

REFLECTÂNCIA A PARTIR DO NÚMERO DIGITAL DE IMAGENS ETM+

ALFREDO JOSÉ BARRETO LUIZ¹
SALETE GÜRTLER¹
JOSÉ MARINALDO GLERIANI¹
JOSÉ CARLOS NEVES EPIPHANIO¹
ROGÉRIO COSTA CAMPOS¹

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{barreto, salete, gleriani, epiphani, rogerio}@ltid.inpe.br

Abstract. For each scene of ETM+ a simple linear regression model can be applied over the original digital number, with only two constant parameters by spectral band, resulting in the reflectance value. When a correction for atmospheric scattering is done with any dark-object subtraction technique, only one constant is needed by band and the process is easier. The process is explained in detail and a simple algorithm is proposed. An example of application is fully described with the constants for a scene over Northern São Paulo State (WRS 220/74) from January/05/2002. Care with the reflectance image construction is highlighted and a new method for it is presented.

Keywords: remote sensing, image processing, atmospheric correction, reflectance image, digital number.

1. Introdução

Em muitas situações é necessária a obtenção dos valores de reflectância dos alvos presentes em uma cena, não bastando apenas os valores dos números digitais (ND) que compõem a imagem. Isso acontece quando se deseja estudar o comportamento espectral dos alvos, quando se pretende comparar imagens obtidas por diferentes sensores ou em variadas datas ou épocas do ano, entre outros motivos. Os textos que descrevem a maneira de efetuar a transformação de ND em reflectância, provavelmente na tentativa de serem abrangentes e de aplicação geral, apresentam o processo de forma extremamente complicada e ineficiente do ponto de vista computacional.

Este documento tem como principal objetivo demonstrar que, para cada imagem ETM+, basta ajustar o ND de um elemento pictórico (pixel) a um modelo de regressão linear simples, com apenas dois parâmetros constantes, para se obter o valor em reflectância correspondente.

O desenvolvimento passo a passo, partindo do número digital, passando pela radiância e chegando à reflectância, considerando ou não a correção atmosférica, será apresentado na forma de um algoritmo simples. A título de exemplo, serão calculados detalhadamente os parâmetros constantes para a transformação de ND em reflectância para a cena 220/74 de 05/01/2002.

2. Cálculo da reflectância

Praticamente em todo livro de sensoriamento remoto aparecem fórmulas genéricas, aplicáveis a diversos sensores, locais, alvos e datas, para efetuar a transformação de ND em radiância e de radiância em reflectância, como em Lillesand e Kiefer (1994) e em Mather (1999). Outros autores são ainda mais teóricos neste ponto, e apresentam as fórmulas da radiância e da reflectância, sem apresentar sua relação com números digitais coletados por sensores a bordo de satélites, como é o caso de Jensen (2000) e de Schott (1997). Esta apresentação genérica do assunto é explicada pelo fato de que um livro deve tratar de maneira relativamente profunda e ampla os temas aos quais se dedica para ser respeitado e duradouro. Entretanto, esta generalização pode se dar em detrimento

da praticidade e especificidade. Para processar uma única imagem, a data, o sensor, as condições dos alvos e da atmosfera, são todos constantes; portanto, é recomendável abrir mão da generalidade para se ganhar em eficiência.

O livro de Richards (1995) chega a apresentar (infelizmente de forma resumida e sem muito detalhamento) uma forma simples e fácil para obter o valor de reflectância diretamente a partir do número digital utilizando parâmetros constantes; constantes estas obtidas usando dados do sensor e da imagem, recolhidos das tabelas publicadas no artigo de Forster (1984). Entretanto, no livro só aparecem os “valores mágicos” para duas bandas de uma imagem do Landsat 2 MSS coletada em Sidnei, na Austrália, em 14 de dezembro de 1980. No trabalho original de Forster (1984), o processo para a obtenção da reflectância, com correção atmosférica, para a banda 7 do MSS, é descrito em 23 passos, resultando ao final em uma regressão linear simples da forma:

$$Ref = i + (j \times ND)$$

sendo Ref o valor da reflectância; ND o número digital; e i e j os parâmetros constantes determinados para aquela cena específica.

Também para fazer a transformação de ND em radiância, no caso do sensor ETM+ do Landsat 7, basta resolver uma regressão linear simples para cada banda espectral, cujos parâmetros são fornecidos (e atualizados) pelos responsáveis pelo satélite. Estes valores, atualizados até agosto de 2002, estão registrados na **Tabela 1**. Chama-se a atenção para o fato de que, como não é a reflectância o que se mede pela banda 6 do ETM+, os dados referentes a esta banda não serão tratados neste artigo.

Tabela 1. Parâmetros do ETM+ para a transformação do ND em radiância [watts/(m ² ×ester radiano×µm)] e valores da irradiância no topo da atmosfera nos intervalos correspondentes às bandas.							
Banda	Irradiância (E) [watts/(m ² ×µm)]	até 01/julho/2000			após 01/julho/2000		
		a ¹	b ²		a ¹	b ³	
			baixo ganho	alto ganho		baixo ganho	alto ganho
1	1969	-6,20	1,1909804	0,7862745	-6,20	1,1760784	0,7756863
2	1840	-6,00	1,2133333	0,8172549	-6,40	1,2050980	0,7956863
3	1551	-4,50	0,9411765	0,6396078	-5,00	0,9388235	0,6192157
4	1044	-4,50	0,9392157	0,6352941	-5,10	0,9654902	0,6372549
5	255,7	-1,00	0,1909804	0,1284706	-1,00	0,1904706	0,1257255
7	82,07	-0,35	0,0664706	0,0442431	-0,35	0,0662353	0,0437255
8	1368	-5,00	0,9764706	0,6407843	-4,70	0,9717647	0,6392157

¹ os valores de a são iguais tanto para alto como para baixo ganho, em um mesmo período
² em média, os valores de alto ganho são iguais a 0,6691805756 vezes os de baixo ganho (fator q_a)
³ em média, os valores de alto ganho são iguais a 0,6596341162 vezes os de baixo ganho (fator q_d)

A equação para a transformação é tão simples como:

$$Rad = a + (b \times ND)$$

sendo Rad o valor da radiância; ND o número digital; e a e b os parâmetros fornecidos pela Tabela 1, denominados intercepto e ganho, respectivamente. Observa-se que o intercepto assume um valor negativo, cujo significado pode ser compreendido pela análise da Figura 1.

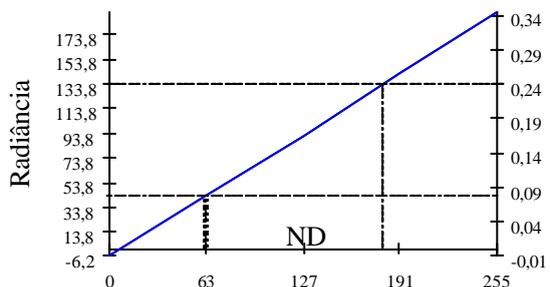


Figura 1. Relação entre o número digital (ND), a radiância e a reflectância aparente, na banda 1 de uma imagem ETM+, 220/74, de 05/01/2002.

O valor negativo significa que, mesmo quando não há radiância chegando ao sensor, o sistema, que converte a radiância em sinal elétrico e o sinal elétrico em número digital, produz uma saída maior que zero. Ao expressar y em função de x , e supondo que teoricamente o ND pudesse assumir o valor zero, chega-se ao resultado de que, em tal situação hipotética, a radiância deveria ser negativa. Como isso é fisicamente impossível, o verdadeiro significado prático é que, para cada banda, existe um valor mínimo de ND observável, independente de estar ou não chegando radiância ao sensor. Esse valor é determinado pela engenharia do sensor, e pode ser calculado substituindo-se Rad por zero na equação anterior, isolando ND, o que leva à seguinte expressão:

$$ND_{\min} = - (a \div b)$$

Da mesma forma que se pode estimar o menor valor possível de ND, pois sabe-se que o menor valor possível de radiância é zero, também se pode calcular o maior valor possível de radiância que o sensor pode medir sem saturar os seus circuitos, pois sabe-se que o maior valor possível de ND é 255, sempre assumindo uma relação linear entre radiância e número digital. Estes valores são calculados pela seguinte fórmula:

$$Rad_{\max} = a + (255 \times b)$$

Os valores de ND_{\min} e Rad_{\max} são expostos na **Tabela 2**, de maneira análoga aos parâmetros apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 2. Valores do número digital mínimo (ND_{\min}) e da radiância máxima (Rad_{\max}) [watts/(m ² ×ester radiano×μm)] observáveis pelo sensor ETM+, por banda espectral.								
Banda	até 01/julho/2000				após 01/julho/2000			
	baixo ganho		alto ganho		baixo ganho		alto ganho	
	ND_{\min}^1	Rad_{\max}	ND_{\min}^1	Rad_{\max}	ND_{\min}^1	Rad_{\max}	ND_{\min}^1	Rad_{\max}
1	5 (5,206)	297,50	8 (7,885)	194,300	5 (5,272)	293,70	8 (7,993)	191,60
2	5 (4,945)	303,40	7 (7,342)	202,400	5 (5,311)	300,90	8 (8,043)	196,50
3	5 (4,781)	235,50	7 (7,036)	158,600	5 (5,326)	234,40	8 (8,075)	152,90
4	5 (4,791)	235,00	7 (7,083)	157,500	5 (5,282)	241,10	8 (8,003)	157,40
5	5 (5,236)	47,70	8 (7,784)	31,760	5 (5,250)	47,57	8 (7,954)	31,06
7	5 (5,265)	16,60	8 (7,911)	10,932	5 (5,284)	16,54	8 (8,004)	10,80
8	5 (5,120)	244,00	8 (7,803)	158,400	5 (4,837)	243,10	7 (7,353)	158,30

¹ os valores entre parênteses são o resultado da inversão da fórmula considerando radiância igual a zero, que são aproximados para o inteiro mais próximo, resultando no ND mínimo.

Para o cálculo da reflectância é necessário conhecer o valor de diversas variáveis. De todas elas, apenas o ND do pixel varia dentro de uma imagem, sendo todas as demais constantes. Pode parecer estranho afirmar que as variáveis são constantes, mas elas o são para uma única imagem, podendo variar de uma imagem para outra. Mas o fato de reconhecer que elas são constantes para cada imagem específica é que irá facilitar sobremaneira os cálculos e aumentar a eficiência do programa computacional usado para a transformação de ND em reflectância. Então, além do número pi ($\pi = 3,141592\dots$) usado na transformação de graus para radianos, as variáveis que se mantêm constantes dentro de uma mesma imagem são:

e = ângulo de elevação solar no momento da obtenção da imagem (dado da imagem);

z = ângulo zenital solar = $90^\circ - e$;

dda = dia do ano contado consecutivamente a partir de 1 de janeiro até a data da imagem;

d = distância terra-sol em unidades astronômicas = $1 - (0,01674 \times \cos(0,98563 \times (dda - 4)))$ ua.

Existem ainda outras constantes utilizadas no cálculo da reflectância que têm o mesmo valor para qualquer imagem do sensor ETM+, mas variam entre as bandas. São elas:

a e b = parâmetros da regressão que converte ND em radiância, conforme **Tabela 1**;

E = o valor médio da irradiância solar total em cada banda espectral.

Como a fórmula da reflectância aparente é dada por:

$$\text{Ref} = \frac{\mathbf{p} \times d^2 \times \text{Rad}}{E \times \cos(z)}$$

pode-se calcular uma constante k que seja igual a:

$$k = \frac{\mathbf{p} \times d^2}{E \times \cos(z)}$$

e, então a expressão para a reflectância se reduz a:

$$\text{Ref} = k \times \text{Rad} = k \times [a + (b \times \text{ND})]$$

e ainda é possível uma nova simplificação, fazendo $i = k \times a$ e $j = k \times b$, tem-se:

$$\text{Ref} = i + (j \times \text{ND})$$

Das equações anteriores pode-se derivar que, para a banda 1:

$$i_1 = \frac{\mathbf{p} \times d^2 \times a_1}{E_1 \times \cos(z)} \quad e \quad j_1 = \frac{\mathbf{p} \times d^2 \times b_1}{E_1 \times \cos(z)}$$

O que pode ser reescrito da seguinte maneira:

$$\frac{\mathbf{p} \times d^2}{\cos(z)} = \frac{i_1 \times E_1}{a_1} \quad e \quad \frac{\mathbf{p} \times d^2}{\cos(z)} = \frac{j_1 \times E_1}{b_1}$$

Como, para uma determinada imagem, tanto a distância terra-sol como o ângulo de elevação são constantes, o valor $\frac{\mathbf{p} \times d^2}{\cos(z)}$ é o mesmo para todos os comprimentos de onda e podemos expressar os valores de i e de j das demais n bandas em função dos valores para a banda 1, da seguinte maneira:

$$i_n = \frac{i_1 \times E_1 \times a_n}{E_n \times a_1} \quad e \quad j_n = \frac{j_1 \times E_1 \times b_n}{E_n \times b_1}$$

Chamando de g e h as constantes que multiplicadas pelos valores de i e j da banda 1 resultam nos valores de i e j das demais bandas, temos que:

$$g_n = \frac{E_1 \times a_n}{E_n \times a_1} \quad e \quad h_n = \frac{E_1 \times b_n}{E_n \times b_1}$$

Simplifica-se então o cálculo dos valores de i e j para as demais bandas, que fica:

$$i_n = i_1 \times g_n \quad e \quad j_n = j_1 \times h_n$$

No caso da banda n estar regulada em um estado de ganho diferente da banda 1, basta dividir o valor de j pelo fator q correspondente (**Tabela 1**) se a banda 1 estiver em alto ganho e a banda n em baixo ganho, ou multiplicar por q , caso contrário. Os valores de g e h são expostos na **Tabela 3**, de maneira análoga aos parâmetros apresentados nas **Tabelas 1 e 2**.

Tabela 3. Valores das constantes g e h que multiplicadas por i e j da banda 1, respectivamente, resultam nos seus equivalentes para as demais bandas espectrais do ETM+.						
banda	até 01/julho/2000			após 01/julho/2000		
	g	h		g	h	
		baixo ganho	alto ganho		baixo ganho	alto ganho
2	1,0355891	1,0901930	1,1122726	1,1046283	1,0965135	1,0977000
3	0,9214139	1,0032297	1,0326983	1,0237932	1,0134016	1,0134207
4	1,3688821	1,4873252	1,5238627	1,5513997	1,5483061	1,5494311
5	1,4070919	1,3989376	1,4254229	1,4070919	1,4128818	1,4140065
7	1,3543710	1,3390175	1,3499965	1,3543710	1,3511841	1,3524149
8	1,1607480	1,1800874	1,1729980	1,0911031	1,1892810	1,1860990

É importante observar que a decisão de usar os valores para alto ou baixo ganho não é uma questão de escolha, pois ela já está definida pela engenharia do sensor, conforme pode ser

entendido das explicações que constam no manual disponível na página eletrônica da NASA http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html. Nesse texto fica claro que cada banda funciona ou em alto ou em baixo ganho, em função da órbita/ponto e da época do ano. A tabela citada no capítulo 6 (Data Properties) desse manual pode ser encontrada em http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/chapter6/ASCII_files/defgains_12.14.00.lst; ela é um arquivo (ASCII) contendo uma lista completa dos estados de ganho de cada banda, organizada por localização WRS (Worldwide Reference System) e data das cenas.

Como exemplo, na órbita 220/74, entre os dias 22 de abril e 22 de agosto, todas as bandas, exceto a pan (8), funcionam em alto ganho; e nos demais dias do ano, apenas uma mudança acontece, a banda 4 passa a funcionar em baixo ganho. Demonstra-se a seguir o cálculo completo de i e j para todas as bandas da imagem ETM+ 220/74 de 05/01/2002, para exemplificar o uso das tabelas apresentadas:

ângulo de elevação (e) = 59,18156° \Rightarrow ângulo zenital solar (z) = 90° - e = 30,81844°;

dia do ano (dda) = 5;

distância terra-sol (d) = $1 - (0,01674 \times \cos(0,98563 \times (dda - 4)))$ = 0,98326 ua;

irradiância solar total (E_1) na banda 1 do ETM+, na **Tabela 1** = 1969 watts/(m²×μm);

intercepto (a_1) da banda 1, na **Tabela 1** = -6,2 watts/(m²×ester radiano×μm);

ganho (b_1) da banda 1, alto ganho, na **Tabela 1** = 0,77569 watts/(m²×ester radiano×μm);

cálculo de i e j para a banda 1:

$$i_1 = \frac{p \times d^2 \times a_1}{E_1 \times \cos(z)} = \frac{3,14159 \times 0,98326^2 \times (-6,2)}{1969 \times \cos(30,81844)} = -0,01114$$

$$j_1 = \frac{p \times d^2 \times b_1}{E_1 \times \cos(z)} = \frac{3,14159 \times 0,98326^2 \times 0,77569}{1969 \times \cos(30,81844)} = 0,00139$$

A seguir pode-se calcular i e j para as bandas 2, 3, 4, 5 e 7, usando os valores de g e h da **Tabela 3**, lembrando que as bandas 4 e 8 funcionam em baixo ganho nessa órbita/ponto, nessa época do ano:

$i_2 = i_1 \times g_2 = -0,01114 \times 1,10463 = -0,01231$	$j_2 = j_1 \times g_2 = 0,00139 \times 1,09770 = 0,00153$
$i_3 = i_1 \times g_3 = -0,01114 \times 1,02379 = -0,01141$	$j_3 = j_1 \times g_3 = 0,00139 \times 1,01342 = 0,00141$
$i_4 = i_1 \times g_4 = -0,01114 \times 1,55140 = -0,01728$	$j_4 = j_1 \times g_4 \div q_d = 0,00139 \times 1,54831 \div 0,65963 = 0,00326$
$i_5 = i_1 \times g_5 = -0,01114 \times 1,40709 = -0,01568$	$j_5 = j_1 \times g_5 = 0,00139 \times 1,41401 = 0,00196$
$i_7 = i_1 \times g_7 = -0,01114 \times 1,35437 = -0,01509$	$j_7 = j_1 \times g_7 = 0,00139 \times 1,35242 = 0,00188$
$i_8 = i_1 \times g_8 = -0,01114 \times 1,09110 = -0,01116$	$j_8 = j_1 \times g_8 \div q_d = 0,00139 \times 1,18610 \div 0,65963 = 0,00250$

Após esses cálculos, para obter o valor de reflectância em qualquer banda, aplica-se:

$$Ref_\lambda = i_\lambda + (j_\lambda \times ND)$$

3. Correção atmosférica

Algumas aplicações, tais como as que utilizam a razão entre bandas como, por exemplo, o cálculo de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) segundo Song et al. (2001) requerem, além dos valores de reflectância dos pixels da imagem, que estes valores estejam corrigidos em relação aos efeitos atmosféricos, já que estes atuam de maneira desigual ao longo do espectro, sendo maior nos comprimentos de onda menores. Considerando a localização das bandas do sensor ETM+ do satélite Landsat 7 no espectro, pode-se concluir que a banda 1 é mais afetada que a banda 2, por exemplo. Uma metodologia bastante utilizada para corrigir os efeitos do espalhamento atmosférico seletivo (Rayleigh) é a técnica da subtração do pixel escuro (DOS, de “dark object subtraction”).

Esta metodologia assume a existência de objetos escuros na imagem e que possuem valores de reflectância muito próximos de 0. No entanto, estes alvos aparecem na imagem com valores superiores ao real devido ao efeito atmosférico. Portanto, um determinado valor calculado a partir do mínimo valor de ND é atribuído ao espalhamento e deve ser removido de todos os pixels da imagem.

Na verdade, existem algumas variações para calcular o valor do espalhamento em cada banda. A maneira mais simples é calcular este valor apenas transformando o valor mais baixo de ND em cada banda no valor da radiância equivalente e subtraí-lo de todos os pixels da imagem. Outras metodologias levam em consideração a transmitância e utilizam valores normalizados de ganho. Maiores detalhes sobre a metodologia DOS podem ser encontrados em Chavez (1988, 1989 e 1996), Pax-Lenney (2001) e Song et al (2001).

Vale aqui ressaltar que, depois de definida a metodologia e calculado o valor a ser subtraído (h), esse valor pode ser incorporado à equação para a transformação do ND em reflectância corrigida com relação ao espalhamento atmosférico (Ref_h), da seguinte forma:

$$\begin{aligned} Rad_{alvo} &= Rad_{sensor} - Rad_{espalhamento} = [a + (b \times ND)] - [a + (b \times h)] \\ Rad_{alvo} &= a - a + (b \times ND) - (b \times h) = b \times (ND - h) \\ Ref_h &= k \times Rad_{alvo} = k \times b \times (ND - h) \\ Ref_h &= j \times (ND - h) \end{aligned}$$

Assim, os valores de reflectância, corrigidos em relação ao efeito aditivo da atmosfera, podem ser obtidos de uma maneira bastante simplificada.

4. Construção da imagem-reflectância

Em muitos trabalhos realiza-se a transformação dos valores da reflectância dos alvos (expressos por um número real) em valores digitais (números naturais positivos) simplesmente multiplicando estes valores por 255. Esta transformação é necessária porque os valores de reflectância dos alvos variam entre 0 e 1, sendo expressos com quantas casas decimais permitir a precisão dos cálculos, enquanto que os programas que possibilitam a visualização da imagem reflectância, seja na tela ou impressa, trabalham com valores digitais, geralmente em 8 bits, ou seja, com 256 valores discretos possíveis. No entanto, como já foi visto, o valor máximo de ND de cada banda espectral do sensor ETM+ não corresponde ao valor 1 do fator de reflectância e, portanto, ao fazer essa transformação ocorre uma perda de informação, ocasionada pela compressão dos 256 valores originais captados pelo sensor em um intervalo menor.

O exemplo a seguir demonstra como pode ser significativa essa perda de informação. Usando ainda os dados da cena 220/74, de 5 de janeiro de 2002, temos que o valor máximo de reflectância para a banda 1 será:

$$Ref_{máx1} = i_1 + (j_1 \times ND_{máx}) = -0,01114 + (0,00139 \times 255) = 0,34331$$

Sabe-se também que o valor mínimo em número digital com significado físico é o $ND_{mín}$, apresentado na **Tabela 2** que no caso da banda 1 dessa cena é igual a 8. Isso significa que qualquer valor de ND menor ou igual a 8 corresponde a um fator de reflectância igual a zero. É importante notar que embora a configuração em 8 bits permita o registro teórico de 256 níveis das grandezas equivalentes, ND radiância reflectância, na prática, para a banda 1 do ETM+, só 248 (= 256-8) valores contêm informação com significado físico.

Entretanto, um outro problema pode ocorrer ao fazer a transformação dos valores de reflectância de volta para ND, no intuito de visualizar a imagem reflectância. Esse problema ocorre

quando, nesta operação, procede-se à simples multiplicação do valor de reflectância por 255. Nesse caso da banda 1, o valor mínimo obtido será o zero, o que é correto, mas o valor máximo será igual a:

$$Ref_{m\acute{a}x1} \times 255 = 0,34331 \times 255 = 87,54405$$

que, aproximado para o número inteiro mais próximo, resulta em um ND igual a 88. Esse resultado mostra que os 248 níveis originais de ND, que correspondem a 248 possíveis valores de radiância que chegam ao sensor, os quais correspondem a 248 possíveis valores de reflectância aparente dos alvos, serão comprimidos em uma faixa de apenas 89 níveis na imagem reflectância. Note-se ainda que essa perda de informação não pode ser corrigida com a aplicação de contraste, pois as técnicas de contraste apenas alteram a distância entre os níveis de ND originais, mas não criam novos valores.

Portanto, para realizar essa transformação corretamente, respeitando as configurações da engenharia do sensor e a geometria de iluminação e visada no momento da aquisição dos dados, é preciso encontrar o valor da reflectância máxima por banda em cada imagem e calcular um multiplicador para cada uma, da seguinte maneira:

$$Mult_{\lambda} = 255 \div Ref_{m\acute{a}x,\lambda} \Rightarrow \quad Mult_1 = 255 \div 0,34331 = 742,76893$$

Para a construção da imagem reflectância, com a máxima expressão da variação espectral que ocorre na cena e sem perda de informação, basta aplicar esse multiplicador aos valores de reflectância e fazer a aproximação para o número inteiro mais próximo, obtendo-se então os novos valores de número digital para a imagem reflectância da banda λ :

$$ND_{ImRef,\lambda} \cong Mult_{\lambda} \times Ref_{\lambda}$$

Com esse procedimento, além de não se perder nenhuma informação, é obtido um pequeno contraste na imagem, pois os 248 níveis de reflectância são representados em uma escala com 256 posições possíveis. O ganho equivale àquelas oito posições ocupadas por valores sem significado físico (radiância negativa), e que podem ser atribuídas ao ruído inerente ao sensor. O resultado é uma imagem com o histograma de frequência de ND praticamente igual ao histograma da imagem original, o que se pode observar na **Figura 2**.

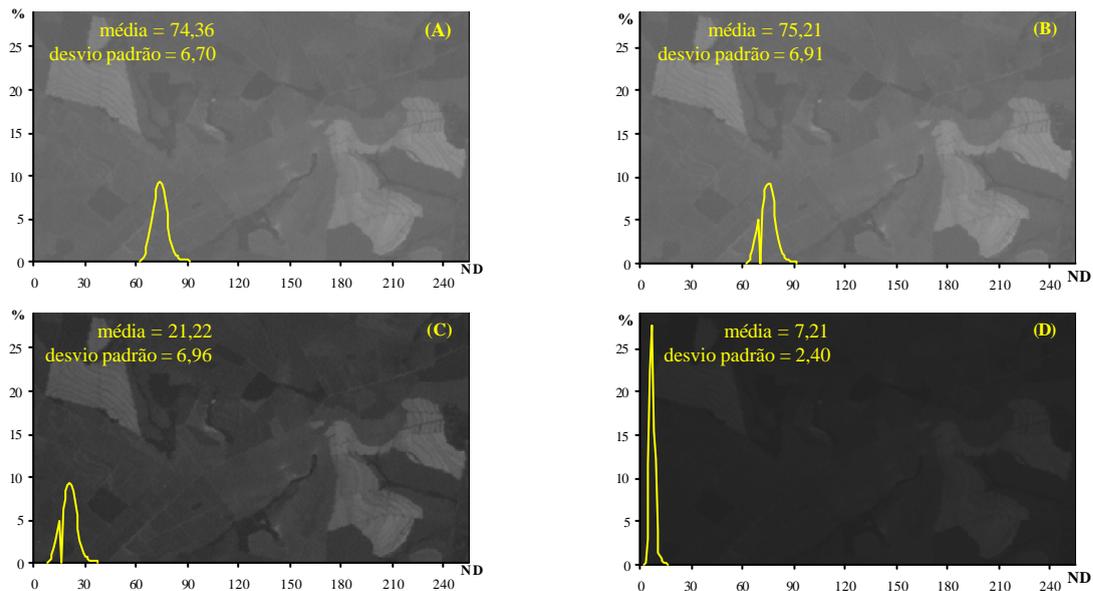


Figura 2. Frequência relativa do ND, na banda 1 da imagem ETM+, 220/74 de 05/01/2002, a partir dos dados originais (A), usando o multiplicador baseado na reflectância máxima: sem correção atmosférica (B) e com correção atmosférica (C), e multiplicando a reflectância com correção atmosférica por 255 (D). O fundo dos gráficos representa um pequeno trecho da imagem que corresponde ao histograma.

A diferença entre as curvas (A) e (B) se resume às linhas verticais, causadas pela ocorrência de frequência nula para alguns níveis de ND, que são resultado do contraste obtido, e que também se reflete numa pequena alteração da média. Com relação à curva (C), além desse efeito, pode-se notar o deslocamento da curva para a esquerda, com conseqüente escurecimento da imagem, ocasionado pela correção atmosférica obtida da subtração de um valor de ND correspondente ao espalhamento (54, nesse caso). Mas, com certeza, o mais importante é observar o que ocorre na curva (D), na qual é visível a compressão dos ND em um intervalo menor que o existente na imagem original, o que altera drasticamente a média e o contraste da imagem, provando a inadequação de tal procedimento.

5. Considerações finais

Cuidados devem ser tomados no cálculo do fator de reflectância nas imagens ETM+ a partir do ND, já que alguns parâmetros são escolhidos em função da data e banda espectral. Na metodologia apresentada deve-se observar especialmente a data em que foi obtida a imagem, já que o sensor, dependendo da banda espectral, opera em alto ou baixo ganho de acordo com a época do ano. Além disso, existem parâmetros diferentes para as imagens obtidas antes de 01 de julho de 2000 e depois desta data. A partir dessa informação o usuário pode calcular os valores de i e j , para cada banda da imagem, que dão origem aos valores de reflectância. Esse mesmo procedimento pode ser empregado, de forma ainda mais simples, para obter valores de reflectância corrigidos em relação ao efeito atmosférico, utilizando a metodologia da subtração do pixel escuro. Especial atenção deve ser dada à construção da imagem reflectância, com objetivo de visualização, a fim de evitar a compressão de dados e, conseqüentemente, a subutilização da informação contida na imagem.

Referências

- Chavez Jr., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, v. 24, p. 459-479, 1988.
- Chavez Jr., P.S. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 55, p. 1285-1294, 1989.
- Chavez Jr., P.S. Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 62, p. 1025-1036, 1996.
- Forster, B.C. Derivation of atmospheric correction procedures for Landsat MSS with particular reference to urban data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 5, p. 799-817, 1984.
- Jensen, J.R. *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000. 544p.
- Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W. *Remote sensing and image interpretation*. 3ed. New York: Wiley, 1994. 750p.
- Mather, P.M. *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction*. 2ed. New York: Wiley, 1999. 292p.
- Pax-Lenney, M.; Woodcock, C.E.; Macomber, S.A.; Gopal, S.; Song, C. Forest mapping with a generalized classifier and Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, v. 77, p. 241-250, 2001.
- Richards, J. A. *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. Berlin: Springer, 2ed., 1995. 340p.
- Schott, J. R. *Remote sensing: the image chain approach*. New York: Oxford, 1997. 394p.
- Song, C.; Woodcock, C.E.; Seto, K.C.; Pax-Lenney, M.; Macomber, S.A. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment*, v.75, p. 230-244, 2001.