

## AVALIAÇÃO DA CORREÇÃO ATMOSFÉRICA E RETIFICAÇÃO RADIOMÉTRICA EM ESTUDOS MULTITEMPORAIS

PATRÍCIA GUEDES DA SILVA<sup>1</sup>  
PAULO MAURICIO DE ALENCASTRO GRAÇA<sup>1</sup>  
JOÃO ROBERTO DOS SANTOS<sup>1</sup>  
YOSIO EDEMIR SHIMABUKURO<sup>1</sup>

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{Patricia,graca,jroberto,yosio} @ltid.inpe.br

**Abstract.** The multitemporal characteristic of the satellite images is fundamental in monitoring the land use and/or land cover changes. In the treatment of multitemporal data it is necessary to minimize the atmospheric effects that damage the quality of the images. Within this context, the objective of this work is to analyze which the most appropriate approach that preserve the spectral characteristics of the objects in the temporal series of ETM<sup>+</sup> images. Then, methodology using of atmospheric correction, followed of radiometric normalization was analyzed. So that, is necessary atmosphere correct of only one of the images or the entire multitemporal series?

**Keywords:** relative radiometric normalization, atmospheric correction, multitemporal analysis.

### 1. Introdução

Aplicações em sensoriamento remoto utilizando dados multitemporais requerem processamentos que ajustem a geometria e a radiometria de alvos semelhantes a fim de torná-los comparáveis. Imagens obtidas em datas distintas apresentam-se sob diferentes condições atmosférica e de iluminação. A fim de amenizar a diferença entre as respostas comuns de diferentes alvos presentes nas cenas, procedimentos de correção atmosférica e de normalização relativa tem sido recomendada por alguns autores (Chavez, 1988; Schott *et al.*, 1988, Hall *et al.*, 1991, Vermote *et al.*, 1997).

A correção da interferência atmosférica em imagens multiespectrais pode ser realizada através de modelos complexos que utilizam códigos de transferência radiativa ou de modelos mais simples, como àqueles que se baseiam em objetos escuros presentes na cena (Chavez, 1988). Tanto o primeiro quanto o segundo são modelos alternativos que estimam as condições atmosféricas e de iluminação no momento da passagem do satélite, em virtude da indisponibilidade de medidas reais do terreno.

Métodos alternativos também são utilizados para normalizar radiometricamente as imagens. Técnica propostas por Schott *et al.*, (1988), Hall *et al.*, (1991), e outros, foram formuladas em virtude da indisponibilidade de dados referentes às propriedades atmosféricas e de calibração do sensor no momento do registro do sinal emitido ou refletivo pelo alvo. A normalização desenvolvida por Schott *et al.*, (1988) e Hall *et al.*, (1991) baseiam-se em feições pseudo-invariantes, a diferença é que o primeiro utiliza feições basicamente urbanas, enquanto que o segundo faz uso de médias de objetos claros e escuros presentes na cena.

Segundo Hall *et al.*, (1991) a normalização radiométrica é utilizada para amenizar as distorções radiométricas das imagens multitemporais. Esta técnica é importante no sentido

de que independe do conhecimento de propriedades atmosféricas e de calibração do sensor. Assim uma imagem radiometricamente corrigida em relação a uma imagem de referência deve parecer como se estivesse sido adquirida pelo mesmo sensor e nas mesmas condições atmosféricas da imagem de referência. Eliminando-se assim a diferença de atmosfera e de iluminação entre as imagens, apenas permanecendo as variações decorrentes das respostas dos alvos.

As técnicas de normalização asseguram a comparabilidade entre cenas, no entanto, se a imagem de referência não for corrigida atmosféricamente, a imagem normalizada por ela, também não representará a resposta real do alvo. Porém, se ao invés de corrigir somente uma imagem, corrigisse o conjunto de imagens multitemporais, que erros seriam introduzidos nas respostas espectrais dos alvos presentes nas cenas? Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi responder ao questionamento citado utilizando duas imagens de datas diferentes do ETM<sup>+</sup>/Landsat-7, mediante procedimento de normalização radiométrica.

## 2. Área de estudo

A área de estudo abrange uma região de 832 mil hectares, pertencentes aos municípios de Cláudia, Itaúba e União do Sul, localizadas ao norte do Estado do Mato Grosso, entre as coordenadas geográficas 11° 02' 57.68'' e 11° 46' 40'' de latitude sul e 54° 24' 40.89'' e 55° 21' 10.08'' de longitude oeste (**Figura 1**). Caracterizada predominantemente pela Floresta Estacional Semidecidual Submontana com dossel emergente, pela unidade geomorfológica dos Planaltos Residuais do Norte do Mato Grosso e pelo predomínio litológico dos Latossolos Vermelho-Amarelo Distróficos. O clima é do tipo Am segundo a classificação de Köppen, com um período de seca dos meses de maio a setembro (Projeto RADAMBRASIL, 1980).

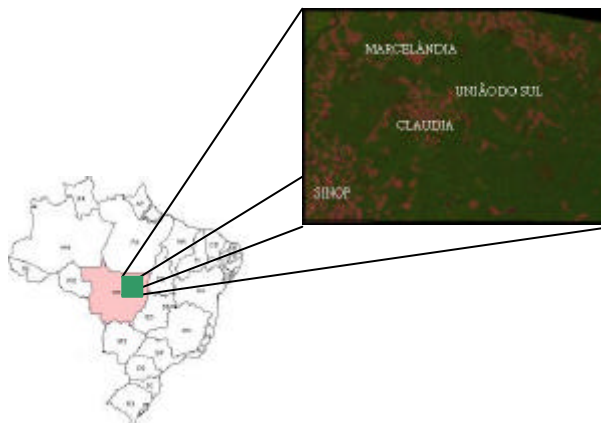


Figura 1 – Localização da área de estudo.

## 3. Material

Foram utilizadas as imagens do ETM<sup>+</sup>/Landsat-7, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 da órbita-ponto 226/68 em formato Geotiff, nível 1G (com correção de geométrica e reamostragem pelo vizinho mais próximo) das datas de 08/08/2001 e 23/05/2002. Os aplicativos utilizados foram o Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING).

#### 4. Método

As técnicas de tratamento de imagens, correção geométrica relativa (registro), correção atmosférica e radiométrica, foram utilizadas respectivamente para ajustar as linhas e colunas das imagens, amenizar os efeitos de interferência atmosférica e normalizar a radiometria das imagens. A técnica de registro se baseou no modelo de correção polinomial através de dez pontos de controle, sendo que três pontos foram separados para que o modelo estimasse os erros de teste.

Em virtude da indisponibilidade de medidas atmosféricas (espessura óptica dos aerossóis, quantidade de aerossóis, entre outros) da área de estudo e a não adequação aos modelos estimados pelo método 6S, um método de correção atmosférica relativo baseado na subtração de objetos escuros presentes nas imagens foi utilizado (Chavez, 1988). A metodologia adotada por este autor, supõe a existência de objetos escuros com valores de radiância próximos a zero, mas devido à interferência da atmosfera eles são modificados. Os valores digitais subtraídos de cada faixa espectral para as imagens das duas datas foram extraídos utilizando o método do histograma de frequência. Com base num critério subjetivo de visibilidade, considerou-se um fator de espalhamento ( $\lambda^{-4}$ ), recomendado pelo autor para uma atmosfera muito limpa.

Com o intuito de responder a hipótese deste trabalho, primeiramente as imagens das duas datas (2001 e 2002) foram corrigidas e numa outra abordagem, apenas a imagem de 2001 foi utilizada com correção. As imagens corrigidas em números digitais foram convertidas para valores de radiância, utilizando dados específicos de ganho e *offset* referentes à órbita/ponto e o dia de passagem do satélite das imagens, disponíveis na página eletrônica da NASA [http://Itpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook\\_toc.html](http://Itpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html). Posteriormente, os valores de radiância foram convertidos em reflectância aparente através da fórmula (equação 1) fornecida por Richards (1995). Nesta formulação a reflectância é calculada através de uma regressão simples, baseada em parâmetros constantes, obtidos de dados do sensor e da imagem.

$$\text{Ref} = i + (j * \text{ND}) \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo Ref o valor da reflectância; ND o número digital; i e j os parâmetros constantes. Para normalizar radiometricamente as imagens de 2001 (referência) e 2002 foi utilizada a metodologia desenvolvida por Hall *et al.*, (1991). O algoritmo utilizado por estes autores, baseia-se na média de valores de reflectância de pontos de controle radiométricos, claros e escuros, pseudo-invariantes entre as cenas. Para a escolha destes foram originadas as duas primeiras componentes da transformação “*Tasseled Cap*” de Kauth e Thomas (1976), “*Brightness e Greenness*”. Para isto um novo sistema de coordenadas foi definido para representar as linhas de solo e as regiões de vegetação contidas nas imagens. Faixas de pontos claros e escuros foram definidas através da visualização simultânea das componentes “*Brightness e Greenness*” referentes às imagens das duas datas. As feições que visualmente estavam claras e escuras nas quatro datas foram escolhidas respectivamente como feições pseudo-invariantes, claras e escuras. A partir das faixas de claros e escuros, máscaras temáticas foram geradas a fim de encontrar a média das imagens de reflectância das duas datas. As médias das máscaras de cruzamento dos pontos claros e escuros foram calculadas para as imagens de referência e para a imagem a ser normalizada (2002). Estas médias foram utilizadas como dado de entrada no programa de normalização. O cálculo feito pelo algoritmo de normalização é dada pela equação 2, como segue:

$$m_i = (B_{ri} - D_{ri}) / (B_{si} - D_{si}), \quad (\text{Equação 2})$$

$$b_i = (D_{ri} * B_{si} - D_{si} * B_{ri}) / (B_{si} - D_{si})$$

onde:

-  $D_{si}$ ,  $D_{ri}$ ,  $B_{si}$  e  $B_{ri}$  são respectivamente, as médias dos conjuntos de controle radiométricos escuros e claros para cada banda da imagem que foi normalizada e da imagem de referência;

-  $m_i$  e  $b_i$  são coeficientes definidos equiparando as médias transformadas dos conjuntos de controle radiométricos da imagem que será normalizada a partir da imagem de referência.

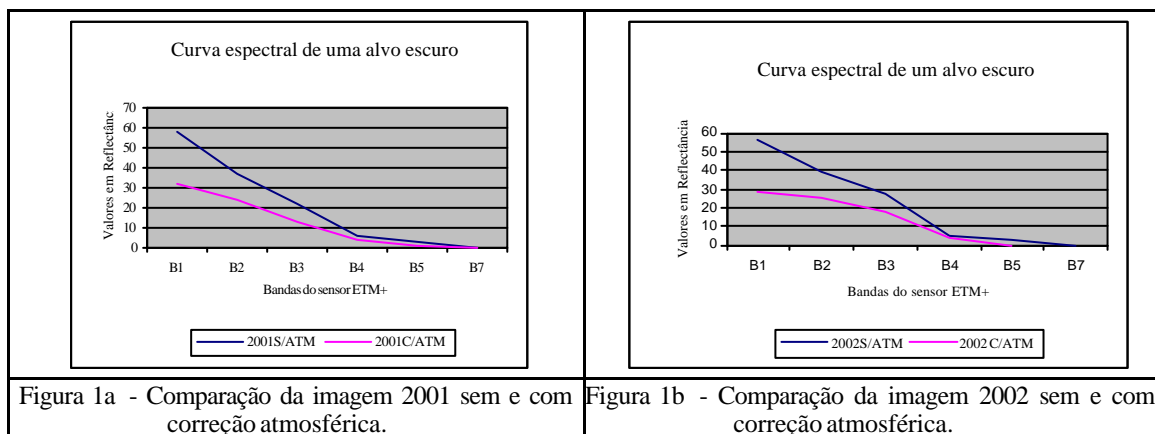
Após a normalização da imagem do ano de 2002, foi calculada uma média ponderada para cada faixa espectral desta, a fim de comparar com as médias da imagem de referência (imagem do ano de 2001), em valores de reflectância. Este procedimento foi realizado primeiramente com as duas imagens corrigidas atmosféricamente, em uma outra abordagem, efetuou-se a técnica de normalização somente com a imagem referência corrigida.

Com o intuito de avaliar a imagem do ano de 2002 normalizada radiometricamente com e sem correção atmosférica, foram realizadas dez amostragens em objetos escuros pseudo-invariantes (água) e dez em áreas de capoeira, e uma média foi obtida em cada faixa espectral e plotada em gráficos, o que possibilitou a comparação das respostas espectrais desses alvos nas duas situações.

#### 4. Resultados e discussões

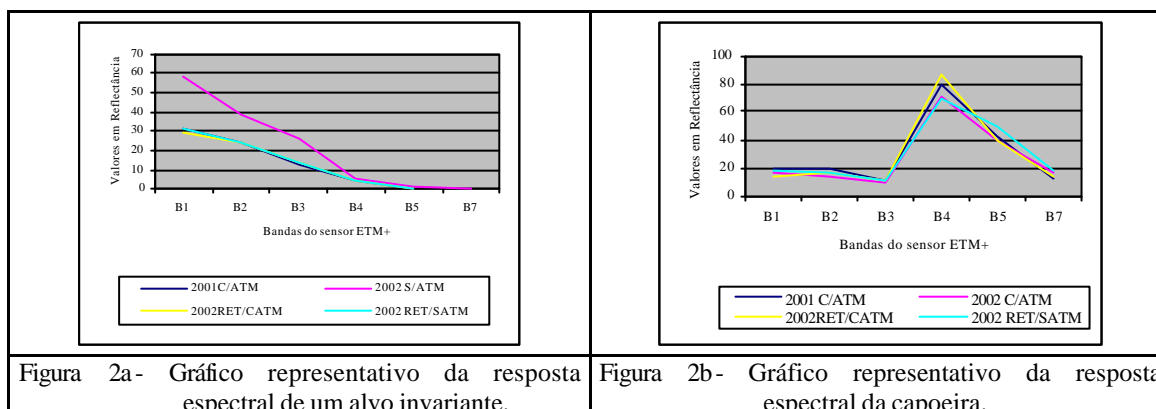
O ajuste geométrico entre as imagens foi satisfatório. O erro dos pontos de controle foi de 0,11 metros e de teste de 0,23 metros, assegurando que as imagens estão geometricamente corrigidas.

A correção atmosférica realizada através da subtração do objeto escuro, teve um resultado satisfatório para a imagem de 2001 na faixa visível do espectro, enquanto a correção feita para as regiões do infravermelho próximo e médio não foi significativa, como pode ser observado na **Figura 1a**. Este resultado está relacionado à limitação do método, que somente corrige o espalhamento aditivo da atmosfera. A correção realizada para a imagem de 2002 não foi satisfatória em nenhuma das faixas (**Figura 1b**), podendo estar relacionado à subjetividade na escolha do objeto escuro feita pelo intérprete ou à complexidade radiométrica da imagem.



Na **Figura 2a**, comparou-se a resposta espectral de um alvo escuro pseudo-invariante em quatro situações: na imagem 2001 (C/ATM; com correção atmosférica); na imagem 2002 (S/ATM; sem correção atmosférica); na imagem 2002 (RET/CATM; normalizada com correção atmosférica) e na mesma imagem (RET/SATM; normalizada sem correção atmosférica). Observa-se que a curva de resposta do alvo na imagem 2002 (RET/SATM) se sobrepõe às curvas da imagem 2001 (C/ATM) e a imagem 2002 (RET/CATM), evidenciando que mesmo que a imagem a ser normalizada não tenha sido corrigida atmosféricamente ou se a sua correção não foi perfeita, a técnica de normalização garante a comparabilidade entre as imagens multitemporais.

Na **Figura 2b** comparou-se a normalização realizada na imagem 2002 com correção atmosférica e aquela sem correção em relação à imagem referência 2001 (C/ATM). Observa-se que quando foi realizada a normalização com a imagem corrigida a resposta espectral da capoeira é superestimada (elevados valores de reflectância, observada pela cor amarela na figura), não correspondendo a resposta real do alvo. Quando a mesma abordagem de normalização é feita sem correção atmosférica (traduzida na cor azul clara na figura), há uma preservação das características radiométricas do alvo investigado em relação à imagem referência.



Em síntese a eficiência desse procedimento metodológico que faz a integração da correção atmosférica ou não, com a normalização radiométrica de imagens multitemporais, é demonstrada nas **Figuras 3a** através da resposta espectral de um alvo variante (capoeira). A variação entre as duas imagens está relacionada às mudanças do processo sucessional da capoeira. Na **Figura 3b** observo u que se tratando de um alvo que praticamente não varia com o tempo (corpos d'água), as curvas espectrais (traduzidas nas cores magenta e azul escuro), praticamente se sobrepõem, evidenciando o ajustamento radiométrico entre as imagens.

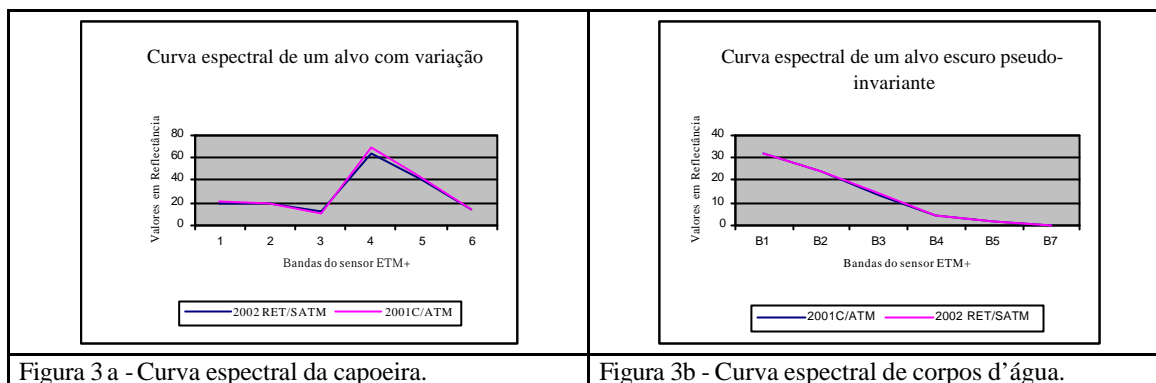


Figura 3 a - Curva espectral da capoeira.

Figura 3b - Curva espectral de corpos d'água.

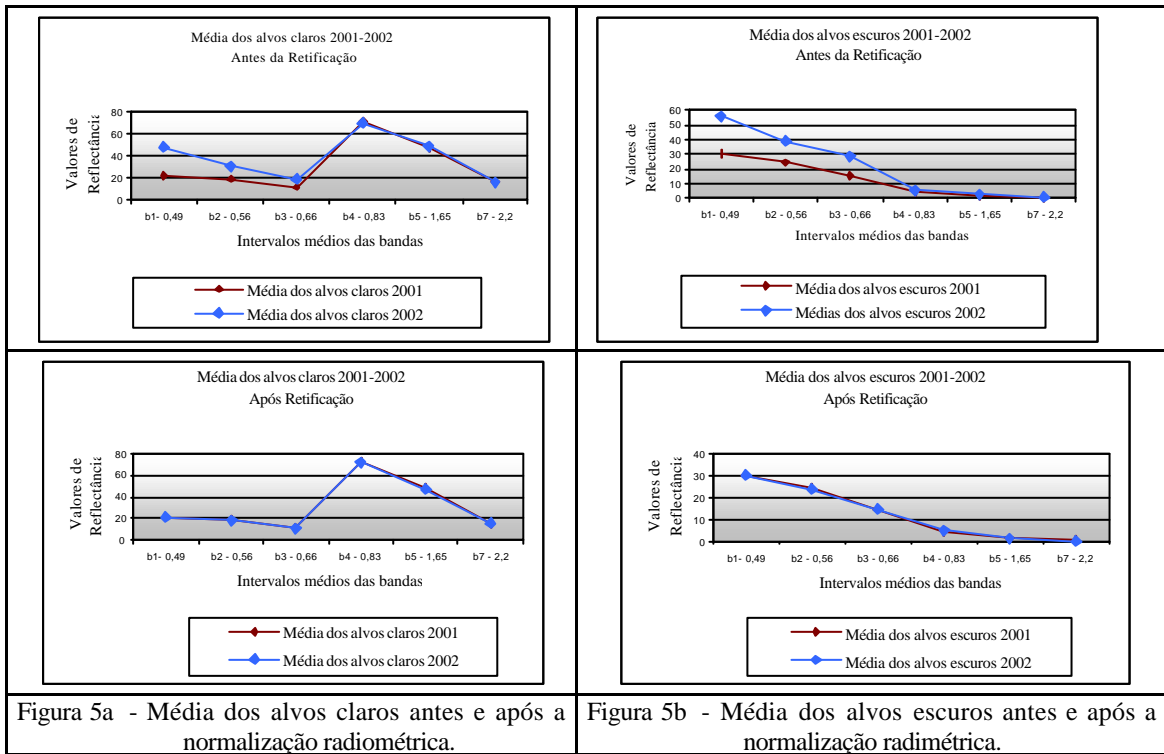
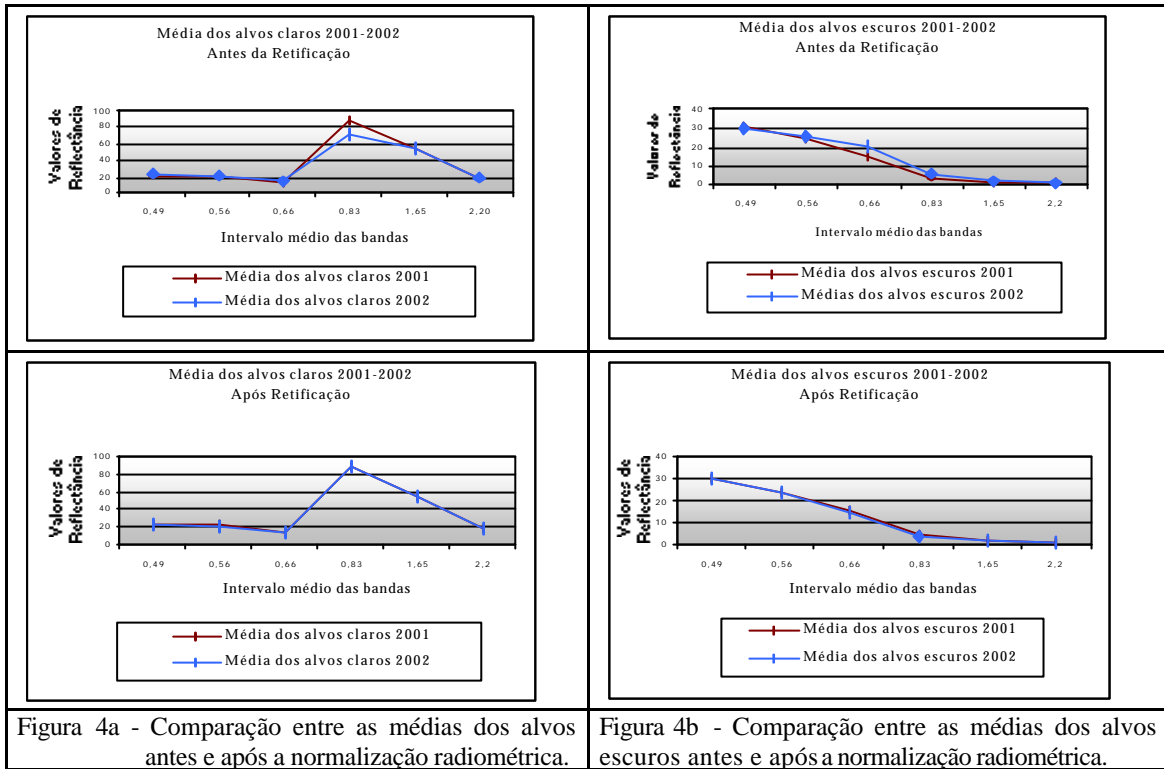
O resultado do ajustamento radiométrica da imagem de 2002 com correção atmosférica em relação à imagem referência pode ser observado através das **Tabelas 1 e 2** das **Figuras 4a, 4b, 5a, 5b**.

**TABELA 1- MÉDIA DOS PONTOS CLAROS E ESCUROS PSEUDO-INVARIANTES DA IMAGEM 2001 E 2002 COM CORREÇÃO ATMOSFÉRICA**

MÉDIA DOS CLAROS - 2001		MÉDIA DOS CLAROS - 2002			
Bandas	Referência	Antes	Diferença	Depois	Diferença
1 - 0,49	22,3	23,0	0,7	21,8	0,5
2 - 0,56	21,5	21,1	0,4	21,1	0,4
3 - 0,66	12,8	14,1	1,3	12,4	0,4
4 - 0,83	88,8	72,1	16,7	88,3	0,5
5 - 1,65	55,5	55,0	0,5	55,0	0,5
7 - 2,20	17,9	19,5	1,6	17,5	0,4
MÉDIA DOS CLAROS-2001		MÉDIA DOS CLAROS - 2002			
Bandas	Referência	Antes	Diferença	Depois	Diferença
1 - 0,49	30,5	29,7	0,8	30,0	0,5
2 - 0,56	24,3	25,7	1,4	23,8	0,5
3 - 0,66	15,0	20,4	5,4	14,5	0,5
4 - 0,83	4,51	6,07	1,56	3,94	0,57
5 - 1,65	1,50	2,06	0,56	1,64	0,14
7 - 2,2	0,52	1,05	0,53	0,54	0,02

**TABELA 2 - MÉDIA DOS PONTOS CLAROS E ESCUROS PSEUDO-INVARIANTES DA IMAGEM 2001 E 2002 SEM CORREÇÃO ATMOSFÉRICA**

Média dos claros - 2001		Média dos claros - 2002			
Bandas	Referência	Antes	Diferença	Depois	Diferença
1 - 0,49	21,8	48,2	26,4	21,2	0,6
2 - 0,56	19,5	30,6	11,1	19,0	0,5
3 - 0,66	11,9	18,7	6,8	11,3	0,6
4 - 0,83	72,3	70,0	2,3	72,0	0,3
5 - 1,65	48,0	49,6	1,6	47,6	0,4
7 - 2,20	15,9	15,7	0,2	15,7	0,2
Média dos escuros - 2001		Média dos escuros - 2002			
Bandas	Referência	Antes	Diferença	Depois	Diferença
1 - 0,49	30,5	56,2	56,2	30,2	0,3
2 - 0,56	24,3	39,0	39,0	23,8	0,5
3 - 0,66	1,50	28,8	28,8	14,6	0,4
4 - 0,83	4,51	5,07	5,07	5,07	0,56
5 - 1,65	1,50	2,36	2,36	1,39	0,11
7 - 2,20	0,52	0,58	0,58	0,2	0,32



Podê-se observar através das figuras que o procedimento de normalização aproximou as médias das imagens a partir de uma transformação linear obtida pela média dos pontos claros e escuros pseudo-invariantes, possibilitando o ajustamento radiométrico das imagens.

## 5. Conclusão

A técnica de normalização radiométrica é recomendável para ajustar radiometricamente uma série temporal de imagens. Os resultados demonstraram que é necessário corrigir atmosféricamente apenas uma imagem da série temporal, pois a normalização garante o ajuste radiométrico entre as imagens.

## 6. Referências

Chavez Jr., P. S. *An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. Remote Sensing of Environment*, v.55, p.459-470, 1988.

Hall, F. g., Strebel, D. E., Nickeson, J. E. and Goetz, S. J. *Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. Remote Sensing of Environment*, v.35 n.1 p. 11-27, 1991.

Kauth, R. J., Thomas, G. S. *The Tasseled Cap – a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat, Machine Processing of remotely sensed data, Symposium Proceedings*. LARS/Purdue University, Wes Lafayette, Indiana, 1976.

Instituto Nacional Pesquisas Espaciais (INPE) . Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) versão 3.6 [on line] [www.dpi.inpe.br/spring](http://www.dpi.inpe.br/spring). Março 2001.

PROJETO RADAMBRASIL, Levantamento de Recursos naturais, Rio de Janeiro, DNPM, 1980, v. 20.

Schott, J. R., Salvaggio, C. and Volchok, W. *Radiometric Scene normalization using pseudoinvariant features. Remote Sensing of Environment*, v.26 p. 1-6, 1988.

Vermote, F., Tanré, D., Deuzé, J. L., Herman, M., Morcrette, J. *Second Simulation of the Stellar Signal in the Solar Spectrum, 6S: an overview. IEEE transactions on Geoscience and Remote sensing*, v.35 n. 3 p. 675-232, 1997.