

Estimativa de batimetria aplicando análise de componentes principais e dados Ikonos II.

Caroline Bergamo Gonçalves¹
Jorge Antonio Silva Centeno¹
Selma Regina Aranha Ribeiro²

¹Universidade Federal do Paraná – UFPR/ CPGCG
Caixa Postal 19.001 – 81531-990 - Curitiba - PR, Brasil
carolinebergamo@terra.com.br
centeno@ufpr.br

²Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG
Depto. Geociências. CEP 84.030-900 - Ponta Grossa – PR, Brasil
selmar_12@hotmail.com

Abstract. The principal components analysis (PCA) is a multivariate method of statistic analysis that when applied to the digital processing image enables to concentrate the relevant information of a large number of multispectral bands in one or few images, the so called principal components. In the case of submerged coastal environments, the largest variance in reflectance is due to the water depth, so the bathymetry information is stored in the largest variation component: the first principal component. A model for estimation of depth was proposed by Tedesco (2003). The model uses the digital value of a single band, neglecting the information contained in the other. Aiming to verify if the use of first component image can improve model's estimate in relation to other bands, this study applied the PCA on Ikonos II data. Information about the bathymetry of various bands was compressed in the first principal component image. Subsequently, sampling and verification points were selected, where the depths were known from a survey with ecobathymeter, and digital values of such points contained in the bands and in the first component image were applied in the model. For each model a statistical analysis was performed, based on error between known and estimated depth. A comparison carried out by statistical analysis showed that the implementation of PCA reduces considerably estimate's errors. The use of first component in the model, in place of isolated bands, reduced the variance and standard deviation of the error in the estimated depth.

Palavras-chave: principal components analysis, bathymetry, Ikonos II, análise por componentes principais, batimetria.

1. Introdução

Informações de profundidade têm especial importância em regiões costeiras, principalmente onde existe alto tráfego de embarcações, ambientes naturais vulneráveis, ou ainda como base para obras de engenharia costeira. Os levantamentos de profundidade são apresentados em mapas batimétricos, que possibilitam uma navegação mais segura, auxiliam projetos de manejo de regiões costeiras, de dragagens e de obras de engenharia costeira como a construção de portos, espigões, molhes, engorda de praias, aterro hidráulico entre outras.

Levantamentos batimétricos normalmente são feitos por ecobatímetros, equipamentos que se baseiam na medição do tempo decorrido entre a emissão de um pulso sonoro e a recepção do mesmo sinal após ser refletido pelo fundo. Esses equipamentos são transportados junto a embarcações e por esse fato se restringem a áreas que essas podem alcançar. Os levantamentos batimétricos utilizando ecobatímetros ficam prejudicados em regiões rasas, que possuem obstruções geográficas, linhas de costa complexas, correntes fortes ou ondas. Em algumas dessas regiões é possível utilizar outras técnicas para determinar a profundidade.

As técnicas de sensoriamento remoto são um eficiente método complementar para determinar profundidades em regiões restritas. Imagens de satélite multiespectrais são usadas com este objetivo por admitir que a reflectância de cada pixel é um indicador da profundidade (Polcyn, 1970 *apud*. Minghelli-Roman, 2007) . A habilidade da luz penetrar nos corpos d'água é o embasamento necessário para se modelar a profundidade da água a partir de dados

de satélites. Desde os anos 70, muitos métodos foram desenvolvidos sobre esse embasamento. Os métodos podem ser baseados em equações de transmissão de radiação eletromagnética na água, ou em modelos estáticos que analisam a relação entre valores de pixel e medidas de profundidade. Podem ainda integrar as vantagens dos métodos de transmissão e estatístico em um único método (Deng *et. al.*, 2008).

Tedesco (2003) propôs um modelo que estima a batimetria aplicando um logaritmo neperiano diretamente aos valores digitais, com o objetivo de linearizar a informação da banda considerada:

$$z = a_0 + a_1 * \ln VD \quad (1)$$

As incógnitas a_0 e a_1 são os parâmetros de correlação entre profundidades (z) e valores digitais (VD) de uma determinada banda. Por tratar-se de uma regressão linear, os parâmetros a_0 e a_1 são os coeficientes que definem a reta, sendo a_0 o ponto de interceptação da reta no eixo y e a_1 o coeficiente de inclinação da mesma.

O modelo proposto permite a aplicação de uma única banda, negligenciando a informação das demais bandas em sua estimativa. Esse problema pode ser contornado com um método estatístico de análise multivariada que, aplicado ao processamento de imagens, permite concentrar as informações relevantes de diversas bandas em uma única imagem, ou componente. Esse método é chamado de transformação ou análise por componentes principais (ACP). Segundo Khan *et. al.*(1992), a principal variação de reflectância da água acontece devido à profundidade. Assim, a componente que tem a maior variação agrupa as informações referentes à batimetria em sua série de dados. As demais componentes correspondem a variações de outras naturezas, como por exemplo, mudança do tipo de fundo e material em suspensão.

Este trabalho tem por objetivo verificar se o emprego da análise por componentes principais nas bandas de uma imagem Ikonos II pode melhorar a estimativa de profundidade do modelo proposto por Tedesco (2003).

2. Metodologia de Trabalho

A Figura 1 apresenta a área de estudo que se localiza nas ilhas da Sepultura e do Capinzal, que fazem parte do litoral Paraná, na região sul do Brasil.

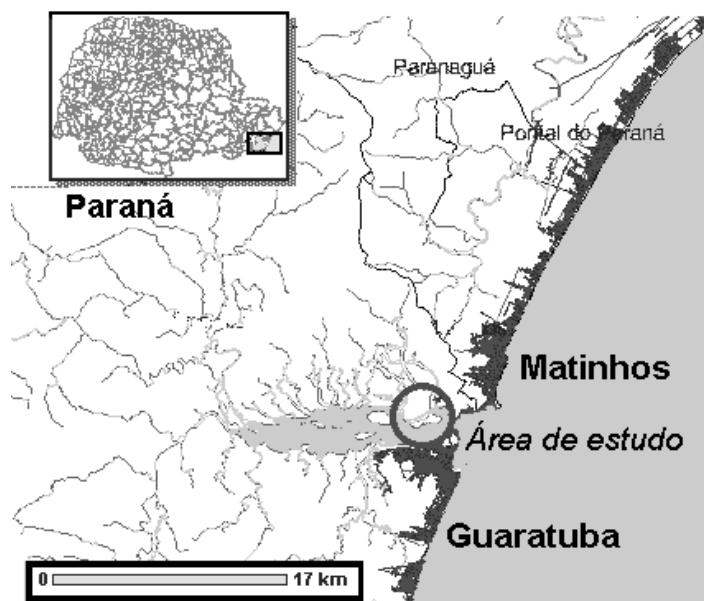


Figura 1- Área entre as ilhas Sepultura e do Capinzal, na baía de Guaratuba.

Uma imagem Ikonos II da região foi obtida em 16 de setembro de 2001. Este sistema registra imagens na faixa multiespectral que abrange as seguintes bandas: Banda 1 (0,45 a 0,52 μm); Banda 2 (0,51 a 0,60 μm); Banda 3 (0,63 a 0,70 μm) e Banda 4 (0,76 a 0,85 μm), com resolução espacial de 4m. A banda pancromática (0,76 a 0,90 μm) tem resolução espacial de 1m. Neste trabalho, o resultado da fusão das bandas multiespectrais (2, 3 e 4) e a banda pancromática foi utilizado.

Foram escolhidos pontos de amostragem e verificação com base em um levantamento batimétrico realizado nos dias 11, 12 e 13 de junho de 2002. Os valores lidos pelo ecobatímetro nesse levantamento foram corrigidos dos efeitos de maré. A quantidade de pontos de amostra é de 73 pontos e de verificação é de 62.

Foi proposta a análise por componentes principais com o intuito de agrupar as informações de batimetria em uma única componente, possibilitando a criação de uma imagem da primeira componente principal. A análise por componentes principais é uma técnica que transforma as informações das n-bandas originais, correlacionadas entre si, em um novo espaço n-dimensional, no qual a correlação entre bandas é minimizada. A partir da matriz de variância-covariância das bandas originais, são calculados os autovalores (variâncias) e autovetores (coeficientes) que definem novas componentes. Obtêm-se então funções lineares ortogonais de forma a rotacionar os dados, eliminando a redundância (Manly, 1994 *apud* Costa *et. al.*, 2006). O número de componentes geradas é o mesmo de bandas originais utilizadas. A primeira componente principal é a que contém a maior parte das informações, a que apresenta o maior autovalor, pois o teor de informação é proporcional ao tamanho relativo do autovalor associado.

Para o cálculo dos autovalores e autovetores, os valores digitais de pontos com profundidade conhecida foram lidos na imagem. Com as leituras em todas as bandas disponíveis foi calculada a matriz variância-covariância e a matriz de correlação do conjunto. A seguir os autovalores da matriz de correlação (A) foram determinados, usando a expressão da Equação 2.

$$\det(A - \lambda I) = 0 \quad (2)$$

Para cada autovalor em (2) é então determinado o autovetor (v) associado:

$$A v = \lambda v. \quad (3)$$

Com os coeficientes dos autovetores é então montada uma matriz de rotação que transforma os valores digitais da imagem neste novo sistema. Os valores digitais dos pontos de amostragem, lidos na imagem, são usados, junto com as profundidades corrigidas dos mesmos pontos, para efetuar uma regressão linear usando a componente principal que contém as maiores variações. Uma vez determinados os parâmetros da regressão, é possível aplicar o modelo a pontos de verificação e obter os erros da estimativa.

A regressão e verificação são aplicadas aos mesmos pontos de amostragem e verificação, mas agora a relação de profundidade corrigida é feita com os valores digitais das bandas isoladas, e não mais com a componente principal, para comparação dos erros das estimativas.

A leitura dos valores digitais nas bandas, a ACP e a criação da imagem da primeira componente foram processadas no sistema MATLAB. A regressão e verificação foram realizadas no sistema EXCEL.

3. Resultados e Discussão

A aplicação da ACP nas bandas da imagem Ikonos II resultou nos autovalores e respectivos autovetores que podem ser observados na Tabela 1. Os autovalores indicam o quanto da variância dos dados está representada em cada componente principal. Neste

trabalho, a primeira componente contém 98,7% da variância total dos dados, a segunda componente contém 1,1% e a terceira 0,2%.

Tabela 1- Matriz Variância-covariância, autovalores e autovalores das bandas 4, 3 e 2.

Bandas	4	3	2
Matriz Variância - covariância			
4	1051,6	1948,4	1971,2
3	1948,4	4082,4	4094,8
2	1971,2	4094,8	4149,5
Autovalores			
	20,9	99,8	9162,8
Autovetores			
	-0,0267	0,9457	0,3241
	0,7161	-0,2081	0,6663
	-0,6975	-0,2499	0,6716

Os autovetores definem a contribuição de cada banda original para cada componente principal. Assim, as equações de cada componente principal podem ser expressas por:

$$1^{\text{a}}\text{CP} = 0,3241*B4 + 0,6663*B3 + 0,6717*B2 \quad (4)$$

$$2^{\text{a}}\text{CP} = 0,9457*B4 - 0,2081*B3 - 0,2499*B2 \quad (5)$$

$$3^{\text{a}}\text{CP} = -0,0267*B4 + 0,7161*B3 - 0,6975*B2 \quad (6)$$

Onde B4, B3 e B2 representam os valores digitais lidos nas bandas 4, 3 e 2, respectivamente.

Os valores B2, B3 e B4 de todos os pixels da imagem correspondentes a áreas submersas foram aplicados na equação 3, resultando numa imagem da primeira componente principal (Figura 2) que concentra somente as variações referentes à batimetria.

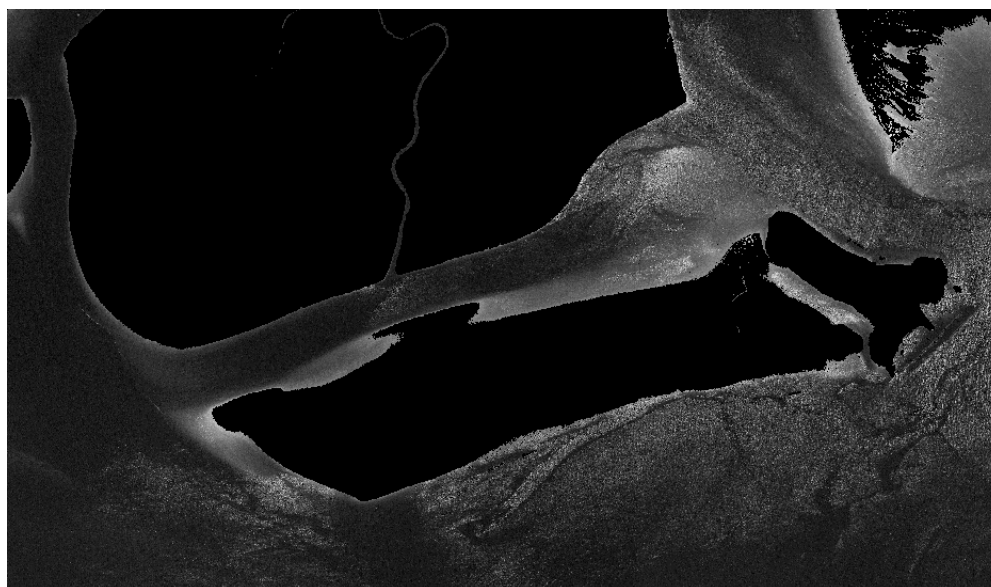


Figura 2 - Imagem da primeira componente principal.

Os valores digitais dos pontos de amostragem, lidos na imagem da primeira componente principal (Figura 2), e as profundidades corrigidas nos mesmos pontos são aplicados no modelo para o cálculo dos parâmetros que compõem os coeficientes da equação:

$$z = 7,9785 - 1,5199* \ln VD_{CP} \quad (7)$$

Aplicam-se à Equação 7 os valores lidos na imagem, agora nas localizações dos pontos de verificação, para calcular a profundidade estimada desses pontos. Então se subtrai os valores corrigidos dos estimados, fornecendo os erros da aplicação do modelo. Os erros entre a profundidade estimada e corrigida são calculados para analisar a eficiência do modelo aplicando a imagem em questão.

A regressão e verificação são aplicadas novamente, agora para relacionar as profundidades corrigidas e as bandas 2, 3 e 4, e analisar a eficiência do modelo para tais dados. Os mesmos pontos de amostragem e verificação foram utilizados e as equações obtidas agora foram:

$$z = 7,3074 - 1,4952 * \ln VD_{B2} \quad (8)$$

$$z = 7,7347 - 1,5858 * \ln VD_{B3} \quad (9)$$

$$z = 3,9039 - 0,9961 * \ln VD_{B4} \quad (10)$$

Os erros entre as profundidades estimadas e corrigidas, com a aplicação das equações 7, 8, 9 e 10 foram analisados e os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Média dos erros, variância e desvio padrão dos modelos utilizando cada uma das bandas.

	1ª Componente	Banda 2	Banda 3	Banda 4
Média dos erros.	0,3437	0,3647	0,2236	0,2119
Variância dos erros.	0,6689	3,8498	3,7292	2,9872
Desvio Padrão.	0,8179	1,9621	1,9311	1,7284

No gráfico de barras da Figura 3 estão dispostos os valores referentes à tabela 2. A média de erros com da banda 2 e da primeira componente é muito parecida, assim como a média de erros das outras duas bandas.

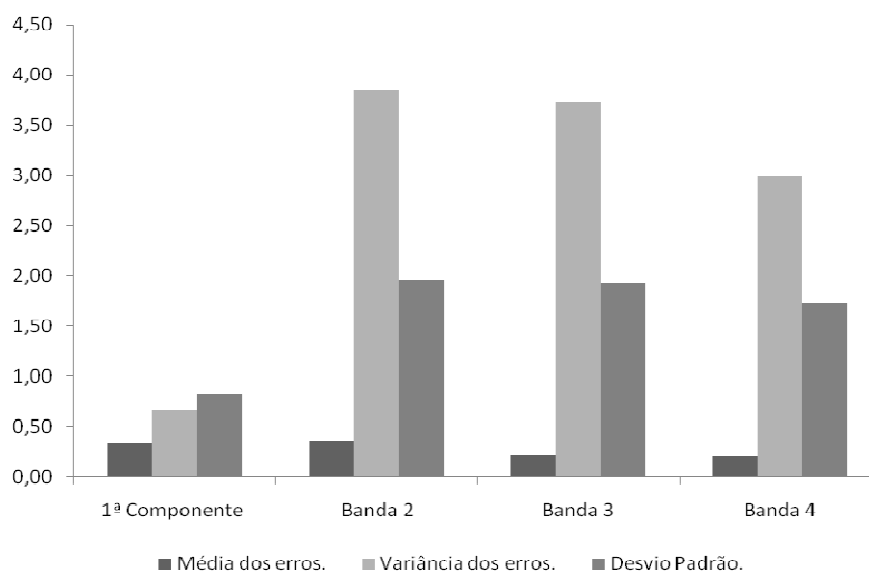


Figura 3- Análise estatística dos erros do modelo proposto utilizando cada uma das bandas.

Analisando as variâncias e os desvios padrões dos erros do modelo utilizando cada uma das bandas, é possível notar que a primeira componente principal apresentou menores valores que as demais bandas. Tanto a variância como o desvio padrão representam medidas de

dispersão dos valores em relação ao valor médio. Isso quer dizer que os erros utilizando a primeira componente variam menos em torno dos valores verdadeiros.

3. Conclusão

A utilização da imagem gerada pela aplicação do método de análise por componentes principais no modelo, ao invés da utilização das bandas isoladas, permitiu a redução no erro da profundidade estimada pelo modelo. O modelo apresentou melhores estimativas utilizando a imagem resultante da ACP do que as estimativas geradas com as bandas da imagem Ikonos.

Os erros médios não apresentaram diferenças significativas com o uso da imagem da primeira componente. Porém, a contribuição da ACP pode ser percebida quando se analisam os valores de variância e o desvio padrão da estimativa. Os valores destas medidas calculados pelo modelo que usa a imagem da primeira componente principal foram consideravelmente reduzidos em relação aos obtidos pelos cálculos com base nos valores estimados pelo modelo que inclui as demais bandas da imagem.

A ACP se mostrou uma técnica útil não só na redução da dimensionalidade das imagens como também na redução da dispersão dos erros em torno de um valor médio. Estes aspectos positivos aliados à redução no erro da estimativa quando as bandas originais são substituídas pela primeira componente principal apontam para a aplicabilidade desta técnica na obtenção de valores estimados de profundidade a partir de imagens Ikonos.

4. Citações e Referências

Costa, T.C.E.C.; Demarco, P.; Brites, R. S. Métodos para redução do espaço n-dimensional de imagens orbitais. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 58, n.1, p. 27-35, 2006.

Deng, Z.; Ji, M.; Zhang, Z. Mapping bathymetry from multi-source remote sensing images: a case study in the Beilun estuary, Guangxi, China. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B8. 2008, Beijing. **Anais...** Nanning: Guangxi-ASEAN Marine Research Center, 2008. Artigos, p. 1321- 1326. On-line. ISSN 1682 -1750. Disponível em: <http://www.isprs.org/congresses/beijing2008/proceedings/8_pdf/13_ThS-19/05.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2008.

Khan, M. A.; Fadlallah, Y. H.; Al-HinaiI, K. G. Thematic mapping of subtidal coastal habitats in the western Arabian Gulf using Landsat TM data - Abu Ali Bay, Saudi Arabia. **Internation Journal of Remote Sensing**, v. 13, n. 4, p. 605-614, 1992.

Minghelli-Roman, A.; Polidori, L.; Mathieu, S.; Loubersac, L.; Cauneau, F. Bathymetric Estimation Using MERIS Images in Coastal Sea Waters. **Geoscience and Remote Sensing Letters**, v.4, n.2, p.274 -277, 2007.

Tedesco, A. **Viabilidade do uso de imagens de alta resolução para a atualização de mapas batimétricos**. 2003. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade federal do Paraná, Curitiba. 2003.