

## **A INFLUÊNCIA DOS EFEITOS DA GEOMETRIA DE ILUMINAÇÃO NA ANÁLISE DE ALVOS DE SUPERFÍCIE TERRESTRE OBTIDOS A PARTIR DE DADOS AVIRIS**

MARCELO LOPES LATORRE<sup>1</sup>

ALBERTO VIEIRA DIAS<sup>2</sup>

YOSIO EDEMIR SHIMABUKURO<sup>3</sup>

OSMAR ABÍLIO DE CARVALHO JÚNIOR<sup>4</sup>

1. IEAv – Instituto de Estudos Avançados, Rodovia dos Tamoios  
Km 5,5, 12.228.890 São José dos Campos, SP, Brasil

2. UNIVAP - Universidade do Vale do Paraíba. Rua Shishima Hifumi, 2911,  
12244-000 São José dos Campos, SP, Brasil

3. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa postal 515, 12201-970 São José dos Campos, SP, Brasil

4. Departamento de Geografia da Universidade de Brasília – Campus  
Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF, Brasil

**Abstract:** : This work evaluates the target surface reflectance estimated from AVIRIS data, considering the illumination geometry effects, and atmospheric correction. The imagery used was acquired during the SCAR-B campaign over Cuiabá, MT, Brazil, on August 25, 1995. As targets it were used vegetation (riparian forest) and bare soil as a reference sample. The geometry analysis was obtained with same targets, on different days and time of the day, with the atmospheric correction applied to the local conditions. For atmospheric correction it was used the method developed by Green *et. al*, on 1993 for the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) sensor data. The preliminary results show that the geometry has a strong influence on the analysis of the target surface reflectance.

**Keywords:** AVIRIS, Atmospheric Correction, Geometry Illumination

### **1 Introdução**

O Sensoriamento remoto fundamenta-se na identificação e discriminação entre alvos, em que a radiância detectada por um sensor é a base do processo. O mecanismo de aquisição de dados seria o ideal se os conteúdos espectral e temporal de informação sempre permanecessem inalterados. Todavia, isto não ocorre, pois entre o sensor e a superfície há um meio extremamente dinâmico, a atmosfera, que interage com a radiação eletromagnética. Tal interação provoca alterações na propagação do fluxo de radiação proveniente de um alvo.

Como consequência desse processo de interação, a distribuição de radiância da superfície observada por um sensor é diferente da radiância intrínseca da superfície. Esse efeito tem mostrado que os dados obtidos através de sensores remotos são apenas aparentes, o que afeta diretamente as aplicações do sensoriamento remoto à Meteorologia e aos Recursos Naturais.

A reflectância espectral é um elemento do comportamento espectral de cada feição da superfície. Os fatores que influenciam a determinação da reflectância e, conseqüentemente, as características espectrais, são a geometria de aquisição dos dados, os parâmetros relativos ao alvo e os parâmetros atmosféricos tais como: umidade atmosférica, concentração e tipo de aerossóis, cobertura de nuvens, etc. (Bokwer *et al.*, 1985).

Desta forma, observa-se a importância do conhecimento das propriedades ópticas da atmosfera e do processo de interação da radiação eletromagnética com os seus constituintes, de modo a se criar ou utilizar os mais diversos métodos de correção atmosférica existentes e necessários à minimização destes efeitos atmosféricos.

Para tanto, este trabalho tem como objetivo geral aplicar um método de correção atmosférica, ressaltando a forte influência dos efeitos da geometria de iluminação em seus resultados finais, mostrando a importância de se tentar minimizar estes efeitos atmosféricos. Espectros de alvos de solo e de vegetação (mata ciliar), extraídos diretamente das imagens, são usados como referência para essa discussão. Dos diversos métodos de correção atmosférica existentes, utilizou-se para este trabalho o método desenvolvido por Green *et al.* (1993) para a correção atmosférica de imagens hiperespectrais, obtidas a partir do sensor aerotransportado “Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer” (AVIRIS).

## **2 Materiais e Métodos**

### **2.1 - Sensor AVIRIS**

O AVIRIS é a segunda geração de espectrômetros imageadores desenvolvido pelo JPL para uso em sensoriamento remoto. Tem como finalidade a utilização em várias áreas científicas, tais como botânica, geologia, hidrologia, oceanografia e ciência atmosférica. Seu projeto e construção foram iniciados em 1984 e completados em junho de 1987. Após sua calibração em laboratório, seu voo operacional deu-se em 25 de junho de 1987.

Este sensor foi projetado para tirar vantagens no diagnóstico das feições da absorção tipicamente estreitas, que ocorrem nos materiais da superfície terrestre. É capaz de propiciar imagens em 224 bandas espectrais contíguas de 10 nm de largura entre as regiões de 400 nm e 2450 nm (Wallace e Enmark, 1987).

### **2.2 Área de Estudo**

O sensor AVIRIS foi utilizado durante o experimento SCAR-B realizado no Brasil durante os meses de agosto a setembro, cujo objetivo era o estudo de partículas em suspensão no ar (aerossóis) (SCAR-B, 1996).

Durante este experimento foram obtidas imagens pelo sensor AVIRIS (equipado na aeronave ER-2) das seguintes regiões: Brasília (DF), Cuiabá (MT), Pantanal Mato-grossense (MS), Porto Nacional (GO), Alta Floresta (MT), Vilhena e Ji-Paraná (RO).

Neste trabalho foram usadas imagens relativas à região de Cuiabá (Fig. 1). A razão para esta escolha, deve-se ao fato desta ser a única região onde foi possível obter imagens sob três situações distintas de atmosfera e em dias diferentes, possibilitando desta maneira a verificação do efeitos da geometria de aquisição no processo de correção empregado.

A região de Cuiabá situa-se no Estado do Mato Grosso e é predominada pelo clima tropical chuvoso (quente e úmido). Esta região é caracterizada por duas estações distintas, uma seca e outra chuvosa. A primeira abrange normalmente um período mais longo, embora apresente alguns dias de chuva. O lapso de maio a setembro corresponde à época mais seca do ano. A temperatura média da região gira em torno dos 25°C (RADAMBRASIL, 1982).



Fig.1 – Área comum às imagens de Cuiabá, com os dois alvos selecionados para estudo e indicados pelos quadrados amarelo (solo) e marron (vegetação).

### 2.3 Método de Correção Atmosférica

Este método de correção atmosférica foi proposto por Green (1990), especificamente para as imagens hiperespectrais AVIRIS. Baseia-se no modelo MODTRAN 3, na calibração do sensor AVIRIS para radiância obtida em laboratório (Chrien *et al.* 1993, 1996) e em dados de calibração em voo (Green *et al.*, 1993a, 1996 e Green, 1995). Para o ano de 1995, período de aquisição da imagem de Cuiabá, os experimentos de calibração foram realizados na região de Ivanpah Playa, Califórnia.

Neste tipo de correção algumas condições são pré-estabelecidas:

1. não são considerados aspectos como o multi-espalhamento do terreno;
2. não são consideradas variações topográficas acentuadas;
3. albedo atmosférico deve ser negligenciado para altas condições de visibilidade;
4. supõe-se que as superfícies terrestres são Lambertianas;

5. a atmosfera é definida como horizontalmente homogênea.

O objetivo deste método é calcular a reflectância aparente na superfície do terreno, a partir dos dados de radiância total medidos pelo AVIRIS. Para este método, o valor de reflectância é calculado como uma função da radiância total, da irradiância solar no topo da atmosfera, da reflectância da atmosfera e da transmitância atmosférica nos dois sentidos (do sensor até a superfície e da superfície ao sensor) do caminho percorrido pela energia eletromagnética. Maiores informações do método empregado podem ser verificados em Green *et al.* (1993).

## 2.4 Metodologia

Esta metodologia foi composta da seguinte etapa. Com o intuito de verificar o comportamento do método empregado na correção de alvos idênticos, obtidos em diferentes condições atmosféricas e geometrias de iluminação, foram realizadas comparações entre os espectros corrigidos dos alvos citados das imagens de Cuiabá relativas aos dias 25/08 e 27/08 (com diferentes geometrias de iluminação); e das imagens relativas aos dias 25/08 e 07/09/95 (com semelhantes geometrias de iluminação). Com o intuito de realizar também, uma análise quantitativa, estas comparações relativas foram baseadas na estimativa do erro médio quadrático normalizado entre dois espectros de cada alvo selecionado, obtido da seguinte forma (Pitas e Venetsanopoulos, 1990):

$$emq = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{224} (\mathbf{r}cor_i - \mathbf{m}cor_i)^2}{\sum_{i=1}^{224} (\mathbf{r}cor_i)^2} \right\} * 100$$

onde,

$\mathbf{r}cor_i$  = Valor da reflectância de superfície da banda i do dia 25/08/95;

$\mathbf{m}cor_i$  = Valor da reflectância de superfície da banda i do dia 27/08/95 ou 07/08/95.

Para estes cálculos foi desenvolvido um algoritmo capaz de definir os dois espectros citados, mostrando suas diferenças em erros médios quadráticos normalizados (%). Todos estes procedimentos foram realizados para os dois alvos.

## 3 Resultados e Discussões

Nestas análises foram utilizadas as comparações entre as imagens do dia 25/08 e 27/08 e 25/08 e 07/09, nesta seqüência, utilizando os alvos de vegetação e de solo. A Tabela 1 indica os diferentes valores de ângulos azimutais e de elevação das imagens selecionadas.

**TABELA.1 - ÂNGULOS AZIMUTAIS E DE ELEVAÇÃO DAS IMAGENS SELECIONADAS**

	Imagem 25/08	Imagem 27/08	Imagem 07/09
Ângulo Azimutal	4.3°	58.9°	9.5°
Ângulo de Elevação	64°	45°	67°

A primeira análise foi realizada com o espectro da amostra de vegetação ciliar entre os dias 25/08-27/08 (Fig.2(a)) e 25/08-07/09 (Fig.2(b)), seguido das análises relativas aos espectros da amostra do solo (Fig.3(a) e 3(b)). Estas Figuras apresentam a análises compreendidas na faixa de 0,4 $\mu$ m a 2,5 $\mu$ m, com os seus respectivos erros médios quadráticos normalizados para a faixa considerada.

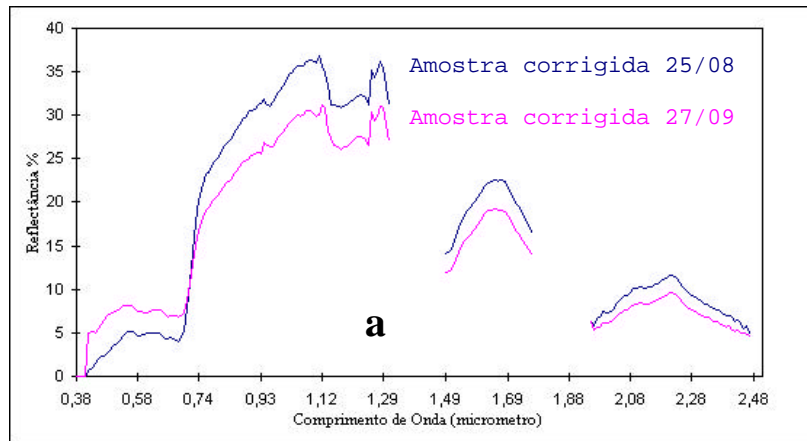
Analisando a Figura 2(a), pôde-se observar o seguinte: na região do visível, os espectros apresentam uma diferença (2,88%) que pode ser explicada possivelmente pela não consideração dos efeitos de anisotropia da superfície, bem como, o fato do método não corrigir de maneira satisfatória os efeitos do espalhamento atmosférico para ambientes saturados por aerossóis. Nesta faixa deve-se considerar também, os efeitos de retroespalhamento. Quanto menor o ângulo de elevação maior será este efeito, causado principalmente pelo aumento do sombreamento na vegetação. Na faixa do infravermelho, as diferenças são também, possivelmente explicadas pelos diferentes ângulos de elevação e azimutais, pelos efeitos de sombreamento (em menor proporção), vento, entre outros.

Observa-se ainda na faixa do infravermelho, como o ângulo de elevação (geometria de iluminação) influencia as respostas da vegetação. Como a imagem do dia 25/08 possui um ângulo de elevação (64°), maior do que o da imagem do dia 27/08 (45°), verifica-se na Figura 2(a) a inversão dos valores de reflectância.

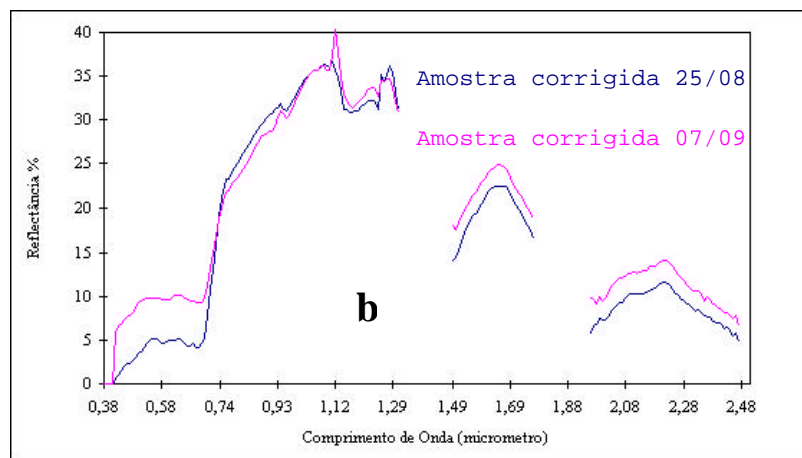
Nesta faixa onde a influência atmosférica é bem menor, os valores de reflectância do dia 25/08 ficam maiores do que os do dia 27/08, mostrando que, quanto maior o ângulo de elevação, menor o efeito de sombreamento e maior a reflectância do alvo. Esta diferença por sua vez, será menor se os ângulos de elevação forem próximos, como pode-se observar na Figura 2(b) (1,83%).

Considerando neste caso, que as diferenças dos ângulos de elevação são muito pequenas, a Figura 2(b) mostra quase que uma superposição dos espectros na faixa relativa ao infravermelho próximo. No entanto, a diferença continua na faixa do visível, explicada possivelmente pelo fato do método não corrigir de maneira satisfatória o efeito de espalhamento, mantendo com isto, a diferença entre eles.

As diferenças verificadas para os espectros de vegetação são também observadas na comparação dos espectros corrigidos para os efeitos atmosféricos do solo. Nas Figuras 3(a) (solo), onde as imagens foram coletadas com ângulo de elevação distintos (diferentes geometrias de iluminação), observa-se que as diferenças entre os espectros é de 2,19%. No entanto, pode-se observar que esta diferença é reduzida para as imagens com valores de ângulo de elevação similares. Neste caso a diferença cai para 0,35% (Fig. 3(b)).

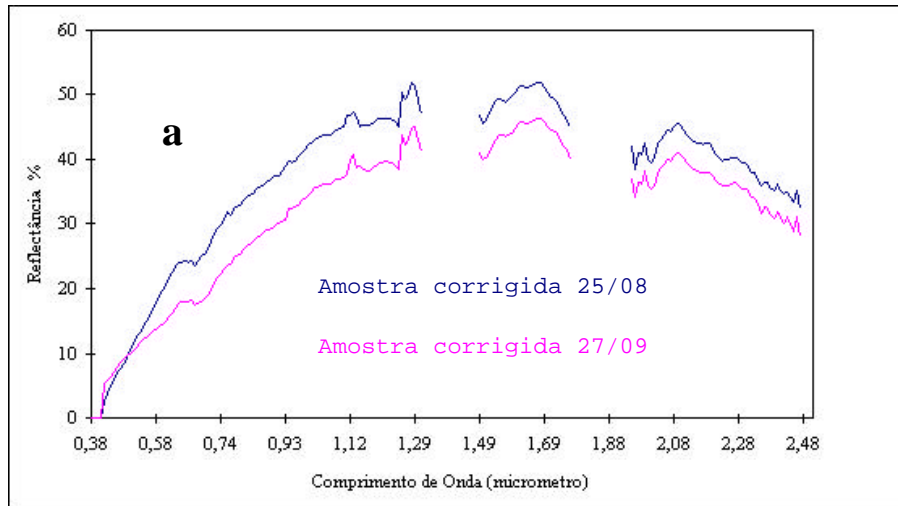


Erro Médio Quadrático Normalizado (%) na faixa (0,38-2,5 $\mu$ m)	2,88
---	------

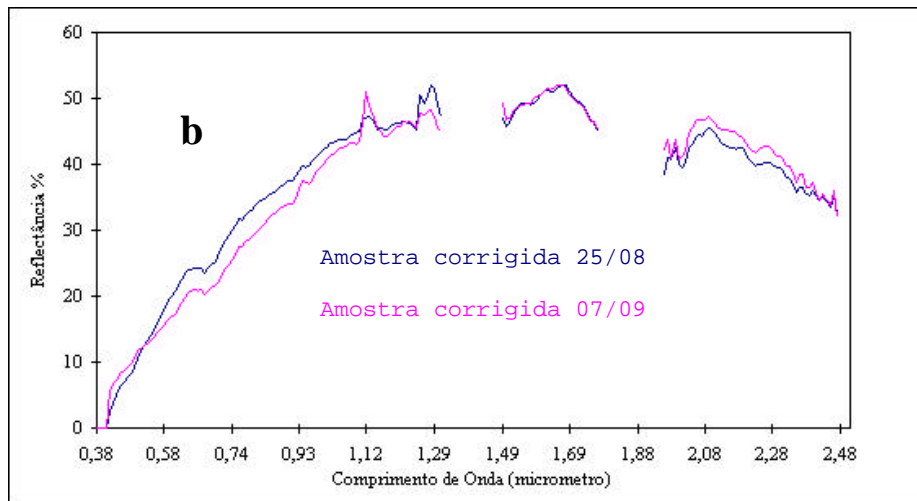


Erro Médio Quadrático Normalizado (%) na faixa (0,38-2,5 $\mu$ m)	1,83
---	------

Fig 2– Diferença entre os espectros corrigidos para os efeitos atmosféricos de uma amostra de vegetação ciliar ((a) 25/08/95 e 27/08/95; (b) 25/08/95 e 07/09/95), na faixa espectral de 0,38 $\mu$ m a 2,5 $\mu$ m, com seus respectivos erros médios quadráticos normalizados.



Erro Médio Quadrático Normalizado (%) na faixa (0,38-2,5 $\mu$ m)	2,19
---	------



Erro Médio Quadrático Normalizado (%) na faixa (0,38-2,5 $\mu$ m)	0,35
---	------

Fig 3– Diferença entre os espectros corrigidos para os efeitos atmosféricos de uma amostra de solo ((a) 25/08/95 e 27/08/95; (b) 25/08/95 e 07/09/95), na faixa espectral de 0,38 $\mu$ m a 2,5 $\mu$ m, com seus respectivos erros médios quadráticos normalizados.

#### 4 Conclusão

Estes resultados mostram a forte influência causada pelos efeitos de geometria de iluminação, devendo-se atentar sempre para a minimização destes efeitos, ou não desconsiderá-los ao se analisar alvos corrigidos pelo método de Green *et al.* em dias e condições atmosféricas diferentes.

## 5 Referência Bibliográfica

- Bowker D. E.; Davis, R.E.; Myrick, D.L.; Stacy, k.; Jones, W.|T. Spectral atmospheric correction in multitemporal studies. **International Journal of remot Sensing** 10 (6): 1127-1134, 1989.
- Chrien, T. G. & Green, R. O., 1993, Instantaneous Field of View and Spatial Sampling of the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS), Summaries of the Fourth Annual JPL Airborne Geoscience Workshop, vol. 1., pp. 93-96.
- Chrien, T. G.; Green, R. O.; Chovit, C. J.; Eastwood, M. L. & Sarture, C. M., 1996, Calibration of the Airborne Visible /Infrared Imaging Spectrometer in Laboratory, Summaries of the Sixth Annual JPL Airborne Earth Science Workshop, JPL Pub. 96-4, Vol.1, pp. 34-48.
- Green, R. O., 1990, Retrieval of Reflectance from Calibrated Radiance Imagery Measured by the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) for Lithological Mapping of Clark Mountains, California, In: **Proceedings** of the Second Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop, JPL Pub. 90-54, pp. 167-175.
- Green, R.O.; Conel, J.E.; Roberts, D.A. **Estimation of aerosol optical depth, pressure elevation, water vapor and calculation of apparent surface reflectance from radiance measured by the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) using a radiative transfer code.** SPIE, VOL.1937, p.2-11, 1993.
- Green, R. O., Conel J. E., Helmlinger, M. Bosch, J., Chovit, Cris & Chrien, T., 1993a, Inflight Calibration of AVIRIS in 1992 and 1993. In: **Proceedings**. Fourth Annual Airborne GeoScience Workshop, JPL Public 93-26 pp.69-72.
- Green, R. O., 1995, Determination of the In - Flight Spectral Calibration of AVIRIS Using Atmospheric Absorption Features. In: **Proceedings**:. Fifth Annual Airborne GeoScience Workshop, JPL Public 95-1 pp.71-78
- Green, R. O., Conel, E. J., Margolis, J., Clovit, C., Faust, J., 1996, In-Flight Calibration and Validation of the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) **Proceedings**:. Sixth Annual JPL Airborne Earth Science Workshop, JPL Pub 96-4, pp.83-86.
- Pitas, I.; Venetsanopoulos, A.N. **Nonlinear digital filters** : principles and applications. Boston:Kluwer Academic Publishers, 1990, 392p.
- Projeto RADAMBRASIL. **Localização da área. in: Folha SD-21 Cuiabá**: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro: MME/SG/Projeto RADAMBRASIL, p.29, 1982. (Levantamento de recursos naturais, 26)
- Smoke, Clouds, and Radiation - Brazil (SCAR-B)**, Aug16 -Sept14, 1995. Hampton, VA: NASA. Langley Research Center, 1996. Field Mission Report.
- Wallace, M.P.; Enmark, H.T. A system overview of the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS). In: Airborne Earth Science Data Analysis Workshop, held at the Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, 1987. **Summaries**. Washington, D.C. NASA/JPL, 1987. V.1-AVIRIS Workshop. (JPL Publication 87-38).