

Método de Correção Atmosférica Aplicado aos Dados do Sensor AVIRIS em Regiões Tropicais

MARCELO LOPES LATORRE¹
YOSIO EDEMIR SHIMABUKURO¹
LUIZ ALBERTO VIEIRA DIAS²

1. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa postal 515, 12201-970 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

latav@ltd.inpe.br

Abstract: This work presents the use of the atmospheric correction method developed by Green et al. (1993) for the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) sensor data. The imagery used was acquired during the SCAR-B campaign over Cuiabá, MT, Brazil, on August 25, 1995. For the same scene, corrected and non-corrected AVIRIS reflectance data were compared to each other using a vipareon forest as a reference sample. Also, NDVI values were calculated for both situations. These calculations were done by three different procedures with the following results: 1) a difference of 23% between the NDVI values, using in this case the bands 28 (red), and 42 (near infrared); 2) a difference of 18% between the NDVI values, using the simulation to the bands 3 and 4 from TM; 3) a variation from 11% to 1114% between the NDVI values, varying the AVIRIS infrared bands and keeping constant the red band. These results show the importance of atmospheric correction for satellite image analysis, mainly when using a vegetation index image.

Keywords: AVIRIS, Atmospheric Correction, NDVI.

1 Introdução

O sensoriamento remoto tem sido definido como um conjunto de atividades que tem por objetivo caracterizar as propriedades dos objetos através da detecção, registro e análise do fluxo radiante por eles emitido ou refletido. A essência desta atividade fundamenta-se na identificação de alvos e na discriminação entre eles, em que a radiação recebida pelo sensor torna-se a base de todo o processo. Entretanto, o mecanismo de aquisição desta radiação não é o ideal, uma vez que entre o sensor e a superfície existe um meio extremamente dinâmico: a atmosfera. Esta atmosfera interage com a radiação eletromagnética, provocando significativas alterações no fluxo radiante proveniente do alvo.

Os principais fatores causadores destas alterações, como perda de nitidez na imagem e deformação do brilho superficial, são o espalhamento molecular, o espalhamento por aerossóis e a absorção pelos gases atmosféricos. Estas alterações são na verdade um persistente e incômodo problema na análise de dados por sensoriamento remoto. Muitas vezes esta análise vai depender das características espectrais do sensor e das condições atmosféricas na data e hora de

aquisição dos dados (Freire, 1996).

Com o advento dos sensores hiperespectrais, capazes de adquirir dezenas de imagens simultâneas de uma mesma área e produzir um espectro de reflectância praticamente contínuo para cada “pixel” da cena, uma maior ênfase foi dada na minimização das influências atmosféricas. Os métodos de correção atmosférica podem ser divididos em físicos, que são os mais completos e baseiam-se na teoria da transferência radiativa; e os alternativos, que são mais simplificados e geralmente supõem a interferência da atmosfera como aditiva (Freire, 1996).

Neste trabalho foi utilizado o método desenvolvido por Green et al. (1993) para a correção atmosférica de imagens hiperespectrais, obtidas a partir do sensor AVIRIS (“Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer”). O objetivo geral foi motivar a importância da correção atmosférica na análise de imagens, usando um alvo composto por uma vegetação verde (mata galeria) como referência para essa discussão.

O método de transferência radiativa usado no presente estudo é baseado no modelo MODTRAN, o qual, possibilita a determinação do vapor d’água, espalhamento molecular e dos gases. Embora de uma maneira bem menos expressiva, o mesmo ainda é capaz de estimar os aerossóis e, conseqüentemente os espalhamentos produzidos por estes (Crósta, 1997).

O sensor AVIRIS é um sensor hiperespectral aerotransportado que pertence ao JPL (“Jet Propulsion Laboratory”) e foi utilizado no Brasil entre os meses de agosto e setembro de 1995, durante a missão SCAR-B (“Smoke/Sulfate, Clouds, and Radiation-Brazil”).

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).

O AVIRIS possui ainda, um campo de visada instantâneo de 1 mrad e o ângulo de varredura de 30° graus. Isto implica em uma faixa de imageamento de 10,5 Km composta de “pixels”, que subentendem uma resolução de 20 m no solo obtidos a uma altitude de 20 Km. A imagem no sistema é obtida a partir de espelhos de varredura, que definem uma linha de 614 “pixels” de largura perpendicular à direção de voo, e pela direção da aeronave, que define a extensão da imagem.

Este sensor foi utilizado durante a missão do SCAR-B, cujo objetivo visava o estudo de partículas suspensas no ar (aerossóis). Nesta missão foram utilizadas duas plataformas principais de observação: o ER-2, que é uma aeronave com capacidade de voar na baixa estratosfera, e o

Convair C-131A, com capacidade de voar na troposfera (Kirchoff, 1995). Maiores informações sobre os equipamentos voados e a missão SCAR-B propriamente dita, podem ser encontradas em SCAR-B (1996).

2.2 - Área de Estudo

Durante a missão realizada pelo SCAR-B, foram obtidas imagens pelo sensor AVIRIS, sobre as seguintes regiões: norte de Brasília (DF), Cuiabá (MT), Pantanal Mato-grossense (MS), Porto Nacional (GO), Alta Floresta (MT), Vilhena e Ji-Paraná (RO).

A imagem selecionada para este trabalho foi a de Cuiabá do dia 25 de agosto de 1995, (Figura 1). A razão da escolha desta imagem, deve-se ao fato da mesma possuir condições atmosféricas extremas, podendo desta maneira, não somente ser útil na verificação da importância da correção atmosférica, bem como na avaliação da eficiência do método empregado.

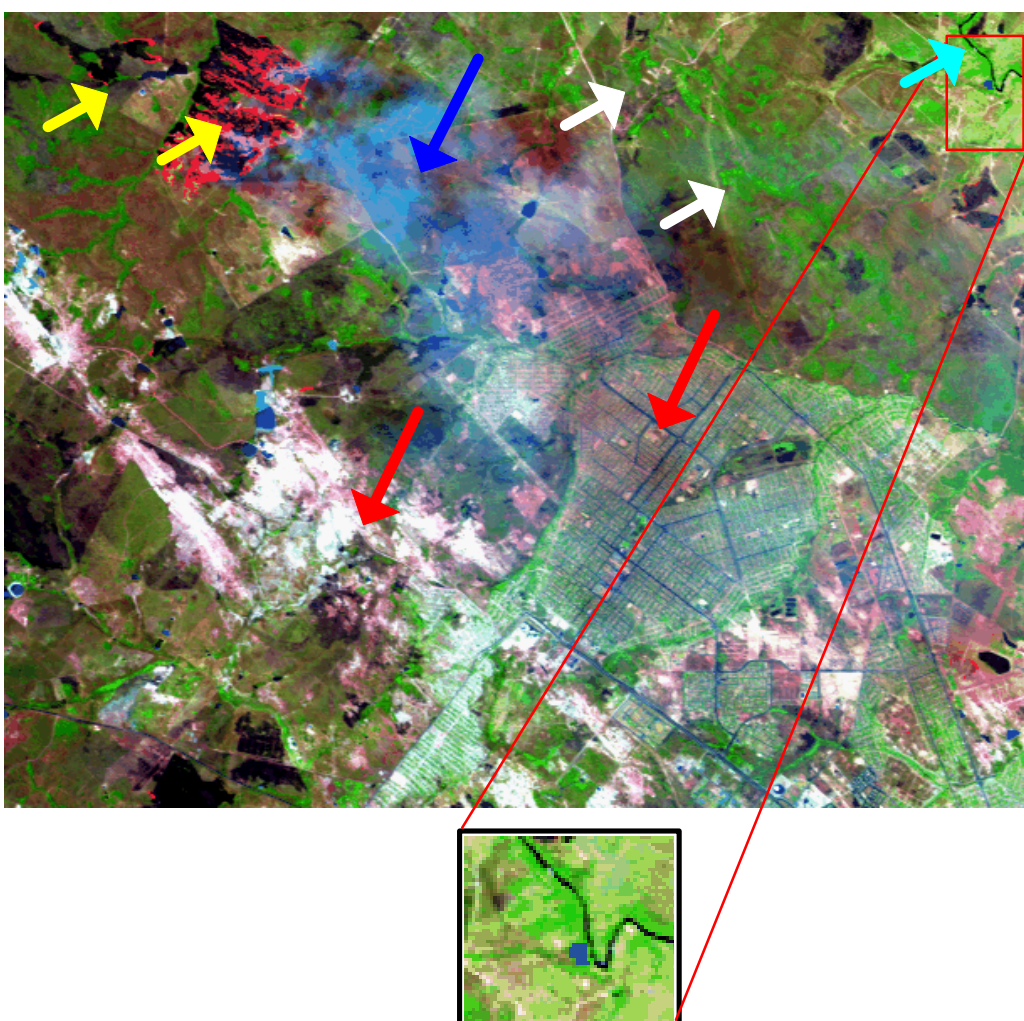


Fig.1 - Imagem AVIRIS da região de Cuiabá obtida em 25/08/95, banda 137 ($1,6512\mu\text{m}$ -R), banda 50 ($0,8263\mu\text{m}$ -G) e banda 29 ($0,6574\mu\text{m}$ -B), em valores de reflectância não corrigidos para efeitos atmosféricos do alvo de vegetação ciliar em destaque (amostra azul). Alguns pontos marcantes foram indicados por setas.

Na Figura 1, pode-se observar que:

- 1 - esta região apresentava fortes focos de incêndios (seta amarela) e fumaça (seta azul);
- 2 - a área urbana (seta vermelha), corresponde à região nordeste de Cuiabá;
- 3 - o rio indicado pela seta cyan, é o rio Coxipó. Sua mata ciliar foi utilizada como exemplo de amostra de vegetação nas comparações realizadas;
- 4 - a região possui uma extensa área composta de cerrados (setas brancas).

2.3 - Método de Correção Atmosférica

O método desenvolvido por Green et al. (1993) é do tipo transferência radiativa. Foi desenvolvido para correção atmosférica de imagens hiperespectrais, obtidas a partir do sensor AVIRIS. Este método baseia-se no modelo MODTRAN 3, na calibração do sensor AVIRIS para radiância obtida em laboratório e em dados de calibração em voo. Os dados de calibração referentes ao ano de 1995, foram obtidos na região de Ivanpah Playa, Califórnia (Crósta, 1997).

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. o 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

A metodologia foi composta de duas etapas principais. A primeira, destinou-se a elaboração de um algoritmo capaz de converter a imagem original (obtida pelo JPL em radiância) para reflectância aparente (não corrigida para os efeitos atmosféricos). O programa desenvolvido para esta conversão foi baseado na seguinte equação:

$$r_l = \frac{p \cdot L_l}{E_l \cdot \cos q_s} \quad (1)$$

onde,

L_l = é o valor de radiância no nível do sensor;

E_l = é a irradiância correspondente a cada banda no topo da atmosfera;

q_s = é o ângulo zenital medido em função da latitude, longitude, mês, dia e horário de aquisição da imagem.

Uma vez definido o programa e feito os possíveis acertos de unidades, gerou-se a imagem não corrigida. Esta foi a base de referência para as comparações entre os dados obtidos pelo programa elaborado por Green et al. (1993) e o algoritmo desenvolvido no presente estudo.

Nas segunda etapa, foi feita uma análise comparativa dos dados de reflectância AVIRIS corrigidos e não corrigidos para os efeitos de absorção e espalhamento atmosféricos, usando um alvo composto por vegetação verde (mata ciliar) como referência. Valores de NDVI foram obtidos considerando ambas as situações.

A elaboração destes cálculos foi realizada de três modos diferentes:

1. utilizou-se as Bandas 28 (vermelho-0,6477 μm) e 42 (infravermelho próximo 0,7495 μm) do AVIRIS, empregadas pelo método de correção na obtenção da imagem NDVI;
2. Utilizou-se de um programa desenvolvido por Green (1998) para a simulação dos valores de reflectância do AVIRIS para o Sensor TM. As bandas 3 e 4 simuladas do TM (LANDSAT), foram utilizadas para os respectivos cálculos;
3. Calculou-se o NDVI, variando-se as bandas (42 a 83) relativas ao infravermelho próximo e mantendo constante a banda de número 28 (vermelho) do sensor AVIRIS. O resultado obtido fornece a variação dos valores de NDVI da amostra corrigida e não corrigida para os efeitos atmosféricos e as diferenças em porcentagem entre estes.

3 Resultados e Discussões

A diferença entre os espectros obtidos a partir das imagens corrigida e não corrigida para os efeitos atmosféricos, considerando um alvo de vegetação ciliar, pode ser analisada através das Figuras 2, 3, 4 e 5. Para uma melhor análise, os espectros foram divididos em três faixas espectrais: 0,4-0,7 μm (Fig.3), 0,7-1,0 μm (Fig.4) e 1,0-2,5 μm (Fig.5) μm , com seus respectivos erros médios quadráticos.

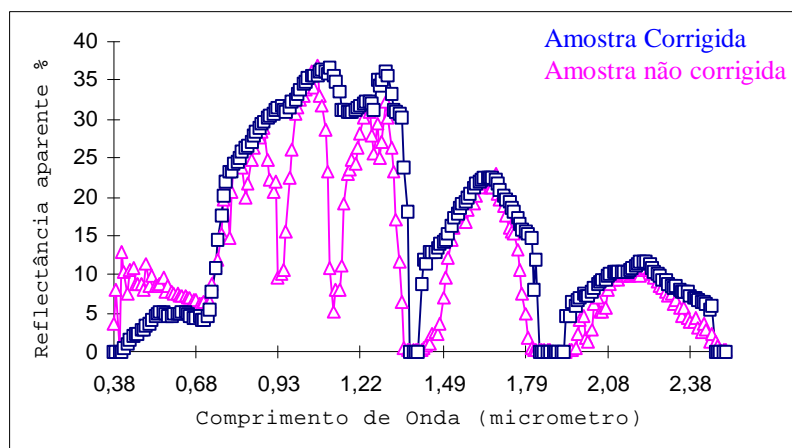


Fig.2 - Diferença entre os espectros de reflectância AVIRIS de uma amostra de mata ciliar corrigido e não corrigido para os efeitos atmosféricos. A localização desse alvo está indicado na Fig.1.

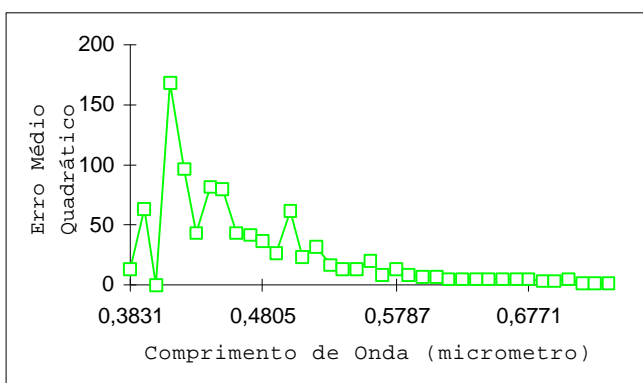
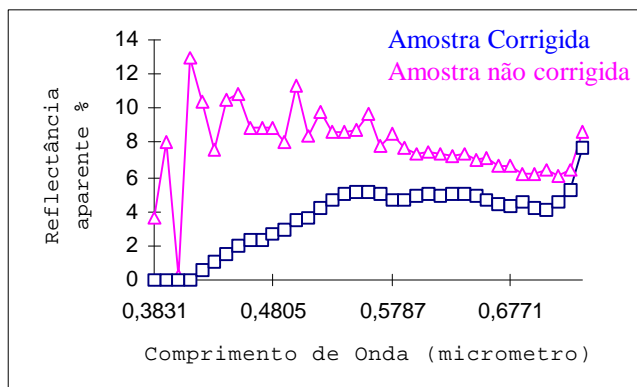


Fig.3 - Diferença entre os espectros corrigidos e não corrigidos para os efeitos atmosféricos da amostra de vegetação ciliar, na faixa espectral de 0,4 a 0,7 μm , com seus respectivos erros médios quadráticos.

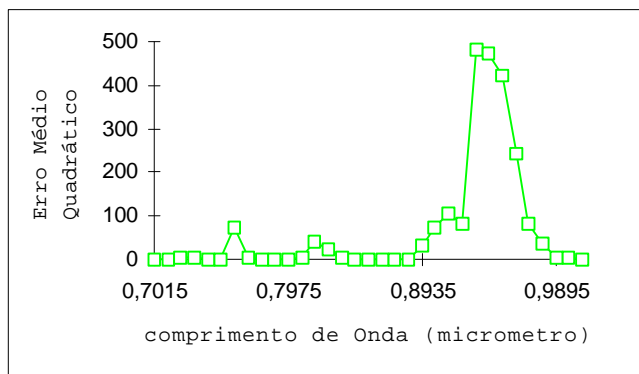
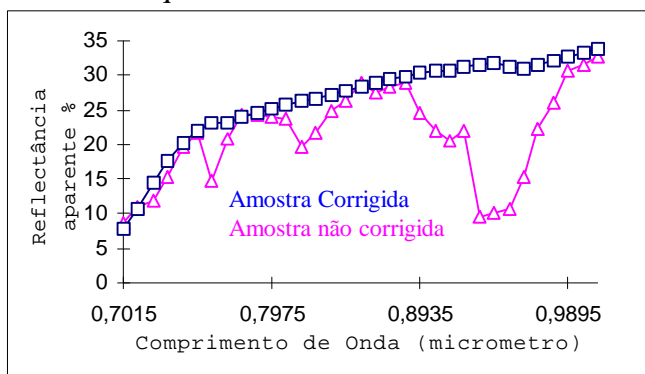


Fig.4 - Diferença entre os espectros corrigidos e não corrigidos para os efeitos atmosféricos da amostra de vegetação ciliar, na faixa espectral de 0,7 a 1,0 μm , com seus respectivos erros médios quadráticos.

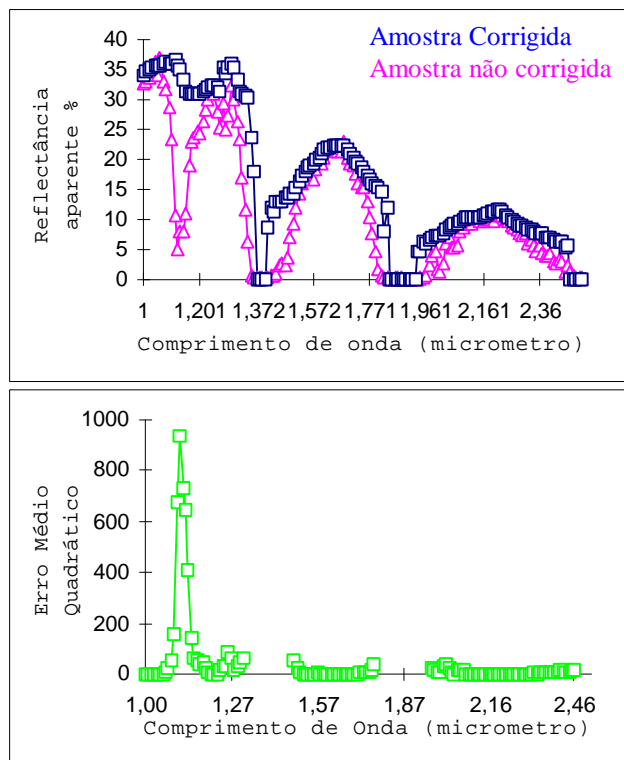


Fig.5 - Diferença entre os espectros corrigidos e não corrigidos para os efeitos atmosféricos da amostra de vegetação ciliar, na faixa espectral de 1,0 a 2,5 μm , com seus respectivos erros médios quadráticos.

Como pode-se verificar, grandes diferenças ocorrem na região do visível, ocasionadas pelo espalhamento atmosférico e absorções, tendo como exemplo, as causadas pelo ozônio (0,45 μm a 0,76 μm). Na faixa compreendida entre 0,7 e 2,5 μm , onde a influência da energia refletida é menor, a maior diferença ocorre devido a absorção dos gases, tendo como exemplo, as causadas pelo vapor d' água (0,72 μm , 0,82 μm , 0,94 μm , 1,14 μm), gás carbônico (1,4 μm , 1,6 μm e 2,0 μm) e oxigênio (0,76 μm).

Pode-se verificar ainda que, a correção realizada pelo método na parte relativa ao visível foi para valores de reflectância menores, onde a influência do efeito de espalhamento, que é em torno de 50% do sinal que chega no sensor (Deschamps et.al., 1981), é retirada pelo método. Quanto à faixa do infravermelho, onde as diferenças ocorrem praticamente em relação às absorções atmosféricas, nota-se também a sua coerência na correção, pois verifica-se que estas foram também eliminadas na correção.

A Tabela 1 mostra os valores de NDVI da amostra corrigida e não corrigida para os efeitos atmosféricos, utilizando um alvo de vegetação ciliar composta de 26 "pixels", bem como, a diferença em porcentagem entre estes valores obtidos. Os cálculos foram feitos considerando a banda do vermelho em 0,6477 μm e a do infravermelho em 0,7495.

TABELA 1 - VALORES DE REFLECTÂNCIA (%) DA BANDA 28 E 42 DO AVIRIS E DIFERENÇA EM PORCENTAGEM DOS VALORES DE NDVI OBTIDOS

	BANDA 42 (I.R-0.7495 μ m)	BANDA 28 (RED-0.6477 μ m)	NDVI	DIFERENÇA NDVI CORR/NCOR
NÃO CORRIGIDA	21,66463	6,99602	0,518	23%
CORRIGIDA	21,93846	4,92692	0,6332	

Obs: visibilidade de 27,5 Km.

Como pode-se verificar, existe uma diferença de 23% entre os valores de NDVI, ou seja, o valor de NDVI(mata ciliar) da amostra corrigida é 23 % maior do que o valor de NDVI da não corrigida. Esta diferença poderá ser maior ou menor em função das condições atmosféricas da imagem na hora de sua aquisição. Desta forma, quanto mais limpa a imagem, menor será esta diferença e quanto mais “suja” (umidade, aerossóis), maior poderá ser esta diferença (Green, 1997). Outro fator a ser considerado é se a imagem foi corrigida de maneira adequada, ou seja, se a correção foi superestimada ou subestimada. Desta maneira, esta diferença será maior ou menor, respectivamente. Um exemplo de uma correção superestimada pode ser observada na Tabela 2, onde a diferença entre os valores é maior do que o visto na Tabela 1.

TABELA 2 - VALORES DE REFLECTÂNCIA (%) DA BANDA 28 E 42 DO AVIRIS E DIFERENÇA EM PORCENTAGEM DOS VALORES DE NDVI OBTIDOS, CONSIDERANDO UMA CORREÇÃO ATMOSFÉRICA SUPERESTIMADA DA CENA (VISIBILIDADE 15KM)

	BANDA 42 (I.R-0.7495 μ m)	BANDA 28 (RED-0.6477 μ m)	NDVI	DIFERENÇA NDVI CORR/NCOR
NÃO CORRIGIDA	21,66463	6,99602	0,518	47,7%
CORRIGIDA	22,35385	2,97692	0,765	

Este resultado mostra que, além da necessidade da correção atmosférica, deve-se tomar o cuidado de se corrigir de maneira satisfatória, uma vez que, a não utilização correta de um método de correção, poderá induzir em um erro maior do que a não correção.

De modo a confirmar os resultados obtidos, o mesmo procedimento foi realizado usando um programa de convolução de Green (1998), em que os dados obtidos a partir do sensor AVIRIS foram simulados para os do TM. Os resultados podem ser observados na Tabela 3.

TABELA 3 - VALORES DE REFLECTÂNCIA (%) RESULTANTES DA SIMULAÇÃO TM3 E TM4, A PARTIR DOS DADOS; E A DIFERENÇA EM PORCENTAGEM DOS VALORES DE NDVI OBTIDOS

	BANDA4	BANDA3	NDVI	DIFERENÇA NDVI CORR/NCOR
NÃO CORRIGIDA	25,893	7,283	0,561	18%
CORRIGIDA	28,570	5,391	0,683	

Os cálculos de NDVI realizados e comentados na segunda etapa, em que variou-se a banda do infravermelho e manteve-se constante a banda do vermelho, podem ser verificados na Tabela 4.

TABELA 4 - VALORES DE NDVI E SUAS DIFERENÇAS EM PORCENTAGEM ENTRE OS ESPECTROS CORRIGIDOS E NÃO CORRIGIDOS PARA OS EFEITOS ATMOSFÉRICOS DA AMOSTRA DE VEGETAÇÃO CILIAR

CANAL(LR)	BANDA	NDVI CORR	NDVI NCORR	PORCENTAGEM
42	0,7495	0,6332	0,5118	23,72
43	0,7591	0,6498	0,3558	82,62
44	0,7687	0,6504	0,4952	31,34
45	0,7783	0,6610	0,5516	19,83
46	0,7879	0,6663	0,5536	20,35
47	0,7975	0,6711	0,5473	22,62
48	0,8070	0,6782	0,5461	24,19
49	0,8166	0,6841	0,4775	43,25
50	0,8263	0,6884	0,5124	34,34
51	0,8359	0,6933	0,5601	23,78
52	0,8454	0,6996	0,5816	20,29
53	0,8551	0,7036	0,6111	15,14
54	0,8647	0,7084	0,5946	19,14
55	0,8742	0,7134	0,6054	17,83
56	0,8838	0,7156	0,6103	17,24
57	0,8935	0,7201	0,5585	28,94
58	0,9031	0,7221	0,5188	39,19
59	0,9127	0,7237	0,4915	47,24
60	0,9223	0,7267	0,5172	40,52
61	0,9319	0,7287	0,1500	385,91
62	0,9415	0,7316	0,1774	312,51
63	0,9511	0,7272	0,2087	248,38
64	0,9607	0,7256	0,3760	92,99
65	0,9703	0,7293	0,5232	39,40
66	0,9799	0,7343	0,5765	27,37
67	0,9895	0,7374	0,6279	17,44
68	0,9991	0,7423	0,6369	16,54
69	1,0087	0,7461	0,6464	15,41
70	1,0183	0,7507	0,6510	15,32
71	1,0280	0,7525	0,6560	14,71
72	1,0376	0,7548	0,6647	13,56
73	1,0472	0,7568	0,6765	11,88
74	1,0568	0,7573	0,6598	14,78
75	1,0664	0,7573	0,6819	11,06
76	1,0760	0,7598	0,6508	16,75
77	1,0856	0,7608	0,6383	19,20
78	1,0952	0,7599	0,6080	24,98
79	1,1048	0,7591	0,5384	41,00
80	1,1144	0,7636	0,2098	263,89
81	1,1240	0,7575	-0,1509	-602,17
82	1,1336	0,7527	0,0620	1114,54
83	1,1432	0,7432	0,0704	955,82

Embora se saiba que as bandas referentes aos gases de absorção não são normalmente incluídas para os possíveis cálculos de NDVI, as mesmas foram utilizadas apenas para se verificar as possíveis consequências de sua inclusão nos cálculos considerada a ausência de uma devida correção atmosférica. Pode-se verificar ainda que, as variações são muito bruscas, podendo variar de 11% a 1114% de diferença entre o NDVI_corr (corrigido) e O NDVI_ncor (não corrigido).

Os valores negativos observados na Tabela 4, ocorrem quando os valores da banda do infravermelho ficam menores do que os valores de reflectância no vermelho.

4 Conclusão

Os resultados mostram a importância e a necessidade de uma correção atmosférica, sobretudo, na utilização de dados hiperespectrais, tendo como exemplo, a utilização de imagens índice de vegetação. Os resultados mostram ainda que, deve-se ter o cuidado na seleção do método de correção, bem como da sua correta utilização, uma vez que, uma má correção pode acarretar em erros maiores do que a não correção de uma imagem.

O método empregado apresenta resultados satisfatórios, corrigindo de maneira precisa do vapor d'água, com relação aos seus componentes sólido, líquido, gasoso e o espalhamento molecular.

Referência Bibliográfica

- Crosta, A.P. **Síntese sobre o método de correção atmosférica de Green et al. (1993)**. São José dos Campos, 10 de fevereiro, 1997. Comunicação pessoal.
- Freire, M.L.F. **Correção atmosférica em imagens LANDSAT contaminadas por efeito de adjacência**. (Tese de mestrado em meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1996. 98p.
- 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. **Programa de Convolução dos dados AVIRIS para os Dados TM (LANDSAT)**. São José dos Campos, 17 de novembro, 1997. Comunicação pessoal.
- **Programa de simulação dos dados AVIRIS para os dados TM**. São José dos Campos, 10 de Março, 1998. Comunicação pessoal.
- Smoke, Clouds, and Radiation - Brazil (SCAR-B)**, Aug16 -Sept14, 1995. Hampton, VA, NASA. Langley Research Center, 1996. Field Mission Report.
- Kirchhoff, V.W.J.H. **Plano de Missão SCAR-B Brasil**. Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), 1995, 35p.
- 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).
- Deschamps, P.Y.; Herman, M.; Tanré, D. Influence de 'atmosphère en télédétection des ressources terrestres. Modélisation et possibilités de correction. **Colloque International de signatures Spectrales d'Objets en Télédétection**. Les Colloques de l'INRA N° 5, ed. INRA, Publ. Avignon, Paris. 1981. pg 543-558.