

Estudo Comparativo de Técnicas de Modificação Histogramática de Imagens TM Landsat 5

PAULO ROBERTO MENESES¹

DANIEL TÁVORA DE QUEIROZ COBRA²

Universidade de Brasília

¹Departamento de Geologia Geral e Aplicada

²Departamento de Engenharia Elétrica

70910-900 Brasília - DF

E-mail: cobra@brunb.bitnet

Abstract. The effect of linear and non-linear transformations on color composites of TM bands 3, 4, and 5 is evaluated, aiming at determining an RGB composite enhancing standard suitable to typical Brazilian geographical scenarios. For this selection of bands, the results obtained indicate that Gaussian or linear transformations are the most appropriate for band 4, while linear transformations or quadratic hyperbolization are the most appropriate for band 3, depending on the geographical characteristics of the imaged area. The original band 5, due to its typically broad dynamic interval and Gaussian-shaped histogram, usually does not require histogram modification.

1 Introdução

Composições coloridas RGB são uns dos mais comuns padrões de imagens usadas nas aplicações de sensoriamento remoto, e a qualidade dos altos contrastes visuais destas composições é dependente da seleção das bandas combinadas e do realce aplicado individualmente a cada banda. Quase sem exceção, a forma mais comum de realce aplicada é a transformação histogramática do tipo linear, mesmo sabendo-se que o processamento feito no nível periférico de nosso sistema visual é uma transformação não-linear entre a intensidade luminosa da imagem observada e a intensidade luminosa percebida subjetivamente pelo sistema visual central.

Sendo assim, justifica-se investigar que resultados seriam obtidos se fossem aplicadas técnicas não-lineares de transformações histogramáticas, do tipo exponencial, logarítmica, gaussiana, equalização e hiperbolização. Na avaliação destas técnicas foram usadas as bandas TM 3, 4 e 5, que reúnem o mais distinto contraste espectral entre si, e são as mais usadas nas gerações de composições coloridas para fins de mapeamentos do uso da terra. A análise foi feita de forma comparativa, observando-se os resultados dos contrastes obtidos através de composições coloridas RGB/345 de áreas que exemplificam os padrões de imagens da região amazônica, região nordeste e do centro-oeste.

O trabalho descrito neste artigo foi realizado com o apoio do Programa RHA/E/SCT, processo n.º 360.367/92-5.

2 Técnicas de Modificação de Histograma

As técnicas de modificação de histograma empregadas neste trabalho são transformações do tipo ponto-a-ponto, ou seja, o valor de um determinado pixel da imagem processada é calculado unicamente a partir do pixel correspondente da imagem original, embora a transformação em si seja inicialmente determinada com base no histograma da imagem como um todo.

Definimos o histograma de uma banda como a função que a cada valor possível dos elementos da imagem (*pixels*) associa o número de pixels que assumem aquele valor, dividido pelo número total de pixels. A normalização pelo número total de pixels é feita para que a análise seja independente do tamanho da imagem. O valor de um determinado pixel na imagem original é indicado por f e o valor deste pixel na imagem processada, após a aplicação da transformação, é indicado por g . Os histogramas das imagens original e processada são indicados por $p_f(f)$ e $p_g(g)$, respectivamente, por analogia à notação usual de teoria de probabilidade.

2.1 Transformação Linear

Uma das técnicas mais básicas para se modificar o histograma de uma imagem é a transformação linear, na qual o valor de cada pixel da imagem processada é obtido por meio de uma função linear do pixel correspondente da imagem original. Para que os valores dos pixels da imagem processada ocupem todo o intervalo permitido, que em nosso caso foi de 0 a 255,

a transformação linear usada foi

$$g(f) = 255 \frac{(f - f_{min})}{(f_{max} - f_{min})},$$

onde f_{min} e f_{max} são os valores mínimo e máximo dos pixels da imagem original. Como g representa o valor de um pixel de uma imagem digital, fica subentendido que o resultado desta transformação, que em geral é um número real, deve ser arredondado para o inteiro mais próximo. O mesmo é válido para todas as outras transformações consideradas a seguir.

2.2 Transformação Exponencial

É sabido que a intensidade luminosa percebida subjetivamente pelo sistema visual central humano guarda uma relação não-linear para com a intensidade luminosa física da imagem observada [Pratt (1978)], sendo esta transformação frequentemente descrita por um modelo logarítmico. Com o intuito de cancelar este efeito, pode-se submeter a imagem à transformação exponencial [Costa e Menezes (1992)]

$$g(f) = 255^{(f - f_{min}) / (f_{max} - f_{min})}.$$

Observe-se que, neste caso, os valores dos pixels da imagem processada variam entre 1 e 255.

2.3 Transformação Logarítmica

É possível também aplicar à imagem uma transformação logarítmica, de forma a reforçar a característica do sistema visual humano. Neste caso a transformação usada foi [Costa e Menezes (1992)]

$$g(f) = 255 \frac{\ln(f/f_{min})}{\ln(f_{max}/f_{min})}.$$

2.4 Equalização de Histograma

Outra técnica bastante conhecida é a de equalização de histograma, que busca fazer com que os valores dos pixels da imagem processada se apresentem uniformemente distribuídos no intervalo permitido. Pode-se demonstrar [Pratt (1978)] que tal transformação é dada por

$$g(f) = 255 P_f(f),$$

onde $P_f(f)$ é o histograma cumulativo da imagem original,

$$P_f(f) \triangleq \sum_{n=0}^f p_f(n).$$

Portanto, $P_f(f)$ é o número de pixels com valor menor ou igual a f , dividido pelo número total de pixels. No caso de uma imagem analógica, esta transformação (com 255 substituído pelo valor máximo

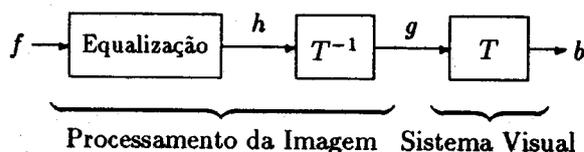


Figura 1: Esquema da técnica de hiperbolização de histograma.

permitido para g) fornece uma imagem com distribuição $p_g(g)$ exatamente uniforme. Para uma imagem digital, porém, em geral não é possível obter-se um histograma exatamente uniforme, mas apenas aproximadamente uniforme.

2.5 Hiperbolização de Histograma

Existe um conjunto de técnicas de modificação de histograma que buscam equalizar o histograma não da imagem observada mas sim da imagem subjetivamente percebida pelo sistema visual central. As transformações resultantes desta abordagem recebem coletivamente o nome de hiperbolização de histograma. [Frei (1977), Cobra et al. (1992)]

Ao se observar uma imagem monocromática com histograma equalizado, os níveis de cinza percebidos pelo sistema visual central não serão uniformemente distribuídos, devido à transformação não-linear efetuada pelo sistema visual. O princípio básico da técnica de hiperbolização de histograma é o de submeter a imagem a uma equalização de histograma seguida pela transformação inversa àquela efetuada pela porção periférica do sistema visual humano, como se vê na Figura 1. Com isto, espera-se cancelar o efeito desta transformação não-linear, de forma que a imagem analisada pelo sistema visual central tenha efetivamente um histograma equalizado.

Frei demonstrou que é possível combinar as duas etapas do processamento da imagem, obtendo uma transformação direta $g(f)$ que satisfaz o critério acima descrito. Em seu trabalho, Frei utilizou o seguinte modelo logarítmico para a característica não-linear do sistema visual periférico:

$$b(g) = \ln(g + c),$$

onde g representa a intensidade dos pixels da imagem observada, b representa a intensidade percebida pelo sistema visual central, e c é uma constante cujo valor é determinado empiricamente. Segundo Frei, o valor de c que fornece melhores resultados é 0,573.

A partir deste modelo, Frei obteve a transforma-

ção

$$g(f) = c \left[\left(1 + \frac{255}{c} \right)^{P_f(f)} - 1 \right]$$

Também demonstrou que o histograma de uma imagem analógica processada com esta transformação tem forma hiperbólica, o que dá o nome a esta técnica.

Utilizando um modelo ligeiramente diferente do adotado por Frei, é possível obter-se uma transformação de forma mais simples, mas que fornece essencialmente o mesmo resultado. Esta transformação, que chamamos de hiperbolização Weberiana, é dada por [Cobra *et al.* (1992)]

$$g(f) = 255 P_f(f)$$

2.6 Hiperbolização Quadrática

O modelo logaritmico para a característica não-linear do sistema visual humano ignora o fato de que o sistema visual se acomoda ao valor da intensidade média da imagem, \bar{g} , e não ao valor de cada pixel em análise, g . Um modelo alternativo, que leva em conta este fato, é [Pratt (1978)]

$$b(g) = \frac{g(255 + \bar{g})}{g + \bar{g}}$$

Utilizando-se este modelo, obtém-se a transformação [Cobra *et al.* (1992)]

$$g(f) = \frac{65,0 P_f(f)}{1,255 - P_f(f)}$$

que denominamos hiperbolização quadrática de histograma, pois é possível demonstrar que uma imagem analógica processada com esta transformação tem histograma de forma hiperbólica quadrática.

Ao contrário da transformação linear, exponencial e logaritmica, imagens analógicas processadas com as técnicas de equalização e hiperbolização de histograma possuem histogramas finais que independem do histograma da imagem original. A Figura 2 apresenta tais histogramas para efeito de comparação. No caso de imagens digitais, os histogramas têm formas aproximadamente iguais a estas. Nota-se que a técnica original de hiperbolização e a hiperbolização Weberiana resultam em histogramas bastante semelhantes, enquanto que a hiperbolização quadrática difere apreciavelmente das outras duas, produzindo uma distribuição menos concentrada nos tons escuros.

3 Transformações Utilizadas

A avaliação de cada uma das técnicas de realce por transformações histográficas descritas acima foi fei-

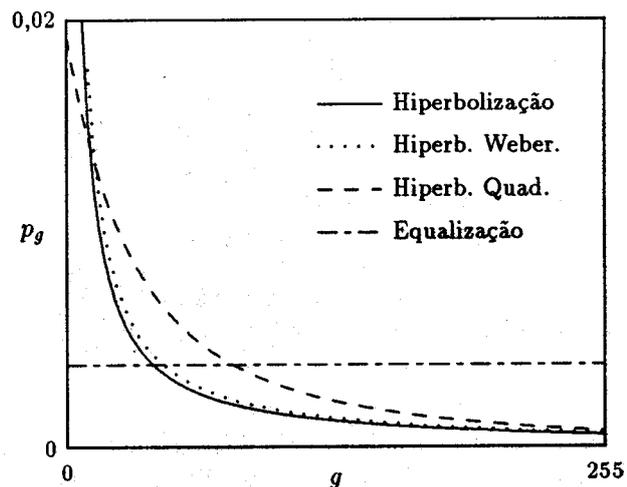


Figura 2: Histogramas de imagens analógicas processadas com algumas das técnicas descritas neste artigo. [Cobra *et al.* (1992)]

ta comparando-se o seu desempenho sobre um conjunto de imagens TM em diferentes bandas espectrais e de áreas de distintas regiões paisagísticas do Brasil. As áreas selecionadas exemplificam os padrões de imagens da região amazônica, onde a densa cobertura vegetal se contrasta com áreas desmatadas, da região nordeste, onde a menor densidade de cobertura vegetal deixa expor naturalmente o solo ou o substrato rochoso, e da região centro-oeste, onde as atividades de uso de solo são dominantes. Com relação à seleção de bandas, optou-se por selecionar as bandas 3 do visível e as bandas 4 e 5 do infravermelho próximo, por serem espectralmente bastante diferenciadas entre si e por serem as mais frequentemente combinadas em composições coloridas padrão RGB, para fins de mapeamento do uso da terra aplicado à análise ambiental. [Faria *et al.* (1988), Foresti (1988), Moreira (1990)] Este é um dos padrões de imagens mais familiar dos usuários de sensoriamento remoto e, portanto, seria oportuno averiguar, para fins práticos, quais das técnicas seriam mais eficientes para se obter uma melhor composição colorida RGB da combinação das bandas TM 3, 4 e 5.

Devido à resolução espacial de 30 m das imagens TM, a área possível de ser exposta numa tela de vídeo na máxima escala de ampliação é da ordem de 50 km². Numa área desta dimensão a presença de vegetação natural ou artificial é um dos alvos mais comuns, e assim o padrão espectral geral da imagem é fortemente controlado pela reflectância da vegetação. Tomando-se a curva padrão de reflectância da vegetação é fácil explicar porque as imagens da

banda 3 em qualquer região do Brasil têm uma reflectância média baixa, que implica numa imagem relativamente escura. O inverso se produz para a banda 4, enquanto a banda 5 para qualquer área é a imagem de maior variância histogrâmica.

Portanto, ao se fazer uma composição colorida RGB com estas 3 bandas, pode-se previamente estabelecer qual o procedimento mais lógico para a escolha do tipo de transformação histogrâmica a se aplicar, ao invés de se fazer todas as possíveis tentativas disponíveis pelas técnicas. Analisando-se individualmente cada uma destas bandas, verifica-se que a banda 5 original possui um curva histogrâmica de características gaussianas com média centrada próxima a 128 e amplo intervalo dinâmico, o que dispensaria a necessidade de aplicar-se transformações histogrâmicas, dado já ser uma imagem de bom contraste espectral.

A banda 4 tem como atributo visual mais importante o realce do relevo, e a vegetação, ao contrário de ser uma fator limitante, passa a ser espectralmente o componente responsável para a acentuação de contraste do par face frontal clara/face oposta escura, que gera a sensação tridimensional do relevo. Por isso, deve-se evitar transformações histogrâmicas que possam saturar a imagem. É suficiente apenas aumentar um pouco o seu contraste, o que se consegue mais facilmente com a técnica de ampliação linear ou por aproximação gaussiana.

No caso da banda 3, a imagem é em geral caracterizada por uma baixa radiância ou baixos valores de níveis de brilho, com pouco contraste. Torna-se imperativo que se efetue nesta banda uma boa ampliação de contraste, para não se ter uma influência negativa ou prejudicial na sua composição com as outras duas bandas.

Sendo assim, foi nesta banda que testou-se as possíveis opções de transformações que foram implementadas no SITIM-150 pelo Dept.º de Engenharia Elétrica da UnB [Costa e Menezes (1992)], verificando-se para cada técnica qual o seu efeito na formação da composição colorida RGB da combinação das bandas TM 5, 4 e 3, respectivamente. Observou-se que as técnicas de aproximação gaussiana, equalização, hiperbolização e hiperbolização quadrática forçosamente tendem a realçar ruídos coerentes que as bandas vierem a apresentar. A avaliação do desempenho das transformações foi feita por uma análise visual da composição colorida, onde procurou-se avaliar o poder de detecção e discriminação dos diferentes alvos presentes na cena.

4 Resultados

Os resultados desta análise foram:

Área teste amazônica - A transformação hiperbólica quadrática apresentou resultados bem superiores às demais técnicas, permitindo uma diferenciação mais nítida dos níveis de alteração das áreas de vegetação degradada. Embora a banda realçada tenda a enfatizar com certo exagero ruídos tipo *striping*, quando combinada com as duas outras bandas esse efeito é totalmente despercebido.

Área teste centro-oeste - O contraste entre as diferentes parcelas de uso de solo e das classes de vegetação de cerrado tiveram um resultado muito próximo com as técnicas gaussianas, hiperbólica quadrática e linear.

Área teste nordeste - A transformação linear supera as demais, com uma pequena vantagem sobre a hiperbólica quadrática.

5 Conclusão

Em resumo, constatou-se que a geração de composições coloridas RGB das bandas TM 3, 4 e 5 é beneficiada por transformações histogrâmicas adequadas às características radiométricas de cada banda e ao padrão paisagístico da área em questão. Para os padrões de imagens das áreas paisagísticas típicas do Brasil, melhores resultados foram obtidos com as transformações hiperbólica quadrática, gaussianas e linear.

A banda 5 tipicamente apresenta um bom nível de contraste, dispensando transformações histogrâmicas. Para a banda 4, independentemente da região, realces lineares ou gaussianos são os mais adequados, contanto que possa ser evitada a saturação dos pixels.

A banda 3, por ser a que possui o menor contraste e a mais baixa radiância, tem forte influência nos resultados da composição, conforme seja o tipo de realce histogrâmico a ela aplicado. Verificou-se que a transformação hiperbólica quadrática é mais adequada em áreas com maior densidade e uniformidade de vegetação, ou seja, em padrões de imagens onde internamente as classes de objetos possuem pequena variação dinâmica de níveis de cinza, como é o caso das imagens da região amazônica e, em ordem inferior, da região centro-oeste. Quando as classes dos objetos compõem-se por pixels de mistura de alvos (solo exposto mais vegetação), como na áreas do nordeste, a transformação linear é superior.

Referências

D. T. de Q. Cobra, J. A. D. D. Costa e M. F. de B. Menezes. Realce de imagens por hiperbolização quadrática de histograma. *Anais do V Simp. Bras.*

de *Comp. Gráfica e Proc. de Imagens*, pp. 63-71, Águas de Lindóia - SP, novembro de 1992.

J. A. D. D. Costa e M. F. de B. Menezes. Processamento de imagens de satélite por modificação de histograma. Projeto final de graduação, Universidade de Brasília, Dept.º de Eng. Elétrica, julho de 1992.

K. Faria, C. C. Neves, F. J. Mendonça e M. Valério F.º Pré-seleção de áreas para assentamento rural através de imagens de satélite. *Anais do V Simp. Bras. de Sens. Remoto*, V. 1, pp. 55-63, Natal, 1988.

C. Foresti. Impacto ambiental da expansão urbana no setor oeste da área metropolitana de São Paulo: Análise através de dados e técnicas de sensoriamento remoto. *Anais do V Simp. Bras. de Sens. Remoto*, V. 1, pp. 121-130, Natal, 1988.

W. Frei. Image enhancement by histogram hyperbolization. *Journal of Computer Graphics and Image Processing*, pp. 286-294, June 1977.

M. A. Moreira. Uso da expansão direta para estimar áreas de soja e milho através de dados multiespectrais e temporais do Landsat TM. *Anais do VI Simp. Bras. de Sens. Remoto*, pp. 781-790, Manaus, 1990.

W. K. Pratt. *Digital Image Processing*. John Wiley & Sons, New York, 1978.