

Morfologia matemática na extração de bordas de uma imagem IKONOS-2 RGB fusionada

Edges extraction of fusion IKONOS-2 RGB image with mathematical morphology

Ana Lúcia Bezerra Candeias¹
João Rodrigues Tavares Junior¹
Priscilla Heliênay Oliveira do Nascimento¹
Carla Julliane Marques de Moura¹
Erivaldo Antônio da Silva²

¹ Departamento de Engenharia Cartográfica, Centro de Tecnologia e Geociências - CTG, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Cep 50670-901, Recife, PE, Brasil.

² Departamento de Cartografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Presidente Prudente - SP, Brasil.

analucia@ufpe.br, joaoufpe@gmail.com, priscillahelienay@hotmail.com,
carlaju_marques@hotmail.com, silva.erivaldo@gmail.com

Recebido em 07/07/2015 – Aceito em 21/03/2016
Received on 07/07/2015 – Accepted on 03/21/2016

RESUMO – As ferramentas da Morfologia Matemática são utilizadas neste artigo para extração de bordas externas em imagens de alta resolução. A área teste foi um recorte de uma imagem fusionada do satélite IKONOS-2, contendo o Lago do Cavouco, no entorno do Campus Joaquim Amazonas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Para obter a borda externa do lago, utilizou-se a implementação de dilatação e operações aritméticas no software SPRING. A partir da imagem RGB fusionada, extraiu-se as bordas de cada uma das bandas dessa imagem, também se extraiu a borda obtida da componente 'I' da transformação RGB para IHS. Além disso, extraiu-se as bordas de 'PC1' obtida da transformação RGB para Principais Componentes. Obteve-se os histogramas, momentos, diagrama de dispersão e um perfil das imagens de borda para se comparar quantitativamente os métodos. Observou-se que a 'PC1' gerou bordas com maior contraste (maior desvio padrão e variância) e menor correlação com as demais bordas obtidas. Isto indicou que a extração de bordas a partir de PC1 apresentou melhor resultado. Ressalta-se que o método de extração de bordas é geral e não utiliza limiares na definição de bordas.

Palavras-chave: borda de imagem colorida, processamento de imagem, sensoriamento remoto.

ABSTRACT – Mathematical Morphology tools are used in this article to extract edges in high-resolution images. The test area was part of a merged image of IKONOS-2 satellite, containing Cavouco's lake, surrounding the Campus Joaquim Amazonas Federal University of Pernambuco (UFPE) was used. For the outer edge of the lake, we used the implementation of dilation and arithmetic operations in the SPRING software. It was extracted edges of each band of the merged color image, and also it used the edge extraction from component "I" of transforming RGB to HSI. Likewise, It was extracted the edges of 'PC1' obtained the transformation RGB to Principal Components. Results of edge extraction methods were compared by using histograms, moments, scatter diagram, and profile. It was observed that the 'PC1' generated edges with higher contrast (higher standard deviation and variance), and lower correlation with the other edges obtained. This indicated that the extraction of edges from PC1 showed better results. Furthermore, the edge extraction method showed here is general and does not use thresholds in the edges definition.

Keywords: edge color image, image processing, remote sensing.

1. INTRODUÇÃO

A Morfologia Matemática (MM) é um método não linear do processamento de imagens, desenvolvido nos anos 1960 pelos pesquisadores Matheron e Serra na *École Nationale Supérieure des Mines de Paris* (Serra, 1982). No Brasil, autores como: Silva (1995), Candeias (1997), Banon e Barrera (1998), Ishikawa et al (2010), Rodrigues et al. (2010), Candeias et. al. (2013) desenvolveram pesquisas em MM.

Os operadores básicos são a erosão e a dilatação da imagem f por um elemento estruturante B . Essa imagem f pode ser colorida, em níveis de cinza, ou binária.

Candeias e Sousa (1996), Ângulo e Serra (2003), Evans e Liu (2006), Ângulo e Serra (2007), Li e Xiaoming, L. (2010) desenvolveram pesquisas sobre a morfologia matemática para imagens coloridas. Este tipo de abordagem utiliza, de forma geral, a decomposição de bandas do espaço RGB ou transformação do espaço de cores, na análise das bordas. Em Gonzalez e Woods

(2000) tem-se a definição do modelo de cores RGB e a transformação desse espaço em outros tais como o IHS.

As imagens de sensoriamento remoto auxiliam na espacialização de estudos do ambiente terrestre (Novo, 2010; Schowengerdt, 2007) e a extração de bordas nessas imagens pode ser obtida usando MM (Candeias, 1997). Na extração de borda de um lago, é importante observar a resposta espectral para água e para os outros alvos que o cercam. No caso aqui estudado tem-se uma imagem com apenas bandas na faixa do visível. A água sem sedimentos, possui na faixa do vermelho, menor resposta espectral que na faixa do azul ou na faixa do verde (Novo, 2010) e, portanto, na banda do vermelho, haverá maior contraste da água com solo, vegetação e áreas construídas pois possuem resposta espectral mais alta.

Neste artigo analisa-se a extração das bordas usando MM de uma imagem colorida de alta resolução fusionada do IKONOS-2. Obtém-se também a extração de bordas para a componente I da transformação IHS e das Principais Componentes usando a primeira componente (PC1). Tanto a componente I, como a primeira componente (PC1) possuem em sua representação um mapeamento de uma imagem RGB para uma imagem monocromática. As bordas extraídas de I e de PC1, portanto, sintetizam bordas de uma imagem colorida.

O desempenho da extração de bordas foi avaliado para cada uma das bandas da composição RGB, para a componente I e para a componente PC1.

1.1 Operadores Básicos da Morfologia Matemática

O efeito de dilatação e da erosão sobre uma imagem binária X utilizando o elemento estruturante B (quadrado 3×3) é mostrado na Figura 1. A dilatação $\delta_B(X)$ avalia máximos locais, enquanto a erosão ($\varepsilon_B(X)$), mínimos locais. Supondo que X seja uma imagem em níveis de cinza, tem-se como efeito da dilatação uma imagem borrada e mais clara e na erosão uma imagem borrada e mais escura, como é mostrado a Figura 2.

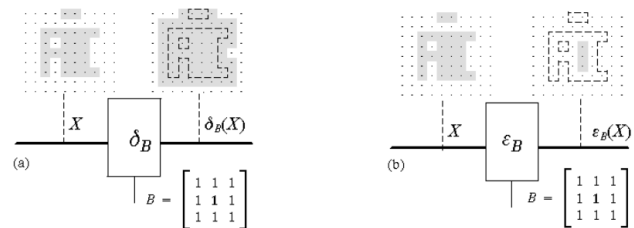


Figura 1 – Operadores Básicos da MM e a imagem binária X . (a) Dilatação $\delta_B(X)$. (b) Erosão $\varepsilon_B(X)$
Fonte: Banon e Barrera (1998).



Figura 2 – Operadores Básicos da MM sobre a imagem em níveis de cinza X .
(a) Imagem em níveis de cinza X . (b) Dilatação $\delta_B(X)$. (c) Erosão $\varepsilon_B(X)$.

Para o caso de uma imagem X binária ou em níveis de cinza, tem-se na MM a definição de três tipos de borda: externa, interna e gradiente. O elemento estruturante irá definir a largura dessa borda (CANDEIAS et al., 2013; CANDEIAS, 1997).

Pode-se avaliar a borda colorida supondo a aplicação da transformação para cada banda ou usando uma transformação que resuma a composição RGB em uma única banda. Nesse trabalho, utiliza-se a componente I (intensidade) da transformação IHS e PC1 (primeira componente principal) da transformação de Principais Componentes para avaliação de uma borda colorida.

A seguir tem-se a definição da borda interna, externa e gradiente. Será usado no trabalho a borda externa por segmentar o lago do seu lado externo.

Maiores detalhes ver em (CANDEIAS et al, 2013). As Equações (1), (2) e (3) mostram matematicamente estas bordas.

a) Borda interna

A borda interna de X supondo um elemento estruturante B é definida por:

$$f = X - \varepsilon_B(X). \quad (1)$$

b) Borda externa

A borda externa de X supondo um elemento estruturante B é definida por

$$f = \delta_B(X) - X. \quad (2)$$

c) Gradiente

O gradiente de X supondo um elemento estruturante B é definido por

$$f = \delta_B(X) - \varepsilon_B(X). \quad (3)$$

1.2 Transformação IHS

O modelo de cores RGB pode ser mapeado para o modelo IHS e vice-versa. A intensidade é denotada por I (*intensity*), o matiz por H (*hue*) e a saturação por S (*saturation*). A Figura 3 apresenta uma representação gráfica dessa transformação. Em Gonzalez e Woods (2000) tem-se um detalhamento sobre a transformação IHS e suas equações. A componente I é definida como a média das bandas R, G e B e pode ser usada quando se deseja observar as bordas de uma imagem colorida pois faz uma simplificação do mapeamento de três bandas em uma imagem de níveis de cinza.

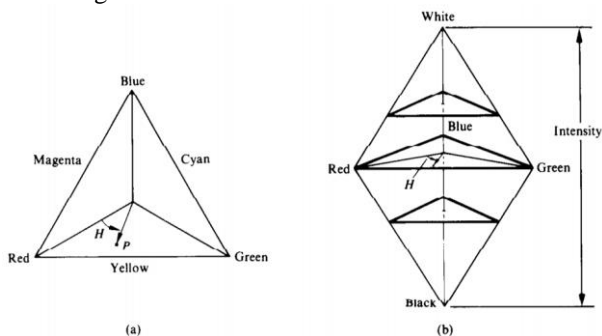


Figura 3 – Representação da modelo IHS.

Fonte: Gonzalez e Woods (2000).

1.3 Principais Componentes

A técnica de Principais Componentes (PC), transforma dados multivariados com variáveis correlacionadas, em variáveis não correlacionadas supondo que essas variáveis não correlacionadas são combinações lineares dos dados originais. Supondo uma imagem com n bandas originais (B_1, B_2, \dots, B_n), obtém-se

PC_1, PC_2, \dots, PC_n como uma combinação linear de B_i , onde $i = 1, \dots, n$. E n é o número de bandas multiespectrais.

Dentre as aplicações da técnica de PC tem-se a compressão de informação nas primeiras componentes e também em fusão de imagens que são usadas neste trabalho. Maiores detalhes desta técnica podem ser encontrados em Schowengerdt (2007) e Fonseca et al. (2011).

A imagem colorida fusionada foi obtida aqui usando as bandas multiespectrais 321 e a banda pancromática do IKONOS-2. O resultado é uma imagem com resolução espacial da pancromática e espectral das bandas 321.

A componente PC_1 da imagem fusionada concentra a maior quantidade de informação da entrada da imagem. Ela é usada neste trabalho para avaliar a borda externa do Lago do Cavouco.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia foi dividida nas seguintes etapas:

- Seleção da área teste, onde foi usado um recorte de uma imagem IKONOS fusionada f_1 (pancromática + bandas 1, 2 e 3) com data de aquisição de 15/04/2013, 12:46 GMT. A área selecionada faz parte do campus da UFPE (Figura 4). A fusão foi feita usando Principais Componentes.
- As bordas externas adquiridas por MM foram obtidas para cada banda da imagem f_1 e gerando respectivamente as imagens em níveis de cinza f_2, f_3 e f_4 .
- Aplicou-se a transformação RGB para IHS da imagem f_1 , e utilizou-se a componente I para se obter a borda externa denotada de f_5 .
- Aplicou-se a transformação RGB para Principais Componentes da imagem f_1 , e utiliza-se a componente PC_1 para obter a borda externa denotada de f_6 .
- Comparou-se os métodos com diagrama de dispersão e com um perfil das imagens de borda.



Figura 4 – Localização da área com o recorte da imagem IKONOS-2 do Campus Joaquim Amazonas da UFPE com data de aquisição de 15/04/2013. **Adaptada:** Silva (2014).

Na implementação da metodologia utilizou-se o software SPRING 5.3 desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A Tabela 1 mostra alguns parâmetros do IKONOS-2.

Tabela 1 - Alguns parâmetros do IKONOS-2

Parâmetro	Valor
Resolução espectral da banda pancromática (PAN) (μm)	0,45 – 0,90 μm
Resolução espectral das bandas multiespectrais (MS) (μm)	0,45 – 0,53 μm (azul)
	0,52 – 0,61 μm (verde)
	0,64 – 0,72 μm (vermelho)
	0,76 – 0,86 μm (infravermelho próximo)
Resolução espacial	1 m PAN (0,82 m no nadir), 4 m MS (3,2 m no nadir)
Quantização do pixel	11 bit

Adaptado: eoPortal Directory (2014)

3. RESULTADOS

Apresenta-se aqui três (3) resultados para a borda obtidas pela MM e que são:

- Borda externa obtida de cada banda (R, G e B) de uma imagem colorida f_1 Equação (1), (2) e (3) da Seção 11.
- Borda da Componente I (transformações IHS de uma imagem colorida f_1 – Equação (4)) e onde I

teoricamente, é dada por uma média das bandas R, G e B originais (Gonzalez e Woods, 2000).

- Borda da primeira componente da imagem colorida f_1 (Principais Componentes – Equação (5)) e onde PC_1 , teoricamente, é dada por uma combinação linear das bandas R, G e B (Schowengerdt, 2007; Fonseca et al., 2011).

Para o caso (a) são obtidas três bordas, uma para cada imagem monocromática da imagem colorida f_1 (f_2 , f_3 e f_4).

Já para os casos (b) e (c) tem-se transformações onde a borda de uma imagem colorida f_1 é obtida a partir de uma única imagem em níveis de cinza (f_5 ou f_6).

3.1 Bordas externas adquiridas por MM

Para extrair a borda externa da imagem fusionada RGB utilizou-se as seguintes equações:

$$f_2 = \delta_B(f_{1,R}) - f_{1,R} \quad (1)$$

$$f_3 = \delta_B(f_{1,G}) - f_{1,G} \quad (2)$$

$$f_4 = \delta_B(f_{1,B}) - f_{1,B} \quad (3)$$

Onde $f_{1,R}$, $f_{1,G}$ e $f_{1,B}$ são, respectivamente, as bandas R, G, e B da imagem fusionada f_1 .

A Figura 5(b) apresenta uma composição colorida dos resultados obtidos das Equações (1), (2) e (3). Observa-se que existem bordas mais claras (bordas fortes) e mais escuras (bordas fracas). Gonzalez e Woods (2000) descrevem o cubo das cores e que representa aqui todas as cores possíveis para a borda externa no intervalo $[0 \text{ max}]$.

Nas Figuras 5(b) e 5(c) observam-se que as cores predominantes estão em tons de cinza e, portanto, representadas na diagonal principal do cubo das cores (Figura 5(d)) e que mapeia de preto a branco. Algumas bordas das Figuras 5(b) e 5(c), porém, são mais azuladas ou avermelhadas e estão representadas fora da diagonal principal do cubo (Figura 5(d)). A Tabela 2 mostra os pontos extremos do cubo e as respectivas cores do intervalo $[0 \text{ max}]$. O valor de max depende do sensor utilizado e é dado por $max = 2^{\text{Quantização do pixel}} - 1$. No caso do IKONOS-2 tem-se $max = 2^{11} - 1$, e, portanto, $max = 2047$.

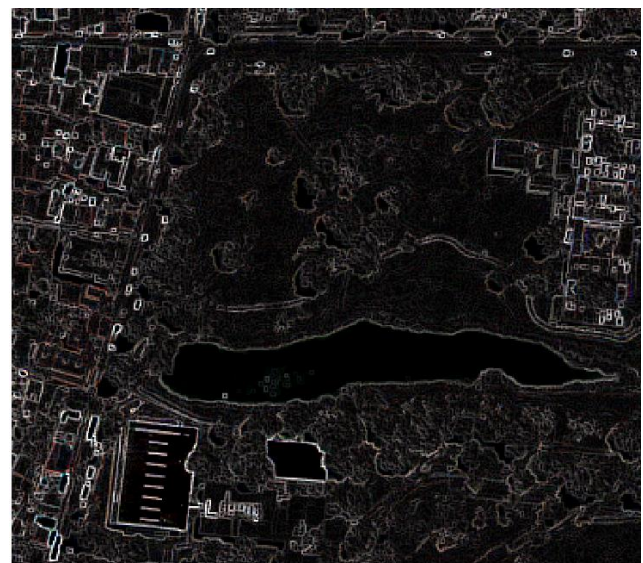
Tabela 2 – Cores dos pontos extremos do cubo das cores para a composição colorida RGB f_2, f_3, f_4

$R = f_4$	$G = f_3$	$B = f_2$	Cor
0	0	0	Preto
0	0	max	Azul
0	max	0	Verde
0	max	max	Ciano
max	0	0	Vermelho
max	0	max	Magenta
max	max	0	Amarelo
max	max	max	Branco

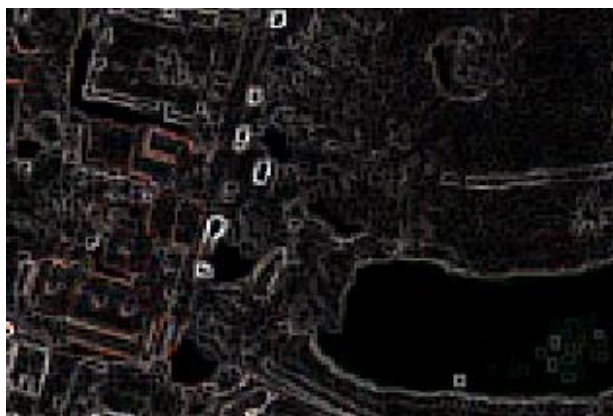
A Figura 6 exibe os histogramas das bordas externas supondo que $max = 255$. As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam respectivamente as estatísticas, matriz de covariância e de correlação das bordas externas f_2, f_3 e f_4



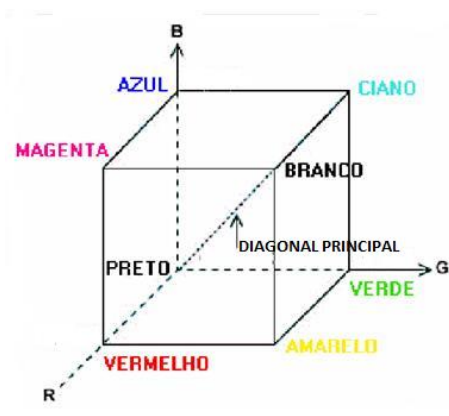
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5 – Lago do Cavouco. (a) Imagem Fusionada RGB IKONOS-2. (b) Composição RGB (f_4, f_3, f_2) bordas externas. (c) Ampliação de parte da Composição RGB (f_4, f_3, f_2) bordas externas. (d) Cubo das cores da Composição RGB (f_4, f_3, f_2).

3.1 Borda externa da transformação RGB para IHS

Foi utilizada a transformação IHS para reunir as informações RGB da imagem fusionada f_1 e então, a

transformação de borda externa, foi aplicada a componente I, gerando o resultado denotado de f_5 . A componente I é a média das bandas R, G e B.

$$f_5 = \delta_B(f_{1,I}) - f_{1,I} \quad (4)$$

Onde f_1 , $PC1$ e a primeira componente (PC1) das Principais Componentes da imagem fusionada f_1 .

Onde $f_{1,I}$ é a componente I da transformação IHS a imagem fusionada f_1 .

3.2 Borda externa da transformação RGB para Principais Componentes

Foi utilizada a transformação de Principais Componentes para reunir as informações RGB da imagem fusionada f_1 , a transformação de borda externa, foi aplicada a componente PC1, gerando o resultado denotado de f_6 . PC1 é dada por uma combinação linear das bandas fusionadas.

$$f_6 = \delta_B(f_{1,PC1}) - f_{1,PC1} \quad (5)$$

3.3 Análise comparativa dos resultados

A Figura 6 apresenta os histogramas de f_2 , f_3 , f_4 , f_5 e f_6 . O histograma com maior diferença entre os demais é o f_6 . Os outros histogramas são parecidos, isto é, representam imagens similares. Essa similaridade pode ser vista também pela Tabela 3 que mostra os momentos, a matriz de covariância (Tabela 4) e as correlações (Tabela 5) que estão próximos entre si para f_2 , f_3 , f_4 e f_5 já f_6 mostra maior diferença.

A imagem f_5 é uma média aritmética entre f_2 , f_3 , f_4 , e isto se reflete no cálculo apresentado dos momentos, a matriz de covariância e correlação para essa imagem.

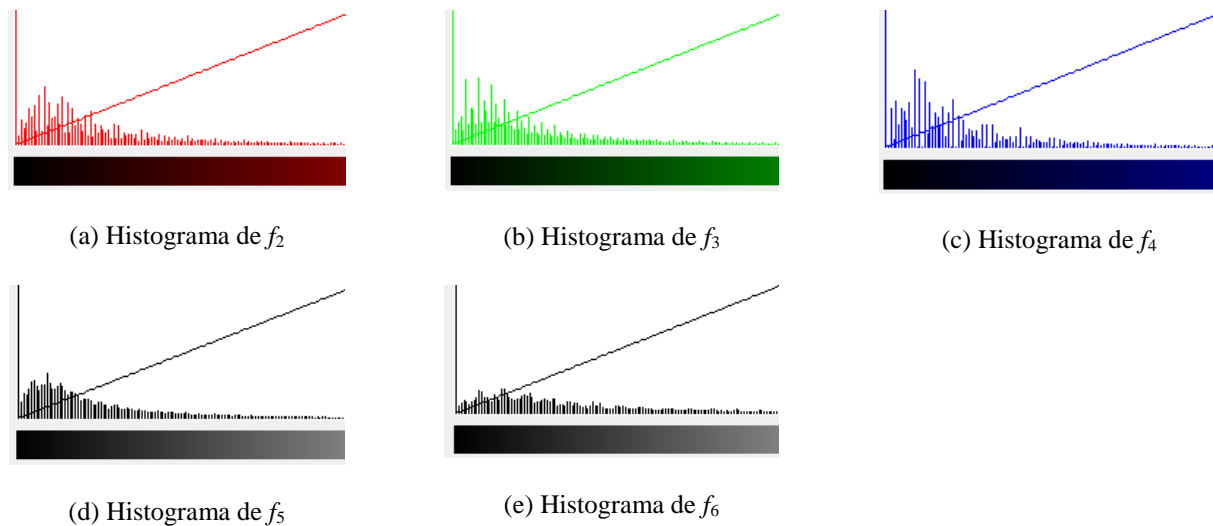


Figura 6 – Histogramas das bordas externas f_2 , f_3 , f_4 , f_5 e f_6 .

Tabela 3 – Momentos calculados das bordas externas f_2 , f_3 , f_4 , f_5 e f_6 .

Banda	Média	Desvio Padrão	Variância	3_Momento	4_Momento
f_2	28,9662	34,5046	1.190,57	98.318,3	1,52765e+07
f_3	26,6588	32,2142	1.037,76	84.783,6	1,28879e+07
f_4	26,8566	32,3547	1.046,83	86.773,7	1,33738e+07
f_5	26,7499	33,1641	1.099,86	92.527,4	1,42571e+07
f_6	40,3992	45,2694	2.049,32	161.587	2,64844e+07

Tabela 4 – Matriz de Covariância das bordas externas f_2 , f_3 , f_4 , f_5 e f_6 .

	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
f_2	1.190,57	1.088,49	1.079,09	1.063,33	1.387,82
f_3	1.088,49	1.037,76	1.026,66	995,812	1.279,65
f_4	1.079,09	1.026,66	1.046,83	996,497	1.265,37
f_5	1.063,33	995,81	996,45	1.099,86	1.246,51
f_6	1.387,82	1.279,65	1.265,37	1.246,51	2.049,32

Tabela 5 – Matriz de Correlação das bordas externas f_2, f_3, f_4, f_5 e f_6 .

	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
f_2	1,000000	0,979262	0,966587	0,929230	0,88849
f_3	0,979262	1,000000	0,985011	0,932097	0,877481
f_4	0,966587	0,985011	1,000000	0,928688	0,863923
f_5	0,929230	0,932097	0,928688	1,000000	0,830274
f_6	0,888490	0,877481	0,863923	0,830274	1,000000

Os diagramas de dispersão estão mostrados na Figura 7 para as bandas f_2, f_3, f_4, f_5 e f_6 . O resultado com menor dispersão foi de f_4 versus f_3 , e a maior dispersão foi de f_6 versus f_5 . Pela Tabela 5 observa-se que f_4 e f_3 são as

bandas mais correlacionadas, enquanto f_6 e f_5 são as menos correlacionadas. A vantagem de usar o diagrama de dispersão é ter uma visualização do comportamento para cada nível de cinza.

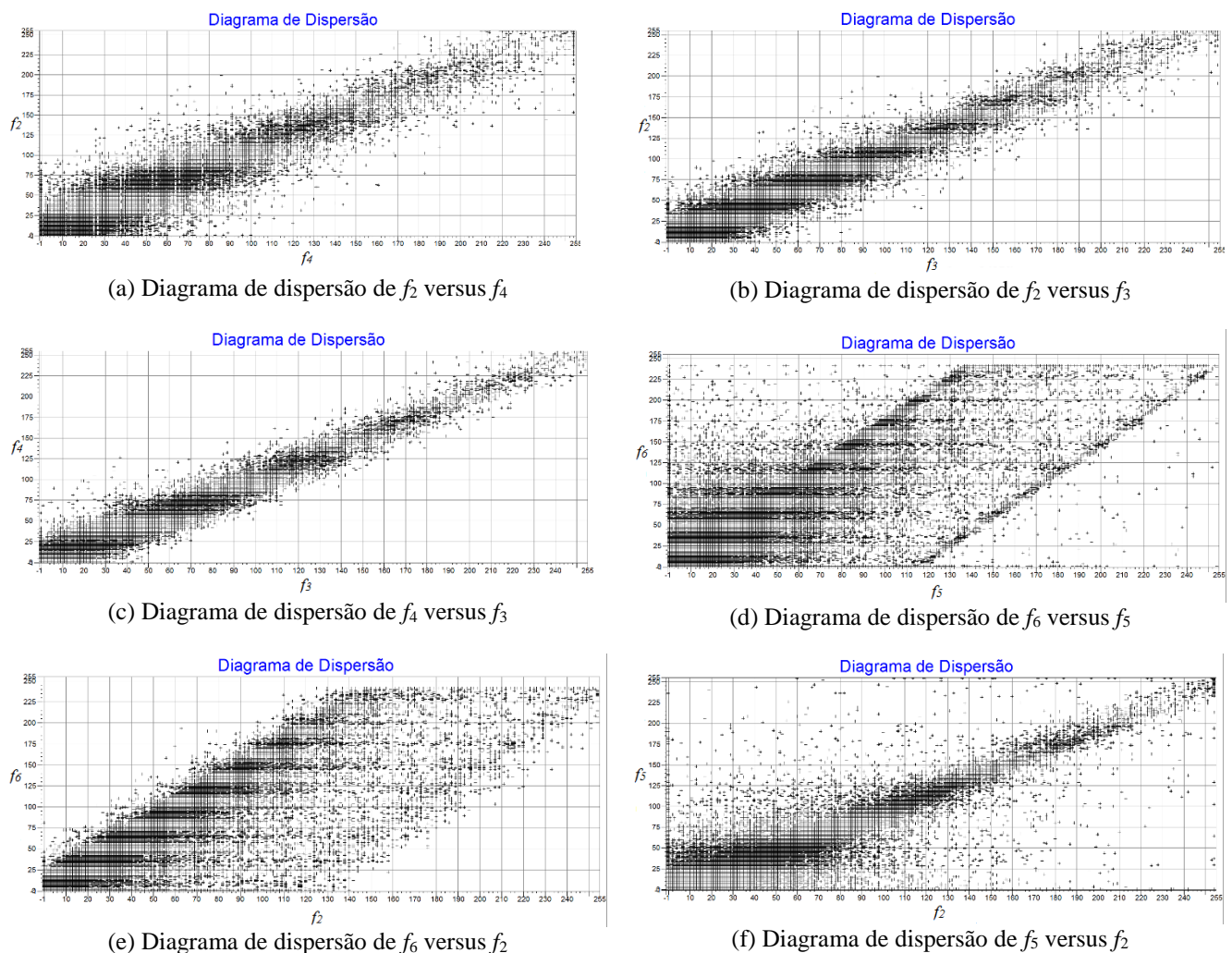


Figura 7 – Diagramas de dispersão das bandas f_2, f_3, f_4, f_5 e f_6 .

Foi extraído o perfil vertical na coluna: 159, entre as linhas: 236 e 257 (Figura 8) para as imagens f_2, f_3, f_4, f_5 e f_6 . A Figura 9 mostra o gráfico desses perfis. Para f_2, f_3, f_4 e para f_5 , observam-se perfis semelhantes e isto pode ser verificado também pela alta correlação dos resultados

obtidos (Tabela 5). Já para f_6 tem-se valores mais altos de níveis de cinza (Figura 9) para as bordas. Tem-se também que f_6 possui desvio padrão, variância e covariância altas quando comparada aos demais resultados de f_2, f_3, f_4 e f_5 (Tabela 3 e Tabela 4). Ou ainda analisando a Tabela 5,

apresenta valores de correlação baixo quando comparados com f_2 , f_3 , f_4 e f_5 mostrando que f_6 .

bordas em f_6 , pois não foi imposto um limiar. Nota-se que são extraídas também as sombras dos objetos.

A Figura 10(b) apresenta a combinação colorida $f_{1,R}$, $f_{2,G}$, f_6 . Já a Figura 10(c) mostra f_6 . São extraídas todas as



Figura 8 – Visualização do Perfil vertical da coluna: 159, entre as linhas: 236 e 257 em f_1 .

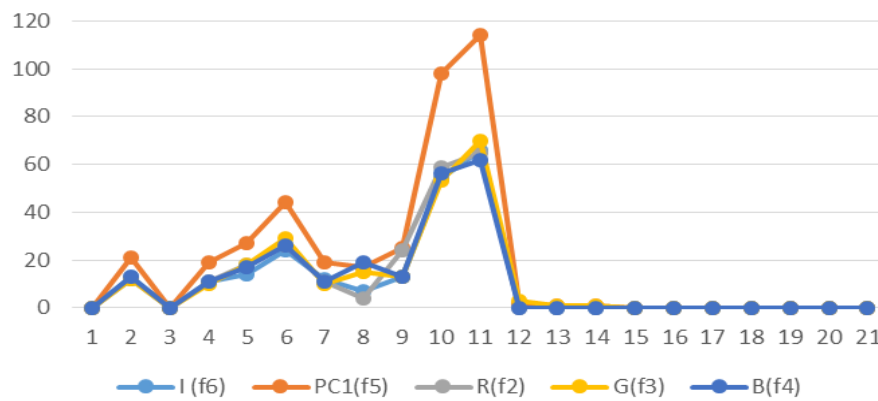


Figura 9 – Perfil de f_2, f_3, f_4, f_5 e f_6 .



(a) Imagem colorida f_1



(b) Composição RGB $f_{1,R}, f_{2,G}, f_6$



(c) f_6 (principais Componentes)

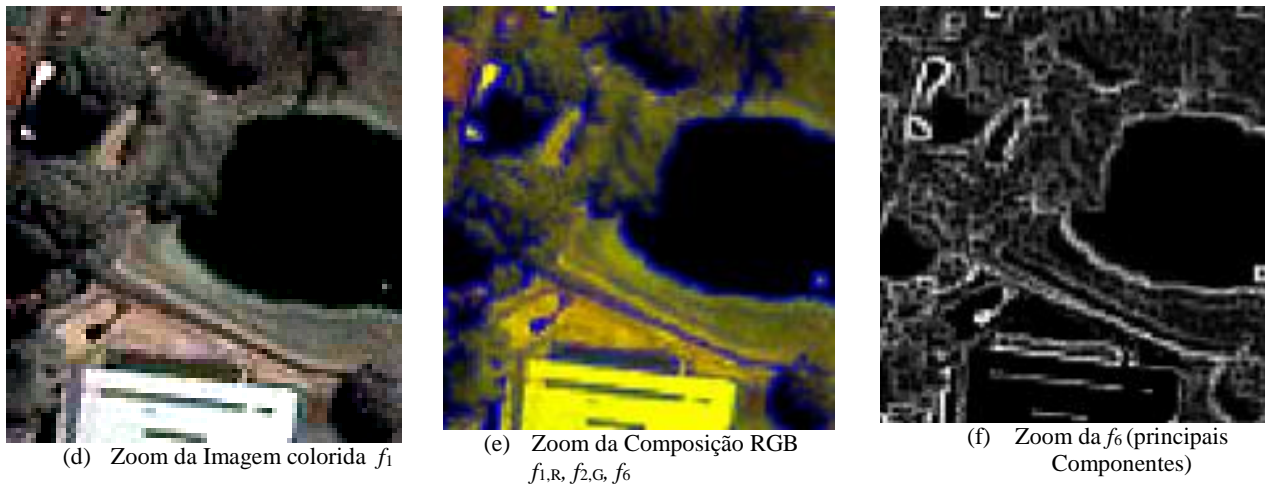


Figura 10 – Representação da Borda externa de Principais Componentes.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou as ferramentas da Morfologia Matemática para extração de bordas em imagens de alta resolução colorida. Foi usado um recorte de uma imagem do satélite IKONOS-2 fusionada, contendo o Lago do Cavouco, no entorno do Campus Joaquim Amazonas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). O software SPRING foi usado no desenvolvimento da metodologia para obter a borda externa do lago. Foi apresentado uma comparação da borda para cada uma das bandas da imagem fusionada, borda obtida pela componente I da transformação IHS e PC1 das Principais Componentes. Foram calculados os histogramas, momentos, diagrama de dispersão e um perfil das imagens de borda para se comparar quantitativamente os métodos. Observou-se que a componente PC1 (f_6) gera bordas com maior contraste. Destaca-se que não foi tomado valores de limiares na obtenção das bordas de uma imagem colorida de alta resolução.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa PIBIC/CNPq de Priscilla H. O. do N., e Carla Julliane M de M. Agradecem também ao projeto FACEPE APQ-1405-1.07/12 e ao projeto FAPESP Processo FAPESP 2012/05414-5 pela imagem IKONOS-2 utilizada neste trabalho e ao CNPq processo: 311120/2014-8.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, J.; SERRA, J. *Color segmentation by ordered mergings*, Proc. of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'03), IEEE, Vol. 2, Barcelona, Spain, Sept. 2003, p. 125-128.

ANGULO, J.; SERRA, J. *Mathematical morphology in color spaces applied to the analysis of cartographic images*, Proc. Of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'07), 2007.

BANON, G. J. F.; BARRERA, J. Bases da Morfologia Matemática para análise de imagens binárias. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 1998. Disponível em: <http://banon-pc.dpi.inpe.br:1905/rep/dpi.inpe.br/banon/2000/03.15.10.33?mirror=dpi.inpe.br/banon/2001/01.11.16.21.34&metadatarepository=dpi.inpe.br/banon/2001/01.11.16.07.22>

CANDEIAS, A. L. B.; SOUSA, E. B. Aplicação da Morfologia Matemática na extração automática de curva de nível de carta topográfica. Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, 1996. p. 681-688. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.01.15.39/doc/T8.pdf>

CANDEIAS, A. L.B. Aplicação da Morfologia Matemática à análise de imagens de sensoriamento remoto. 1997. 187 f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Aplicadas, São José dos Campos, SP, 1997. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/analucia/1996/10.14.12.27?mirror=sid.inpe.br/banon/2001/04.06.10.52.39&metadataarepository=sid.inpe.br/banon/2001/04.03.15.37.23>

CANDEIAS, A. L. B.; MOURA, C. J. M. DE; NASCIMENTO, P. H. O. DO; TAVARES JR., J. R. Extração de borda: uma análise pela morfologia matemática. VIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba, 2013. Disponível em: http://www.cbcg.ufpr.br/home/wp-content/uploads/2013/11/f014_cbcg13.pdf

EOPORTALDIRECTORY (2014). *IKONOS-2*. Disponível em: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/i/ikonos-2>

EVANS, A. N.; LIU, X. U. A morphological gradient approach to color edge detection. *IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING*, 2006, 15(6): 1454-1463.

FONSECA, L. ; NAMIKAWA, L.; CASTEJON, E.; CARVALHO, L.; PINHO, C.; PAGAMISSE, A. *Image Fusion for Remote Sensing Applications, Image Fusion and Its Applications*, Dr. Yufeng Zheng (Ed.), ISBN: 978-953-307-182-4, InTech, DOI: 10.5772/22899. 2011. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/image-fusion-and-its-applications/image-fusion-for-remote-sensing-applications>.

SILVA, G. P.da. *Uma abordagem geodésica da locação e controle dimensional de estruturas da construção civil*. 2014. 174 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/10741/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Gleice%20Pereira%20da%20Silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GONZALEZ, R. F.; WOODS, R. E. *Processamento de Imagens digitais*. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

ISHIKAWA, A. S.; SILVA, E. A.; NÓBREGA, R. A. A. Extração de Rodovias em Imagens Digitais de Alta Resolução com O Uso da Teoria de Morfologia Matemática. *Revista Brasileira de Cartografia* Nº 63/01, 2010. (ISSN 0560-4613)

LI, G.; XIAO-MING, L. *Color edge detection based on mathematical morphology in HSI space*, Computer and Information Application (ICCIA), 2010 International Conference on , vol., no., pp.5,8, 3-5 Dec. 2010. doi: 10.1109/ICCIA.2010.6141522

NOVO, E. M. L. *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações*.4.ed. São Paulo: Blücher, 2010.

RODRIGUES, T.G; SILVA, E. A.; LEONARDI, F. o uso de morfologia matemática na detecção de pistas em autódromo. *Revista Brasileira de Cartografia No 62 Edição Especial 2, 2010*. (ISSN 0560-4613), p. 337-343.

SCHOWENGERDT, R.A. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. 3 edition, Academic Press, 0-12369-407-8 Diego, USA, 2007.

SERRA, J. *Image analysis and mathematical morphology*. London: Academic Press, 1982. 610p.

SILVA, E. A. *Extração de feições cartográficas de imagens multiespectrais fundidas*. São Paulo: USP, 1995. 114p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP, 1995.