

## COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE ALGORITMOS DE NORMALIZAÇÃO RADIOMÉTRICA DE IMAGENS DE SATÉLITE

SILVIA SHIZUE LEONARDI<sup>1</sup>  
SONIA MARA DE SOUZA<sup>1</sup>  
LEILA MARIA GARCIA FONSECA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
sonia@dea.inpe.br  
{silvia, leila}@dpi.inpe.br

**Abstract.** At present, the applications involving satellite images in multi-temporal approaches have become very common for analyzing natural, environmental and meteorological resources. However, multi-temporal images present radiometric differences, which can introduce errors in the data interpretation. Several radiometric rectification methods, which normalize the radiometric information of the images set, have been proposed. In this paper, four of these methods have been tested and compared. Two set of images from Landsat-TM-5 and ETM+ are used in the experimental results.

**Keywords:** remote sensing, image processing, radiometric normalization.

### 1. Introdução

Durante a aquisição de dados pelos sensores orbitais, existem vários fatores que causam as distorções radiométricas das imagens tais como a diferença das condições atmosféricas, iluminação, ângulos de visada, entre outros. Para determinadas aplicações, a correção destas distorções é um processo indispensável. Por outro lado, em muitas situações, o processo de correção radiométrica não é uma tarefa fácil, principalmente quando o procedimento envolve o conhecimento dos fatores que causam tais distorções que nem sempre estão disponíveis.

Em função disso, na análise multi-temporal, vários autores utilizam a normalização (ou retificação) radiométrica ao invés de correção radiométrica. Normalizar radiometricamente duas imagens de datas distintas, tem como objetivo compatibilizar as amplitudes dos níveis de cinza dos elementos de imagem em cada banda espectral de uma série multitemporal de imagens. Este processo será denominado doravante de *retificação radiométrica*, o qual inicia com a eleição de uma das imagens temporais como imagem de *referência* e as outras imagens como imagem de *ajuste*. Geralmente, essa técnica consiste em determinar os coeficientes de uma transformação linear, que aplicada à imagem de ajuste, efetua a retificação desejada.

Este documento tem por principal objetivo comparar quatro métodos de retificação radiométrica: RABIM (*Automatic registration based on Mutual Information*), ASCR (*Automatic Scattergram-Controlled Regression*), UMV (*Averages and Variances Normalization*) e HALL (método proposto por Hall et al. (1991). Estes algoritmos serão descritos a seguir.

Para os resultados experimentais foram utilizadas imagens multi-temporais dos sensores Landsat-TM5 e Landsat-ETM+.

### 2. Método RABIM

O algoritmo proposto por Neto (2001) baseia-se na informação mútua como métrica de similaridade. O trabalho de Neto (2001) envolve o registro e correção radiométrica das imagens em um único passo. Para a realização deste trabalho, foi feita uma alteração no

método de Neto para a execução apenas da operação de retificação, já que o método de registro não se mostrou muito robusto em algumas aplicações. O processo de registro é realizado separadamente, antes do processo de retificação radiométrica.

No processo de retificação é usada a informação mútua como uma medida de similaridade, uma transformação linear para a normalização radiométrica e a busca otimizada dos parâmetros da transformação. A normalização da imagem de ajuste  $S$  é feita através de transformações radiométricas sucessivas, cujos parâmetros são incrementados com base na informação mútua entre a imagem de referência  $R$  e a imagem de ajuste transformada  $S'$ . O Método de Powell é utilizado para a busca otimizada dos parâmetros para atingir o mínimo da função, o que implica na normalização radiométrica para a máxima informação mútua entre as duas imagens. No fim desta etapa a imagem  $S''$  é normalizada em relação à imagem  $R$ .

A informação mútua  $IM_{RS}$ , que expressa a similaridade entre uma imagem de referência  $R$  e a imagem de ajuste  $S$ , é definida pela seguinte equação:

$$IM_{RS} = \sum_{(r,s)} P_{RS}(r,s) \log \left( \frac{P_{RS}(r,s)}{P_R(r) \cdot P_S(s)} \right) \quad (1)$$

onde  $r$  e  $s$  são os valores de intensidade dos pixels das imagens  $R$  e  $S$ , respectivamente.  $P_R(r)$  e  $P_S(s)$  são as distribuições de probabilidade de  $r$  e  $s$  em cada imagem, respectivamente, e  $P_{RS}(r,s)$  a distribuição da probabilidade conjunta de  $r$  e  $s$ .

O cálculo da probabilidade ( $P_R$  e  $P_S$ ) é feito utilizando o histograma da imagem de referência  $R$  e da imagem de ajuste  $S$ , e a probabilidade conjunta de  $R$  e  $S$  ( $P_{RS}$ ) é calculada utilizando o diagrama de dispersão.

Basicamente, uma transformação genérica  $T$  é aplicada sucessivamente na imagem de ajuste e o valor da informação mútua, dada na equação (1), é calculado para cada transformação. Este processo termina quando a máxima informação mútua entre as imagens é alcançada.

### 3. Método de Uniformização das Médias e Variâncias (UMV)

Este método consiste em igualar as médias e variâncias de duas imagens, através de uma transformação linear. Para isto, são calculados os parâmetros (ganho e *offset*) da função que quando aplicada à imagem de ajuste, a imagem resultante tenha a mesma média e variância da imagem de referência.

O cálculo do ganho e *offset* é baseado na função de transformação  $f(x) = ax + b$ , ou seja:

$$\mu_R = \text{ganho} \cdot \mu_S + \text{offset} \quad \text{e} \quad \sigma_R^2 = \text{ganho}^2 \cdot \sigma_S^2$$

O que pode ser reescrito da seguinte maneira:

$$\text{ganho} = \sqrt{\frac{\sigma_R^2}{\sigma_S^2}} \quad (2)$$

$$\text{offset} = \mu_R - \sqrt{\frac{\sigma_R^2}{\sigma_S^2}} \cdot \mu_S \quad (3)$$

onde  $\mu_S$ ,  $\mu_R$ ,  $\sigma_S^2$  e  $\sigma_R^2$  são as médias e variâncias das imagens de ajuste e referência, respectivamente.

Para a imagem resultante  $S'$  temos então:

$$S' = S \cdot \text{ganho} + \text{offset} \quad (4)$$

#### 4. Método proposto por Elvidge et al (1995)

Este método consiste em fazer a normalização radiométrica entre imagens utilizando, como nos casos anteriores uma transformação linear que é calculada usando somente os pixels que tiveram pouca ou nenhuma alteração dos valores dos níveis de cinza (que o autor chama de *NoChange*).

Primeiramente, são gerados os diagramas de dispersão das imagens. Para isso são utilizadas as bandas do vermelho e do infravermelho próximo por possuírem menor influência atmosférica (bandas 3 e 4 do Landsat).

Em seguida, através dos diagramas de dispersão, os centros dos agrupamentos correspondentes à água e vegetação são determinados. Estes agrupamentos correspondem às áreas com grande presença de pixels e através dos seus centros são calculados os valores iniciais do ganho e *offset* da função de transformação. Estes parâmetros definem uma reta, e a região de *NoChange* é encontrada pela distância perpendicular a essa reta. Elvidge (1995) definiu como sendo 10 (em nível de cinza) esta distância, mas uma modificação foi feita de tal forma que essa medida pudesse ser calculada, automaticamente, através da largura dos centros dos agrupamentos.

Os valores que tiverem dentro da região de *NoChange* serão selecionados. Os coeficientes de regressão linear são calculados para cada par de bandas (ajuste e referência) através do método de mínimos quadrados. Para isso são calculadas as médias e variâncias somente dos pixels da área de *NoChange*. Ao final dessa etapa são encontrados os novos valores de ganho e *offset*, os quais são usados para normalizar toda imagem de ajuste.

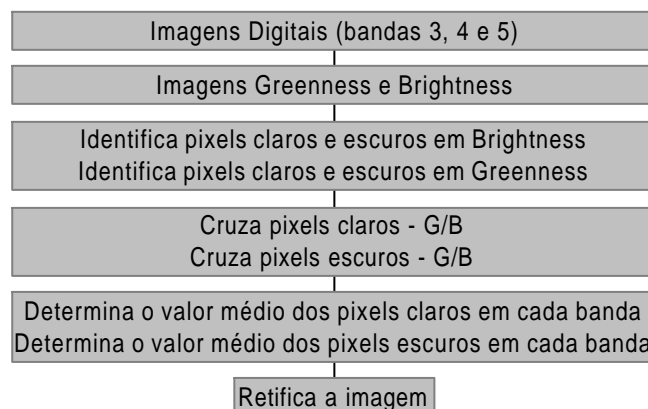
#### 5. Método proposto por Hall et al (1991)

O objetivo deste método é normalizar radiometricamente as imagens compensando as diferenças de calibração do sensor, atmosfera e de iluminação entre as imagens. Hall et al (1991) usa as imagens de reflectância, enquanto que em nosso trabalho usaremos as imagens digitais.

O algoritmo consiste em :

- 1) Identificar conjuntos de pontos que tenham pouca ou nenhuma variação de nível de cinza entre as imagens. Os extremos do diagrama de dispersão de KT (Kauth-Thomas) sempre correspondem aos elementos da paisagem que têm essa característica.
- 2) Normalizar radiometricamente a imagem usando uma transformação linear cujos coeficientes são calculados baseados nas médias dos conjuntos de pontos encontrados no passo anterior, para cada imagem.

O diagrama abaixo mostra a metodologia proposta por Hall.



## 6. Critério de Avaliação

Para avaliar os quatro métodos foi utilizada a distância euclidiana média, calculada entre a imagem de referência e a normalizada, através da seguinte forma:

$$d = \frac{1}{M \times N} \sum_x \sum_y \sqrt{\sum_{i=1}^n (I_{R_i}^{(x,y)} - I_{A_i}^{(x,y)})^2}$$

onde  $M \times N$  é o tamanho da imagem,  $x$  e  $y$  são a posição do pixel na imagem,  $n$  é o número de bandas,  $I_R$  e  $I_A$  são a imagem de referência e de ajuste. Quanto mais próximo de zero estiver o valor  $d$  melhor será o método.

Os resultados experimentais foram testados para dois conjuntos de imagens dos sensores Landsat-TM-5 e Landsat-ETM+. O primeiro conjunto cobre a região de São Paulo, e foram tomadas nas datas 20/04/2002 (imagem de referência) e 07/08/2001 (imagem de ajuste). As imagens ETM+ cobrem a região de Delta do Parnaíba e foram adquiridas em 10/06/91 (imagem de referência) e 14/06/90 (imagem de ajuste). Os resultados da avaliação são mostrados na Tabela 1.

## 7. Resultados e Conclusões

As Figuras 1 -6 mostram os resultados experimentais usando imagens ETM+ e as Figuras 7-12 mostram os resultados obtidos usando as imagens TM-5. Analisando, visualmente, os resultados encontrados para o Landsat ETM+ os melhores resultados foram para os métodos de Hall e UMV, o que concorda com os resultados obtidos na Tabela 1, cujos valores da distância euclidiana média foram 16,72 e 16,12 respectivamente.

Para as imagens do Landsat-TM5, visualmente os melhores resultados também foram para os métodos de Hall e UMV, o que também concorda com os resultados obtidos na Tabela 1, cujos valores da distância euclidiana média foram 25,86 e 19,27 respectivamente. Pode-se observar que, para essas imagens, houve uma grande mudança radiométrica entre as imagens de referência e de ajuste e mesmo assim os algoritmos tiveram um bom comportamento, com exceção do método RABIM que teve o pior resultado, pois houve a saturação da banda 3.

Deve-se salientar que esse critério de avaliação radiométrica entre as imagens é um pouco subjetivo. O ideal seria comparar o resultado obtido pelos algoritmos com a realidade de campo, mas que nem sempre é trivial. Para trabalhos futuros, talvez fosse possível medir a reflectância de alguns alvos escolhidos com muito critério e depois comparar com os diversos métodos de retificação radiométrica disponíveis.

Tabela 1: Distância Média Euclidiana.

	UMV	RABIM	HALL	ASCR
<b>SÃO PAULO</b>	16,12	20,35	16,72	38,10
<b>DELTA PARNAÍBA</b>	19,27	229,55	25,86	36,76



Figura 1. Imagem de referência



Figura 2. Imagem de ajuste

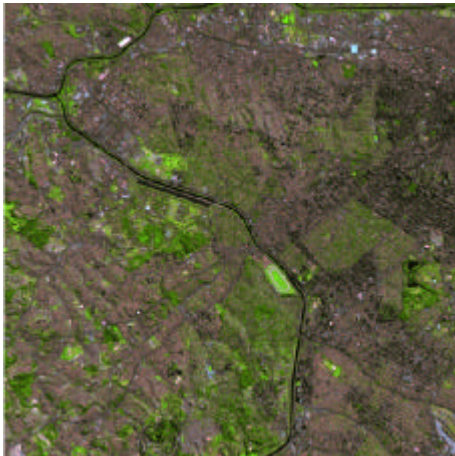


Figura 3. UMV



Figura 4. RABIM

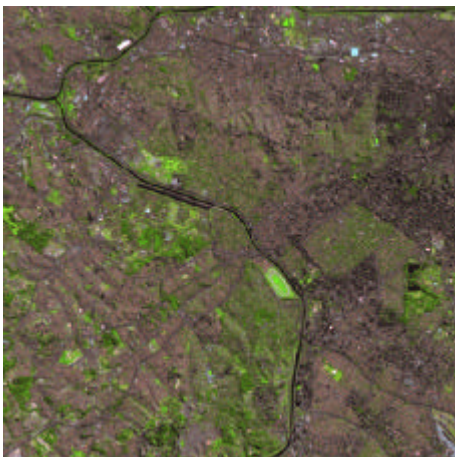


Figura 5. Hall



Figura 6. ASCR

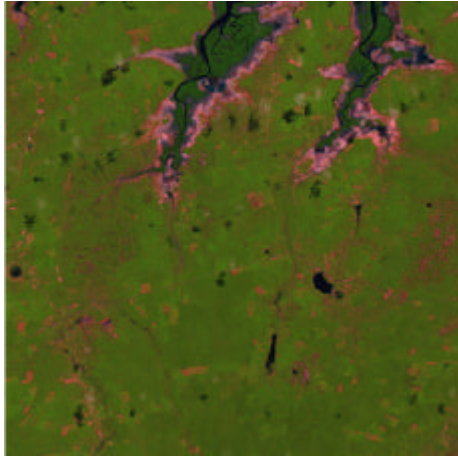


Figura 7. Imagem de referência

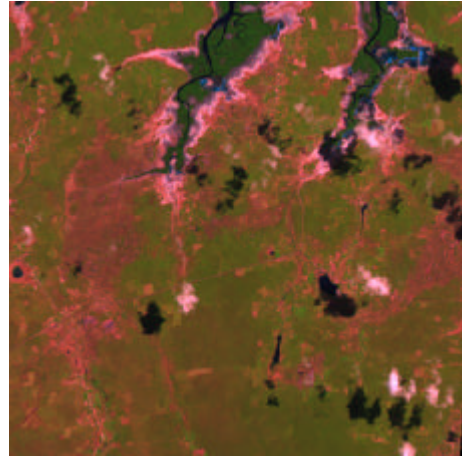


Figura 8. Imagem de ajuste

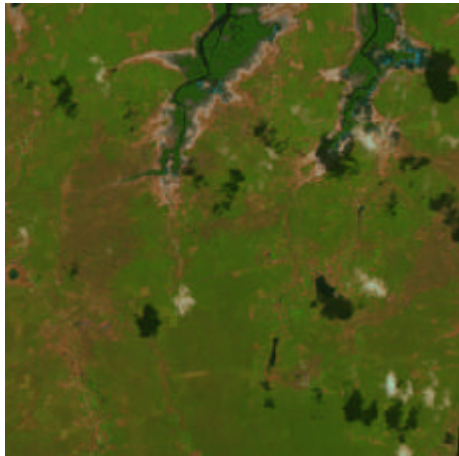


Figura 9. UMV

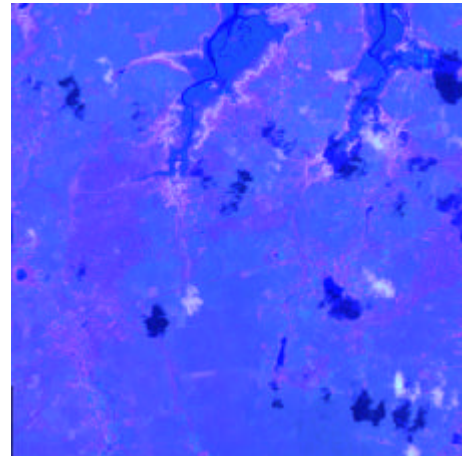


Figura 10. RABIM

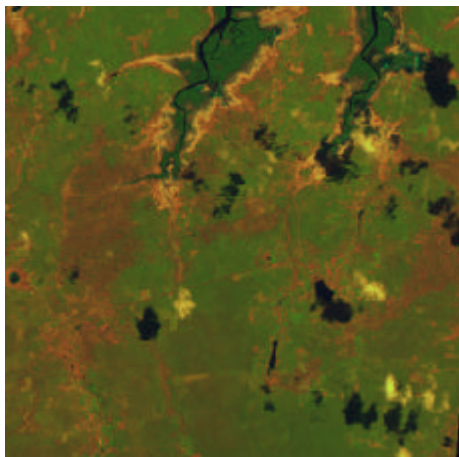


Figura 11. Hall

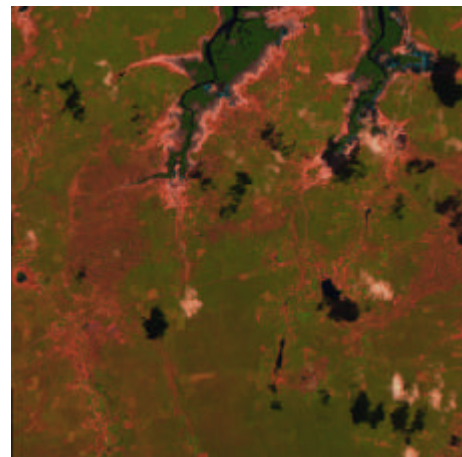


Figura 12. ASCR

## Referências

Neto, J. P. Q. Normalização Radiométrica de Imagens de Satélite em Áreas da Floresta Amazônica. Belo Horizonte, 113 p. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação – Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.

Elvidge, C. D.; Yuan D.; Weerackoon D.; Lunetta, R. S. Relative Radiometric Normalization of Landsat Multispectral Scanner (MSS) Data Using an Automatic Scattergram-Controlled Regression. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 61, n.10, p. 1255-1260, Oct.1995.

Hall, F. G.; Strebel, D. E.; Nickeson, J. E.; Goetz, S. J. Radiometric Rectification: Toward a Common Radiometric Response Among Multidate, Multisensor Images. *Remote Sensing of Environment*, v. 35, p. 11-27, 1991.