

ESTIMATIVA DE PROFUNDIDADES ATRAVÉS DA INTEGRAÇÃO DE DADOS BATIMÉTRICOS E DADOS ESPECTRAIS PROVENIENTES DE IMAGENS IKONOS

ANDREA TEDESCO^{1,2}
JORGE ANTONIO SILVA CENTENO^{1,3}

¹Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - UFPR
Caixa Postal 19001 - CEP 81531-990 - Curitiba - PR, Brasil

²tedescodeda@pop.com.br

³centeno@cce.ufpr.br

Abstract. Brazil has an extensive littoral and a lot of navigable rivers, which are used to transport cargo and people, for business, leisure and tourism. Therefore, reliable and updated navigation maps are required. However, the aquatic systems are very dynamic, suffering erosion and deposition processes that cause variations on submarine relief, turning nautical charts quickly out of date. So, we are proposing an alternative method to estimate subaquatic depths through IKONOS image and bathymetric data integration. Experiments are being performed in Guaratuba Bay, Paraná coast.

Keywords: remote sensing, image processing, bathymetry, navigation-maps.

1. Introdução

Países como o Brasil, com extenso litoral e grande quantidade de rios navegáveis, utilizam estes tanto para o transporte de pessoas e cargas quanto para o lazer e turismo. Por esta razão, cartas de navegação confiáveis e constantemente atualizadas são requeridas. No entanto, devido à grande dinâmica dos sistemas hídricos, as cartas náuticas tornam-se desatualizadas rapidamente pois, processos de erosão e deposição provocam variações no relevo submarino e na localização da linha de costa.

No Brasil, a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), da Marinha do Brasil, é responsável pela realização dos levantamentos hidrográficos e pela produção e atualização das cartas náuticas. Porém, devido às dificuldades de realização de levantamentos em áreas de baixa profundidade ou de fundo que apresente perigos à navegação, existem áreas não cartografadas nas cartas náuticas. Além disso percebe-se uma grande generalização das profundidades nas cartas náuticas.

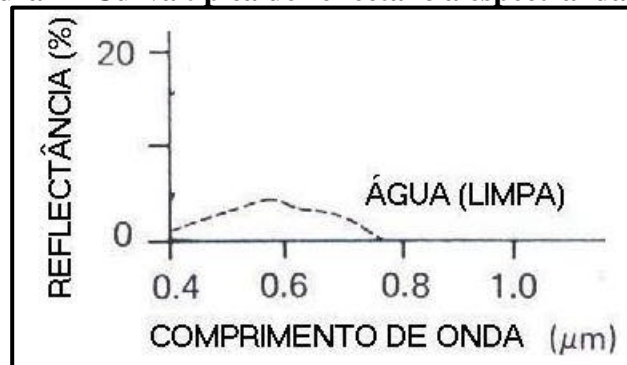
No intuito de se preencherem estas lacunas existentes nos levantamentos hidrográficos, ou a inexistência dos mesmos, propôs-se um método alternativo para estimativa de profundidades e, conseqüentemente, para atualização e complementação de mapas batimétricos. O método consiste na integração de dados batimétricos com dados espectrais provenientes de imagens obtidas pelo sensor a bordo do satélite IKONOS II. Os dados batimétricos foram obtidos através de levantamento batimétrico realizado com auxílio de ecobatímetro de feixe único. A partir dos dados batimétricos, determinam-se parâmetros de correlação entre os níveis de cinza e as profundidades, para alguns pontos de apoio. A equação de correlação pode então ser aplicada para toda a cena da imagem para estimativa das profundidades e geração de mapas batimétricos. Para o desenvolvimento deste estudo selecionou-se uma área-teste que abrange o canal localizado entre as ilhas do Capinzal e Sepultura, na Baía de Guaratuba, no litoral paranaense.

2. Propriedades Óticas e Comportamento Espectral da Água

Da radiação que atinge a superfície da água, parte penetra e parte é refletida, voltando para a atmosfera. A quantidade de radiação refletida depende das condições da superfície da água

(plana ou ondulada) e principalmente do ângulo de incidência da radiação sobre esta. Ao penetrar na coluna d'água, a radiação é submetida a profundas alterações, tanto na sua intensidade quanto na sua composição espectral. A primeira alteração sofrida é a mudança de direção devido à refração provocada pela redução da velocidade ao penetrar no meio líquido. Em seguida, parte da radiação é absorvida e transformada em outras formas de energia, por exemplo, química pela fotossíntese e calorífica pelo aquecimento da água. Outra parte da radiação sofre dispersão devido ao choque com partículas suspensas ou dissolvidas na água. Assim, a absorção e a dispersão são os dois principais fatores responsáveis pela atenuação da radiação com a profundidade nos ecossistemas aquáticos (Deberdt, 2002). Entre as propriedades óticas da água pode-se citar a absortância, a transmitância, a reflectância e a emissividade. A **Figura 1** ilustra a curva típica de reflectância da água. Analisando-se a mesma, percebe-se que a água apresenta resposta espectral na faixa visível do espectro eletromagnético, sendo praticamente nula na faixa do infravermelho.

Figura 1 - Curva típica de reflectância espectral da água



Fonte: Lillesand e Kiefer (1987)

A melhor região para as medidas espectrais da água é em torno de $0,48\mu\text{m}$, onde a transmitância é máxima (Swain & Davis, 1978). No entanto, na região visível do espectro as interações da energia são bastante complexas e dependem de uma série de fatores como a reflexão especular, materiais suspensos na água, fundo do corpo d'água e variáveis climatológicas. Características da água como profundidade, quantidade de materiais em suspensão (clorofila, argilas e nutrientes) e rugosidade da superfície, podem alterar o comportamento espectral da água (Chuvieco, 1990).

3. Materiais

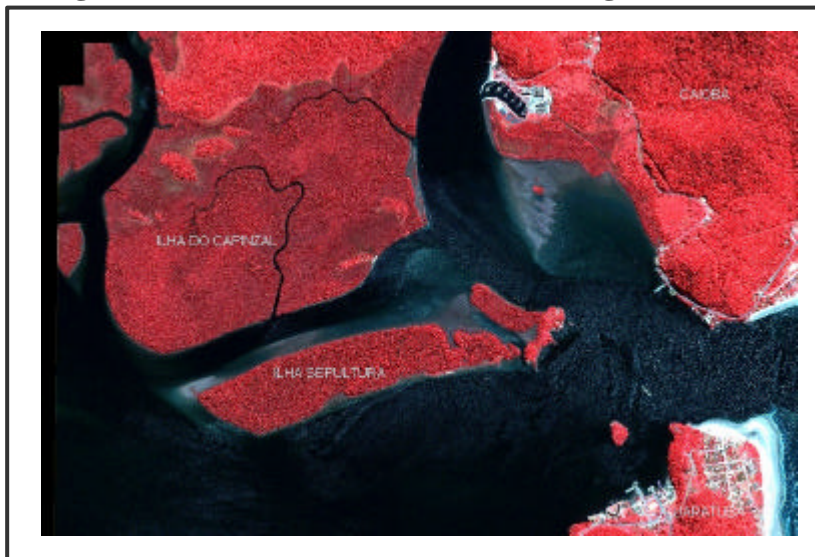
Para a realização deste estudo estão sendo utilizados:

- Dados batimétricos obtidos através de levantamento hidrográfico realizado em junho de 2002, utilizando-se ecobatímetro de feixe único e posicionamento horizontal através do método diferencial GPS (DGPS);
- Carta náutica 1803-ER da Baía de Guaratuba, na escala 1:25.000, publicada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação - Marinha do Brasil, em 1996 (**Figura 2**);
- Imagem multiespectral IKONOS II do ano de 2001, resultado da fusão das bandas 2, 3 e 4 do modo multiespectral (resolução espacial de 4m) com a banda pancromática de resolução espacial de 1m (**Figura 3**);
- Softwares para processamento de imagens (MATLAB, ENVI, MULTISPEC e ARCVIEW), softwares para planejamento e processamento dos dados do levantamento hidrográfico (HYPACK, PRISM e SURFER) e para digitalização da carta náutica (MAXICAD).

Figura 2 - Área de estudo extraída da carta náutica 1803-ER

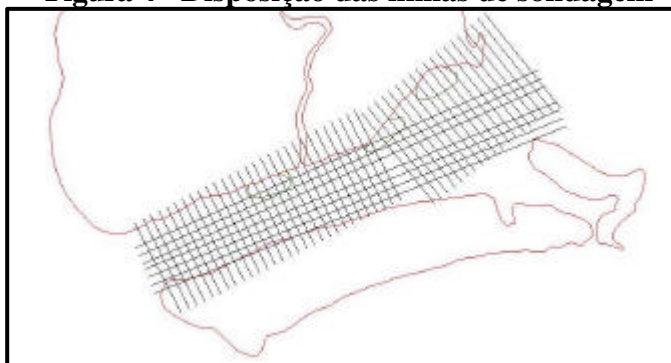


Figura 3 - Área de estudo extraída da imagem IKONOS



Os dados batimétricos foram obtidos através de levantamento hidrográfico, realizado em linhas de sondagem pré-planejadas. Foram levantadas linhas longitudinais e transversais ao canal, num total de 47 linhas de sondagem. Obtiveram-se dados referentes à posição bidimensional e profundidade dos pontos levantados nestes perfis. A **Figura 4** ilustra a disposição das linhas de sondagem.

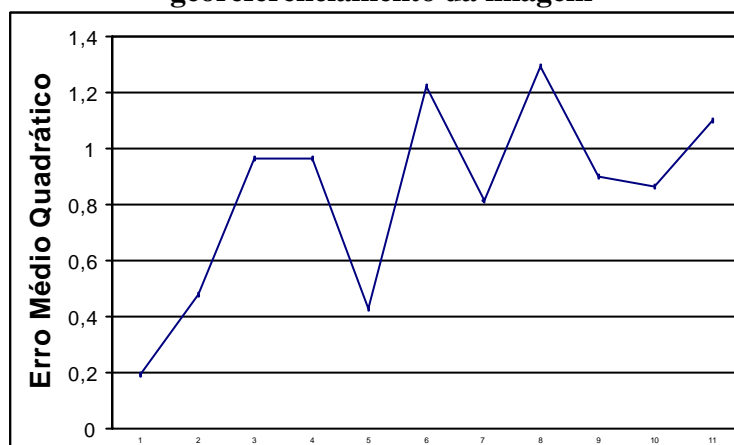
Figura 4 - Disposição das linhas de sondagem



4. Metodologia e Resultados

Para que seja possível determinar a correlação entre os dados batimétricos e a informação espectral da imagem, é necessário que a mesma esteja criteriosamente georeferenciada. Para isto, pontos de apoio foram identificados na imagem e suas coordenadas foram determinadas com auxílio de receptores geodésicos GPS. As coordenadas foram obtidas com precisão centimétrica. O georeferenciamento das imagens resultou em erros inferiores a dois pixels (equivalentes a menos de dois metros), conforme ilustra a **Figura 5**.

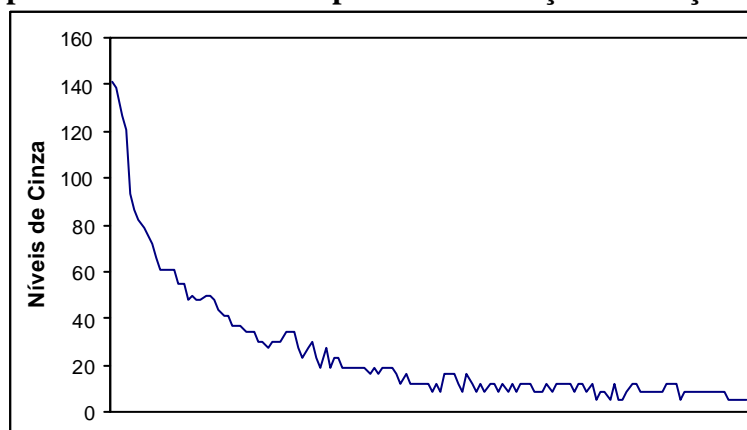
Figura 5 - Erro Médio Quadrático dos pontos utilizados no georeferenciamento da imagem



Foram selecionadas algumas linhas de sondagem e alguns pontos destas linhas, para determinar os pixels correspondentes na imagem, extraindo-se o valor do nível de cinza destes, nas bandas do vermelho e verde.

Plotando-se os dados espectrais, percebe-se que os mesmos apresentam um comportamento exponencial quanto à variação da profundidade, conforme ilustrado na **Figura 6**. Níveis de cinza maiores correspondem a áreas menos profundas, e vice-versa.

Figura 6 - Comportamento dos dados espectrais em relação à variação de profundidade



Em 1978, Lyzenga propôs um modelo para estimativa de profundidade através do modelo simples de reflectância da água para uma dada banda de comprimento de onda (λ) (Lyzenga, 1978):

$$L_i = L_{si} + k_i r_{Bi} \exp(-K_i f_z) \quad (1)$$

Onde:

- L_i = radiância na banda i ;
- L_{si} = radiância observada sobre água profunda (devida à reflexão externa da superfície da água e dispersão na atmosfera);
- k_i = constante que inclui irradiância solar, transmitância da atmosfera e da superfície de água, e redução da radiância devido à refração da superfície de água;
- r_{Bi} = reflectância do fundo;
- K_i = coeficiente de atenuação efetivo da água;
- f = fator geométrico para cálculo do comprimento do caminho através da água; e
- z = profundidade da água.

Como os dados da imagem são obtidos de maneira simultânea, e o canal possui o mesmo tipo de fundo, considerou-se neste trabalho que os valores de k_i , r_{Bi} , K_i e f e K_i são os mesmos para toda a cena, permitindo uma simplificação do modelo para:

$$NC = a_1 * \exp(-a_2 Z) \quad (2)$$

Onde NC corresponde ao valor do nível de cinza do pixel, a_1 e a_2 são parâmetros de correlação e Z é a profundidade obtida do levantamento batimétrico. Linearizando-se o modelo obtém-se:

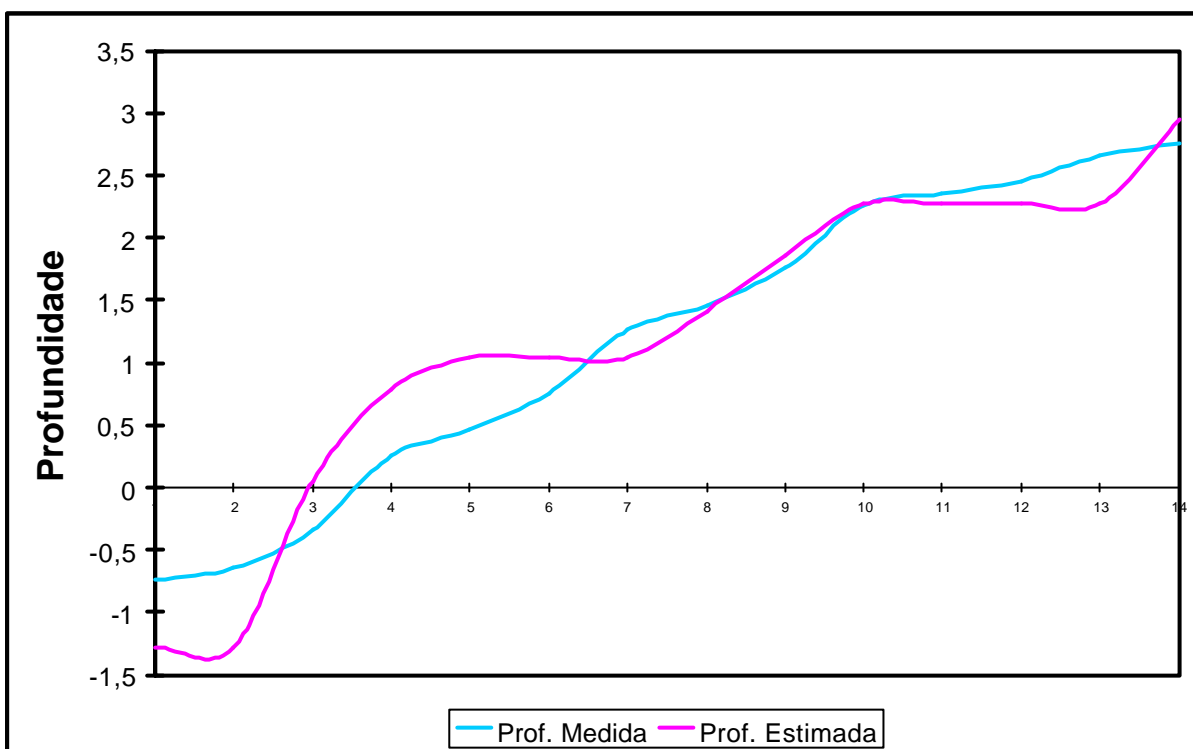
$$\ln NC = \ln(a_1 * \exp(-a_2 Z)) \therefore \ln NC = \ln a_1 + (-a_2 Z) \quad (3)$$

Substituindo-se $\ln(a_1)$ por b_1 e $-a_2$ por b_2 , tem-se:

$$\ln NC = b_1 + b_2 Z \quad (4)$$

Neste estudo, como se tem dados batimétricos, os mesmos estão sendo utilizados para calibrar a imagem. Utilizando-se o modelo linear da equação 4, e correlacionando o valor do nível de cinza com a profundidade dos pontos das linhas de sondagem, determinam-se os parâmetros b_1 e b_2 da equação de correlação, através de um ajustamento pelo método paramétrico (Gemael, 1994). Com os parâmetros determinados, aplica-se a equação de correlação, através de programa gerado em ambiente MATLAB, para toda a cena da imagem, estimando-se a profundidade de todos os pixels da área do canal. Com estes dados gera-se então o mapa batimétrico a partir da imagem. A qualidade do mapa pode ser avaliada comparando-o com o mapa batimétrico resultante da sondagem realizada e com a carta náutica. A **Figura 7** mostra as profundidades estimadas através dos níveis de cinza comparadas com as profundidades obtidas no levantamento batimétrico, para um dos perfis de sondagem.

Figura 7 - Comparação entre as profundidades estimadas e verdadeiras



6. Considerações Finais

Comparando-se a carta náutica à imagem, percebe-se a grande generalização existente na carta náutica. Na imagem podem ser percebidos os bancos de areia formados no entorno da Ilha Sepultura, que demonstram a desatualização rápida da carta náutica (período entre 1996 e 2001). Além disso, analisando-se os valores de níveis de cinza dos pixels, percebe-se uma variação dos mesmos em função da variação das profundidades do canal. Estas variações foram comprovadas através dos dados batimétricos. Na carta náutica, o canal está representado com profundidades quase que constantes, evidenciando apenas algumas regiões de baixo fundo formando poços juntos à Ilha do Capinzal, enquanto que, através da imagem, pode-se perceber variações no relevo submarino. Isto comprova a necessidade de uma rápida atualização dos dados batimétricos, e a possibilidade da utilização de imagens de satélite para isto.

O modelo utilizado para estimativa de profundidades, mostrou-se adequado na determinação dos parâmetros de correlação entre os níveis de cinza e as profundidades. Analisando-se a figura 7 pode-se observar que o perfil obtido através da imagem assemelha-se muito com o perfil obtido do levantamento batimétrico. As maiores variações, em torno de um metro, ocorrem nas regiões menos profundas, onde há grande influência do fundo na resposta espectral, o que faz com que os níveis de cinza possuam valores muito altos e variáveis.

A realização de levantamentos batimétricos é tarefa bastante dispendiosa e, devido a isso, a geração e atualização das cartas náuticas tornam-se processos caros. Este método proposto mostra que, tendo-se apenas alguns perfis de sondagem, não necessitando de um levantamento total da área, é possível calibrar a imagem e obter-se da mesma uma estimativa das profundidades. Apesar dos erros detectados, um mapa batimétrico, obtido através de uma imagem de satélite de alta resolução espacial, permite uma atualização rápida da carta náutica,

necessitando de apenas alguns dados batimétricos para a determinação dos parâmetros de correlação. Além disso, é possível ter-se um volume de dados muito superior ao de um levantamento batimétrico, em função do tamanho correspondente do pixel no terreno. Tomando-se como exemplo um levantamento hidrográfico realizado na escala 1:5000, o afastamento entre as linhas de sondagem deverá ser de 40m, segundo as normas da DHN. Utilizando-se uma imagem IKONOS, têm-se informações espectrais a cada 1 metro, o que implica numa generalização dos dados muito inferior. Aspectos como estes, e os resultados obtidos, comprovam a viabilidade do método proposto.

Recomenda-se que, aspectos como turbidez da água, natureza do fundo, presença de ondas ou sombras (nuvens) na cena da imagem, profundidade máxima da qual se consegue obter resposta espectral (para este trabalho foi em torno de 5m), entre outros, devem ser analisados antes da utilização do método aqui proposto.

Referências

Chuvieco, E. Fundamentos de Teledetección Espacial. Ediciones Rialp, S.A. Madrid, 1990.

Deberdt, A. J. Qualidade da Água. Disponível em:<<http://educar.sc.usp.br/biologia/prociencias/qagua.htm>> Acesso em: 13 maio 2002.

Diretoria de Hidrografia e Navegação. Disponível em:<<http://www.dhn.mar.mil.br>> Acesso em: 13 maio 2002.

Gemael, C. Introdução ao Ajustamento de Observações. Editora UFPR. Curitiba, 1994.

Lillesand, T. M., Kiefer, R.W. Remote Sensing and Image Interpretation. Editora John Wiley & Sons, Inc. 3ª edição. New York, 1994.

Lyzenga, D. R. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. Applied Optics, vol. 17 n° 3, p.379-383. Fevereiro, 1978.

Swain, P; Davis, S. Remote Sensing. The Quantitative Approach. Editora McGraw-Hill Book Company. United States of America, 1978.