
	Radiância	Green	FLAASH	QUAC	IARR	Flat Field
1	0.733	0.721	0.849	0.730	0.872	1.040
2	0.776	0.797	0.939	0.826	0.955	1.125
3	0.786	0.826	1.004	0.869	1.024	1.247
4	0.776	0.799	0.964	0.837	0.979	1.173
5	0.761	0.778	0.901	0.796	0.927	1.094
6	0.734	0.721	0.861	0.739	0.893	1.080
7	0.711	0.683	0.790	0.682	0.805	0.942
8	0.690	0.636	0.749	0.626	0.792	0.965
9	0.654	0.567	0.668	0.551	0.707	0.851
10	0.642	0.549	0.646	0.506	0.706	0.883
11	0.638	0.543	0.628	0.506	0.673	0.815

A utilização da matriz de correlação de Pearson (Tabela 2), gerada com valores de 44 pixels para cada um dos métodos, mostra que os resultados obtidos na tabela 1 são correlacionáveis. A maior correlação entre os dados de radiância e os algoritmos de correção atmosférica foi para o método QUAC ($r=0,997$), seguido pelo Green ($r=0,996$), FLAASH ($r=0,990$). Já os métodos de reflectância TOA apresentaram as menores correlações, sendo o IARR ($r=0,986$) e o método *Flat Field* ($r=0,952$).

Tabela 2. Matriz de Correlação de Pearson

	Radiância	Green	FLAASH	QUAC	IARR	Flat Field
Radiância	1					
Green	0.996	1				
FLAASH	0.990	0.991	1			
QUAC	0.997	0.997	0.992	1		
IARR	0.986	0.985	0.995	0.987	1	
Flat Field	0.952	0.950	0.976	0.952	0.989	1

Número de observações: 44

As sequências de valores de RCGb obtidas (44 pixels) para cada um dos métodos pode ser visualizado por meio da figura 2. Observa-se que há uma tendência de aumento do valor da relação caulinita/(caulinita+gibbsita) a partir do primeiro ponto e depois uma tendência de decréscimo em direção ao último. Destaca-se, ao longo de toda a curva, uma menor proporcionalidade nos valores (picos) do método *Flat Field*. Os métodos restantes apresentaram uma curva mais suave.

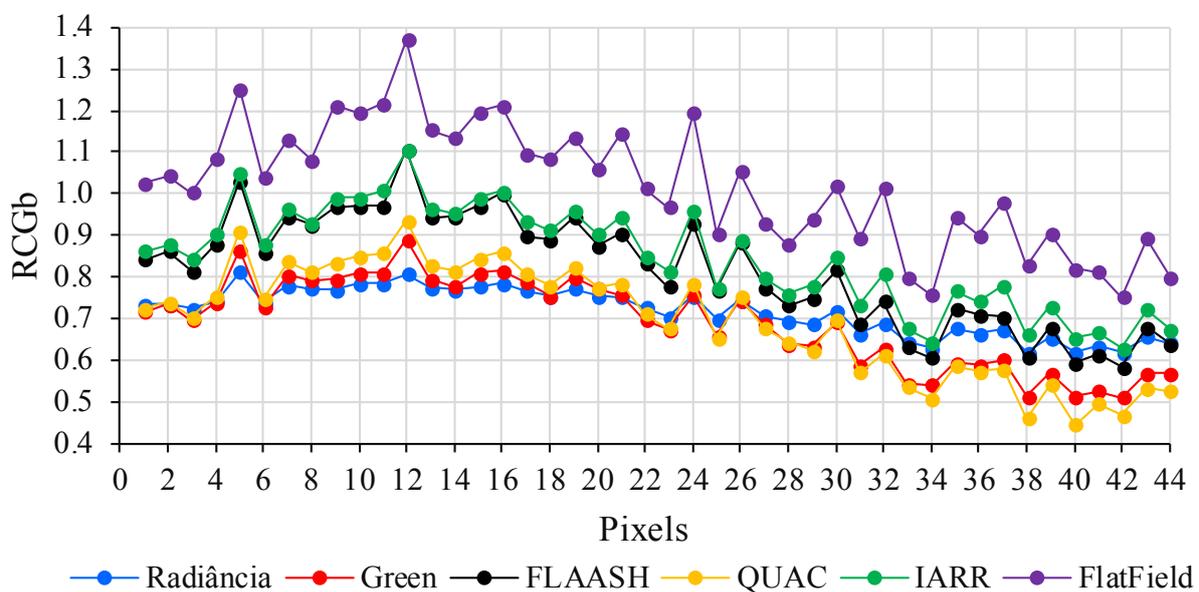


Figura 2. Sequência de valores de RCGb obtidos para as imagens corrigidas pelos métodos Green, FLAASH, QUAC, IARR e *Flat Field* e para a imagem radiância.

A variação nos valores de RCGb (Figura 2) e de correlação entre os métodos de determinação de reflectância e a imagem radiância (Tabela 2), tida como referência, podem ser associados e interpretados pelos gráficos da figura 3. Observa-se nos gráficos a, b e c da figura 3 que os métodos QUAC, Green e FLAASH são os que maior relação linear (1:1) apresentaram com os valores de RCGb obtidos da imagem radiância, o qual reforça a maior correlação ($r > 0,990$) destas três metodologias (Tabela 2).

Os gráficos d e e da figura 3 mostraram uma maior dispersão dos valores de RCGb obtidos das metodologias IARR e *Flat Field* quando comparados com os dados de radiância, o qual explica a menor correlação ($r < 0,986$) destas duas técnicas (Tabela 2).

Embora a curva da sequência de valores do método IARR (Figura 2) seja bem próxima do FLAASH, esses valores apresentam-se com maior dispersão (Figura 3d), o que reflete a sua menor correlação (Tabela 2).

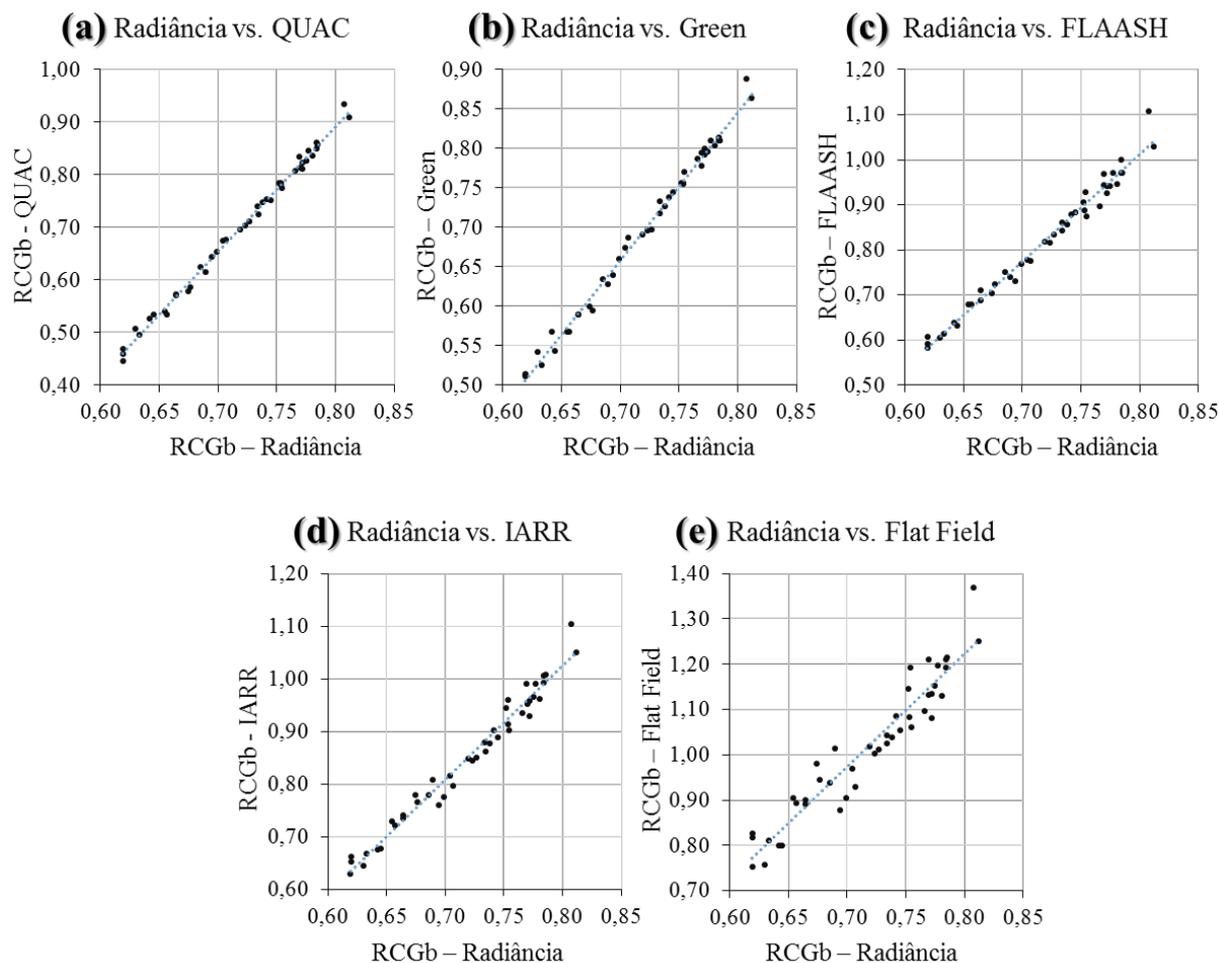


Figura 3. Gráficos de dispersão dos valores de RCGb coletados de 44 pixels nos 11 pontos de amostragem contrapondo os dados das imagens de (a) Radiância vs. QUAC, (b) Radiância vs. Green, (c) Radiância vs. FLAASH, (d) Radiância vs. IARR e (e) Radiância vs. Flat Field.

Assim, quanto maior o valor de RCGb, maior a presença de sílica no solo (representada pela caulinita). Por outro lado, valores mais baixos de RCGb mostram uma tendência para maiores quantidades de gibbsita presente no solo.

Os espectros da figura 4 ilustram essas variações nas proporções de caulinita e de gibbsita para três amostras (1, 3 e 11) coletadas nas imagens, representativas das classes de RCGb. Observa-se que a feição de absorção da caulinita ($2,205 \mu\text{m}$) foi mantida para os cinco métodos utilizados. Já a feição da gibbsita ($2,265 \mu\text{m}$) mantém a sua proporcionalidade para os métodos QUAC e Green e, em menor medida, para o FLAASH e o IARR. A menor proporcionalidade da feição da gibbsita foi para o método *Flat Field*, o qual subestima os teores desse mineral e superestima os teores de caulinita (Figura 3), constituindo um método não recomendado na determinação do índice RCGb em imagens AVIRIS.

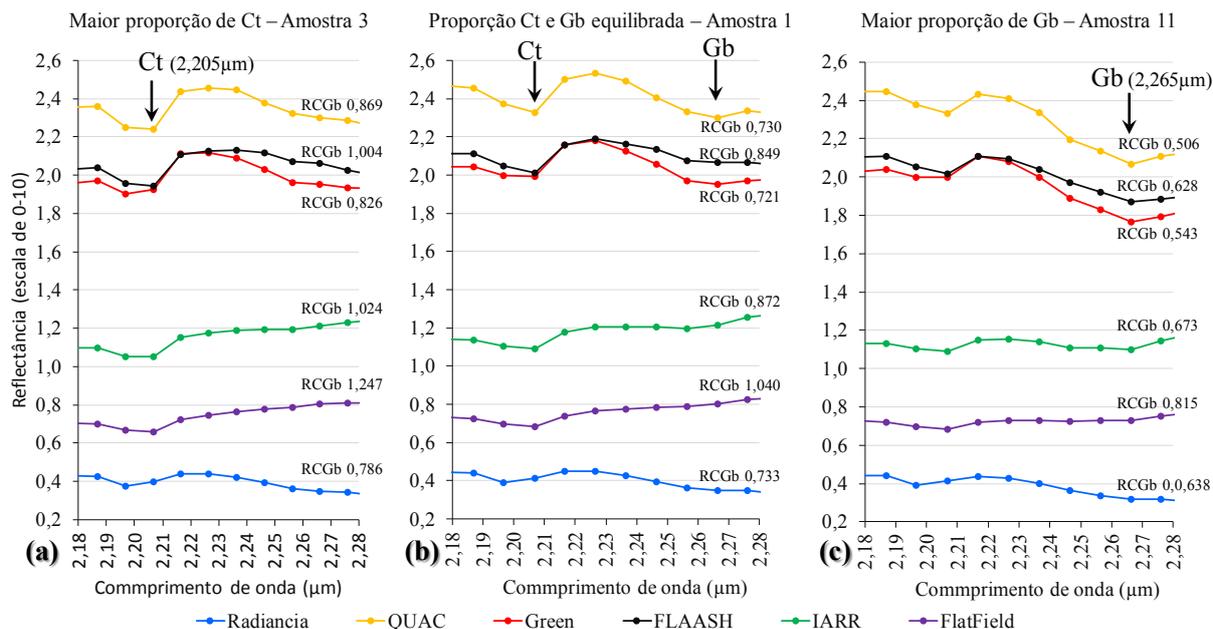


Figura 4. Espectros de três amostras representativas de classes de RCGb descrevendo áreas com (a) maior proporção de caulinita (Ct), (b) proporção de caulinita e gibbsita (Gb) equilibrada e (c) regiões com maior proporção de gibbsita.

Para espacializar a relação caulinita/(caulinita+gibbsita) os valores de RCGb obtidos das imagens com correção atmosférica, com reflectância TOA e da imagem de radiância foram concatenados e reagrupados em classes de valores de RCGb (Figura 5).

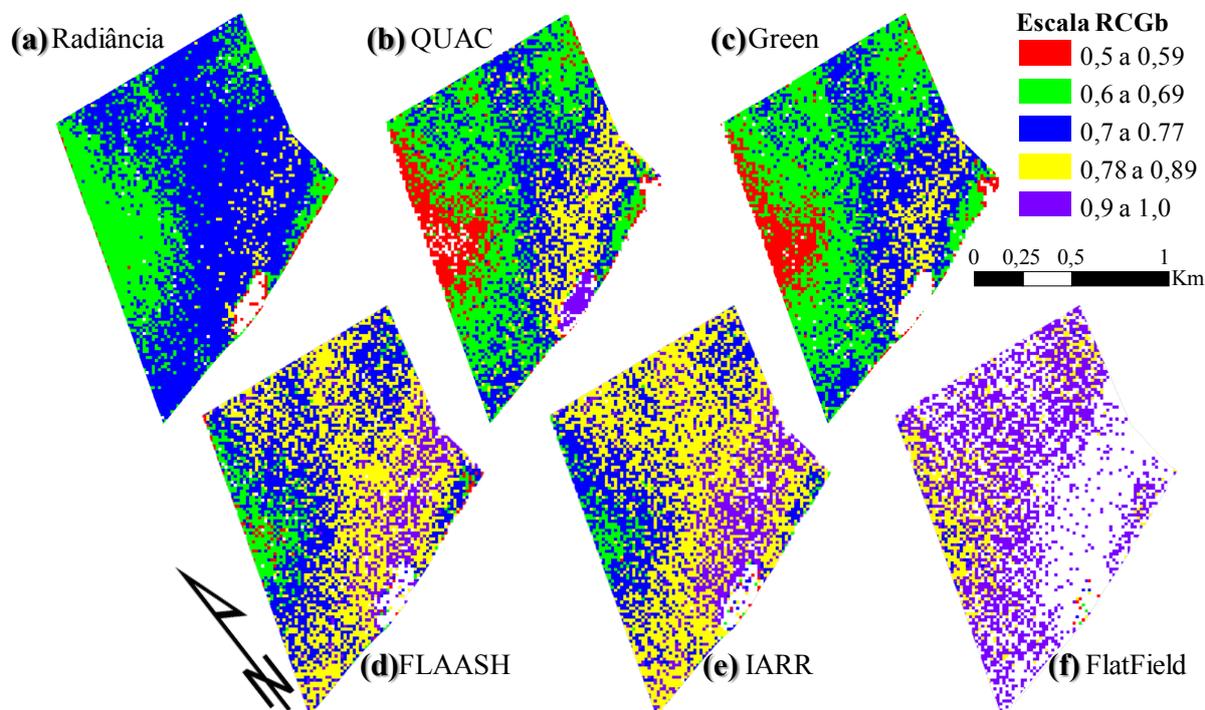


Figura 5. Resultado da concatenação e reagrupamento de valores de RCGb obtidas da imagem de (a) radiância, sem correção atmosférica, e das imagens corrigidas pelos métodos (b) QUAC, (c) Green, (d) FLAASH, (e) IARR e (f) Flat Field.

As classes $0,5 < RCGb < 0,59$ e $0,6 < RCGb < 0,69$ (Figura 5) são representadas pelos espectros da figura 3c, onde a maior proporção de gibbsita é evidenciada pela intensidade de sua banda de absorção em $2,265 \mu\text{m}$. Os espectros (Figura 4b) que representam a classe $0,0,7 < RCGb < 0,77$ (Figura 5) apresentam uma menor intensidade da banda de absorção da gibbsita, o que demonstra um certo equilíbrio entre as proporções deste mineral com a caulinita ($2,205 \mu\text{m}$). Finalmente, os espectros representantes das classes $0,78 < RCGb < 0,89$ e $0,9 < RCGb < 1,0$, mostrados na figura 3a, ilustram os solos que são essencialmente cauliniticos, uma vez que ausência da feição de gibbsita é observada neste intervalo. É importante ressaltar que a pesar da mudança na intensidade das curvas, no geral, as proporções das feições de absorção são mantidas.

Na figura 5, pode-se notar que existe uma variação significativa das áreas das classes de RCGb de um método para o outro. De acordo com os resultados obtidos por Baptista et al. (2011), as imagens corrigidas neste trabalho pelos métodos Green e QUAC são as que mais se aproximam da realidade Figura 5b e 5c), ou seja, mesmo sendo todos os solos cauliniticos, eles apresentam essa variação.

Baptista e Madeira Netto (2001), concluíram que os resultados do índice RCGb e valores de K_i , quantificados a partir de ATG, apresentam-se bem próximos, com $r=0,93$. Portanto, o índice RCGb é um bom estimador do grau de intemperismo desses solos, que pode ser utilizado em imagens do sensor AVIRIS, e assim, minimizar o tempo gasto na análise e no processo de reconhecimento e mapeamento de solos.

4. Conclusões

Os coeficientes de correlação foram muito próximos, com variação de 0,045. Porém, os métodos que mais conservaram a proporção da relação caulinita/caulinita+gibbsita foram o QUAC e o Green, com espacialização dos valores de RCGb mais próximos da realidade.

O método de reflectância TOA *Flat Field* mostrou o pior desempenho, com a menor proporcionalidade, subestimando os teores de gibbsita em relação à caulinita, constituindo um método não recomendado na determinação do índice RCGb em imagens AVIRIS.

Agradecimentos

À FAPDF pela bolsa de doutorado ao primeiro autor; à FAV/UnB pela oportunidade e ao IG/UnB pela liberação dos dados, bem como pelos processamentos.

Referências Bibliográficas

Adler-Golden, S. M.; Matthew, M. W.; Bernstein, L. S.; Levine, R. Y.; Berk, A.; Richtsmeier, S. C.; Acharya, P. K.; Anderson, G. P.; Felde, J. W.; Gardner, J. A.; Hoke, M. L.; Jeong, L. S.; Pukall, B.; Ratkowski, A. J.; Burke, H. K. Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4. **Imaging Spectrometry** V, v. 3753, n. July, p. 61–69, 1999. Disponível em: <<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=994756>>.

Baptista, G. M. M. **Mapeamento e Quantificação da Relação Mineralógica Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) de Solos Tropicais, por meio dos Dados do Sensor Hiperespectral AVIRIS (JPL/NASA)**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2000.

Baptista, G. M. M.; Corrêa, R. S.; Santos, P. F. Dos; Madeira Netto, J.; Meneses, P. R. Use of Imaging Spectroscopy for Mapping and Quantifying the Weathering Degree of Tropical Soils in Central Brazil. **Applied and Environmental Soil Science**, p. 7, 2011. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/aess/2011/641328/cta/>>.

Baptista, G. M. M.; Madeira Netto, J. S. RCGb Index: a tool for mapping the weathering degree of the tropical soils in Brazil. In: AVIRIS Earth Science and Applications Workshop, 2001, Pasadena, CA, USA. **Proceedings...** Jet Propulsion Laboratory (JPL) NASA, 2001.

Bernstein, L. S.; Jin, X.; Gregor, B.; Adler-Golden, S. M. Quick atmospheric correction code: algorithm description and recent upgrades. **Optical Engineering**, v. 51, n. 11, p. 111711–111719, 2012. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1117/1.OE.51.11.111719>>.

Embrapa – Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa-Cnps, 2013.

EXELIS VIS - Visual Information Solutions. **THOR Atmospheric Correction**. Disponível em: <<https://www.harrisgeospatial.com/docs/thoratmosphericcorrection.html#Flat>>. Acesso em: 30 out. 2016.

Faria, A. **Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança - Alto Paraíso de Goiás**. Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências, UnB, Brasília., 1995.

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. In: Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop, 3, 1991. **Proceedings...** JPL Publications, p. 51–61, 1991.

Green, R. O.; Eastwood, M. L.; Sarture, C. M.; Chrien, T. G.; Aronsson, M.; Chippendale, B. J.; Faust, J. A.; Pavri, B. E.; Chovit, C. J.; Solis, M.; Olah, M. R.; Williams, O. Imaging Spectroscopy and the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS). **Remote Sensing of Environment**, v. 65, n. 3, p. 227–248, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425798000649>>.

Kaufman, Y. J.; Hobbs, P. V.; Kirchhoff, V. W. J. H.; Artaxo, P.; Remer, L. A.; Holben, B. N.; King, M. D.; Ward, D. E.; Prins, E. M.; Longo, K. M.; Mattos, L. F.; Nobre, C. A.; Spinhirne, J. D.; Ji, Q.; Thompson, A. M.; Gleason, J. F.; Christopher, S. A.; Tsay, S. C. Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B) experiment. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 103, n. D24, p. 31783–31808, 1998. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/98JD02281>>. Acesso em: 29 out. 2016.

Meneses, P. R.; Almeida, T. Aritmética de Bandas. In: Meneses, P. R.; Almeida, T. (Org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília, DF: CNPq / UnB, 2012. p. 138–167.