

Índice de diferença normalizada da água - NDWI para a obtenção da morfologia do canal de acesso e bacia de evolução portuária – Porto de Niterói (RJ)

Rodrigo da Silveira Pereira¹
Aurélio da Silva de Souza¹
Paulo Roberto Alves dos Santos^{1,2}

¹ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Coordenação de Recursos Naturais
CEP 20031-170 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil
{rodrigo.s.pereira, aurelio.souza, paulo.alves}@ibge.gov.br

² Universidade Federal Fluminense – Departamento de Análise Geoambiental
CEP – 24030-346 - Niterói - RJ, Brasil
paulorobertoalvess@gmail.com

Abstract. Access channels and port developments basins are areas highly modified by coastal and dredging activities. Thus, interventions in these areas require careful planning due to high operating costs and lack of previous data. In this case, we used remote sensing products from Landsat 8 satellite to obtain the normalized difference water index (NDWI) and compare it with official bathymetric data from nautical chart (Marinha do Brasil). The estimated bathymetry data from NDWI had low correlation with official bathymetry data. The comparison of the distributions of the bathymetric points obtained by interpolating the data of the nautical chart and obtained by NDWI indicated that the median values match each other. The application of the methodology in the Port of Niterói (RJ) was satisfactory in modelling of the bottom morphology, with the identification of the access channel and port development basin, according to the local environmental characteristics. The results indicate that the methodology is applicable to previous environmental studies and academic articles, due to the low cost and the agility, not recommended for use in navigation.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, geology, geomorphology, sensoriamento remoto, processamento de imagens, geologia, geomorfologia.

1. Introdução

As áreas destinadas para instalações portuárias devem ser estáveis em termos geológicos, geomorfológicos e oceanográficos. Em geral, diversas intervenções são feitas nestes ambientes para tornar a atividade portuária economicamente viável. Ainda que haja um recente crescimento nas implantações de portos em mar aberto, a maioria dos portos no Brasil está localizada em desembocaduras de baías ou estuários. Muitas vezes essas áreas são de ocupação antiga, com entorno densamente edificado e populoso. Por se tratar de um ambiente antropizado, cuja eficiência está diretamente relacionada com as condições de navegabilidade, são necessárias obras periódicas, entre as quais as atividades de dragagem são as mais relevantes em termos de custo operacional e riscos ambientais. Dessa forma, a dragagem em áreas portuárias requer um planejamento que objetive a mitigação dos impactos ambientais decorrentes da remoção dos sedimentos de fundo, bem como a definição das áreas de bota-fora do material dragado. Um dos requisitos fundamentais para a execução da dragagem é o conhecimento da batimetria e morfologia de fundo, bem como de áreas de aporte e erosão sedimentar. Entretanto, levantamentos batimétricos possuem alto custo.

A obtenção da batimetria a partir de produtos de sensoriamento pode fornecer importante insumo para conhecimento prévio e atual das áreas costeiras portuárias. A obtenção de batimetria através de sensoriamento remoto como alternativa às técnicas tradicionais já foi objeto de estudo de Krug e Noernberg (2005) e Foerstnow e Menezes (2011), através do método índice de diferença normalizada da água – NDWI (McFeeters, 1996).

Este trabalho tem como objetivo aplicar o NDWI de forma a se obter a morfologia da área costeira do porto de Niterói (RJ), especificamente em relação ao canal de acesso e bacia de evolução portuária, tendo em vista que é uma área particular, cuja batimetria conhecida e disponível está representada na carta náutica 1515 – Baía de Guanabara – Ilha de Mocanguê e proximidades – escala 1:8.000 (DHN, 2008). A partir dos resultados obtidos, é feita a comparação com os resultados da interpolação dos dados batimétricos da carta náutica, de forma a verificar a eficácia do método quanto às possibilidades de individualização das feições morfológicas de fundo, de acordo com as características geológicas e geomorfológicas da área de estudo.

2. Área de estudo

A área costeira do porto de Niterói integra a Baía de Guanabara, compreendendo o canal de acesso entre o morro da Armação ao Sul, a ilha do Caju ao norte, e a bacia de evolução portuária localizada na enseada de São Lourenço, limitada a leste pelo complexo viário de acessos à ponte Rio-Niterói, no município de Niterói (RJ). Possui aproximadamente 513.500 m² de área, sendo um ambiente extremamente antropizado, cujo entorno é predominantemente ocupado por atividade industrial portuária, áreas de empresas de suprimentos à navegação e estaleiros, recebendo aporte de materiais lixiviados destas atividades e significativo volume de esgotos domésticos *in natura*. A geologia do entorno caracteriza-se por rochas metamórficas de médio a alto grau de deformação localizadas nos promontórios da enseada de São Lourenço (morro da Armação e ilha do Caju) e significativa presença de depósitos quaternários fluvio-marinhos (UERJ e CPRM, 2009). Em relação a textura, os sedimentos de fundo da área de estudo apresentam 85,2% de frações finas (silte e argila, em amostra de sedimentos localizada próxima à área ocupada por estaleiros (Viana, 2009). A figura 1 mostra a localização da área de estudo em relação ao município de Niterói.

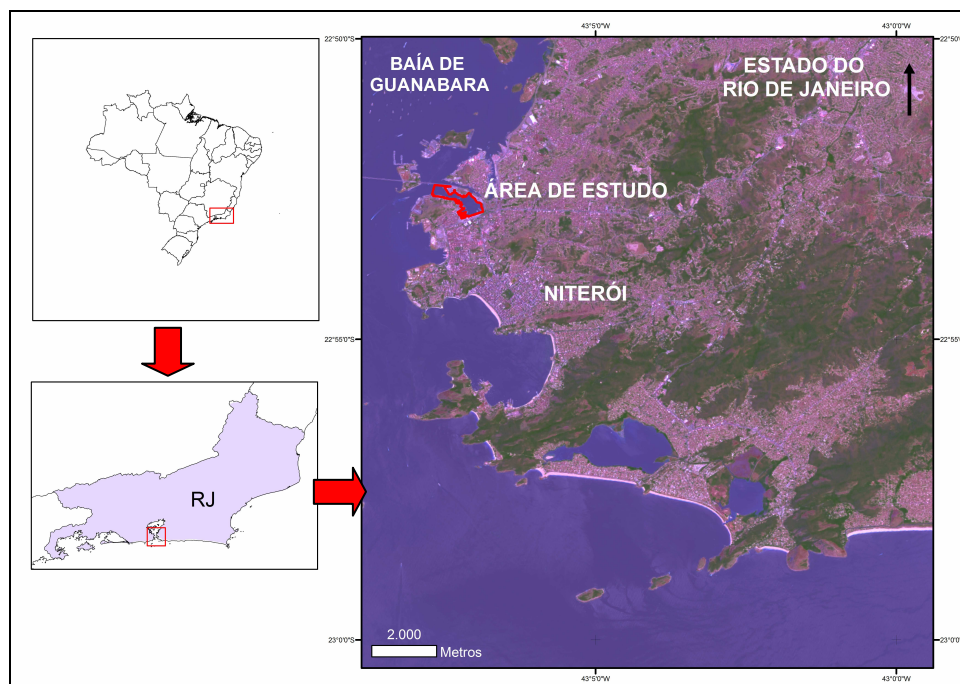


Figura 1. Localização da área de estudo em relação ao município de Niterói (RJ).

3. Metodologia

3.1. Carta náutica

As informações cartográficas contidas na carta náutica 1515 (DHN, 2008) permitiram a definição da área de estudo, bem como a digitalização da delimitação desta e dos pontos de batimetria conhecida. A carta náutica está disponibilizada na *internet* em formato .TIF no portal da Marinha do Brasil (www.mar.mil.br). Uma vez georreferenciada, as informações utilizadas foram obtidas através do *software* ArcGis 9.3.

3.2. Imagem Landsat 8

A imagem orbital utilizada neste estudo foi a cena 217/76 (órbita-ponto) do satélite/sensor Landsat 8 OLI (*Operational Land Imager*) de 15 de janeiro de 2015, obtida no sítio do *United States Geological Survey* - USGS. As bandas 3 (verde do visível) e 5 (infravermelho próximo) foram selecionadas, de acordo com a metodologia para a obtenção do NDWI (McFeeters, 1996). Adicionalmente, foi utilizado o arquivo de metadados de forma a se obter as informações destas bandas. A imagem foi projetada para o sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator – UTM, WGS84, fuso 23S, através do aplicativo ArcGis 9.3.

3.3. NDWI

O Índice da Diferença Normalizada da Água (Normalized Difference Water Index – NDWI) é um método desenvolvido por McFeeters (1996) com o intuito de delinear feições na água presentes no ambiente e realçar a presença das mesmas na imagem digital obtida por sensoriamento remoto. Este método deriva do Índice da Diferença Normalizada de Vegetação (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index), o qual se baseia na assinatura espectral característica de uma vegetação sadia mostrando um evidente contraste entre a combinação das bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Quanto maior for o contraste, maior será o vigor da vegetação na área imageada.

McFeeters (1996) modificou a fórmula do NDVI invertendo as variáveis e usando a banda verde ao invés da banda vermelha, a fim de obter melhores resultados voltados à água. Gao (1996) também notou que o NDWI baseado nas bandas do infravermelho próximo e do

infravermelho médio do das imagens Landsat era altamente correlacionado com o conteúdo de água no vegetal e conseguia acompanhar mudanças melhor na biomassa e nos estresses de umidade das plantas do que com o NDVI (descrito acima). De forma geral, o cálculo de NDWI pode ser descrito como apresentado na equação 1:

$$NDWI = (Verde - IVP)/(Verde + IVP) \quad (1)$$

onde 'verde' corresponde a faixa espectral da banda 3 (faixa verde do espectro visível) e IVP, a faixa espectral da banda 5, região do infravermelho próximo. A seleção destas bandas tem a intenção de: (1) maximizar a refletância típica de feições na água nos comprimentos de onda relativos ao canal verde; (2) minimizar a baixa refletância no infravermelho próximo de feições na água; e (3) utilizar a alta refletância no infra vermelho próximo por feições de vegetação terrestre e solo. Assim, o NDWI foi desenvolvido primeiramente para delinear características da água e acentuar sua presença em imagens digitais do sensoriamento remoto, enquanto simultaneamente elimina características do solo e da vegetação terrestre (McFeeters, 1996).

3.4. Processamento dos dados

Os pontos batimétricos digitalizados da carta náutica 1515 (DHN, 2008) foram interpolados no ArcGis 9.3 através do método dos vizinhos próximos (*natural neighbors*) de forma a se obter os contornos batimétricos.

As informações sobre reflectância das bandas 3 e 5 foram obtidas a partir do tratamento do arquivo de metadados da imagem de satélite no aplicativo Landsat Tools for Windows V.1.0.34, obtido através da internet (www.ukscience.org). Este aplicativo fornece as equações para os cálculos de reflectância, radiância e temperatura. As bandas 3 e 5 foram convertidas em *rasters* de reflectância através do módulo *raster calculator* do ArcGis 9.3. Ao fim desta etapa, foi obtido o NDWI e produzido um mapa de contorno dos resultados, conforme a equação 1.

Para a verificação da resposta do modelo, foi feita a correlação estatística entre os dados batimétricos da carta náutica e os resultados do NDWI no pacote estatístico R, com geração de gráfico de correlação e de resíduos. Os resultados da correlação estatística possibilitaram a elaboração de mapa de contorno da batimetria estimada pelo NDWI, no ArcGis 9.3.

Para a comparação dos resultados considerando a morfologia de fundo do canal de acesso e da bacia de evolução portuária, foram feitos perfis longitudinais no ArcGis 9.3.

4. Resultados e discussões

Os contornos batimétricos resultantes da interpolação dos dados da carta náutica 1505 permitiram identificar a morfologia do canal de acesso e da bacia de evolução portuária na área de estudo (Figura 2). Ao analisar os resultados da correlação entre os dados pontuais da carta e os resultados da aplicação do interpolador *natural neighbors* ($R^2 = 0,91$), compreende-se que a modelagem constitui uma representação próxima da realidade da morfologia do fundo.

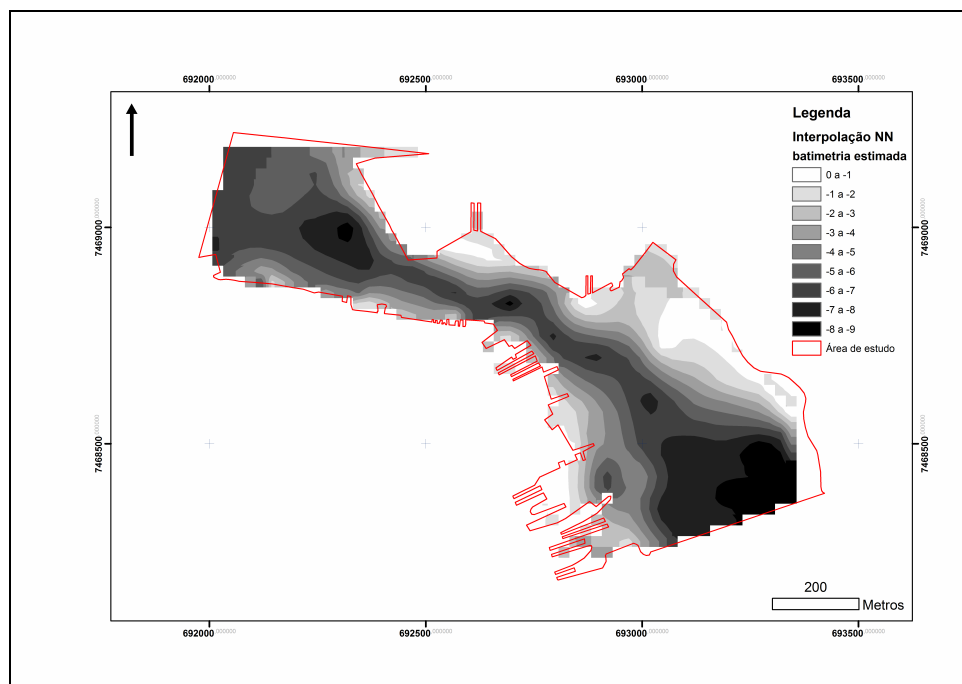


Figura 2. Batimetria (em metros) e morfologia obtidos por interpolação dos pontos batimétricos da carta náutica 1515 (DHN, 2008) pelo método vizinhos próximos (*natural neighbors*).

Comparando visualmente os resultados apresentados nas figuras 2 e 3, verifica-se que os resultados do índice também permitem a identificação de feições que sugerem o canal de acesso e a bacia de evolução portuária, na área delimitada cujo NDWI ficou acima de 0,41 (Figura 3).

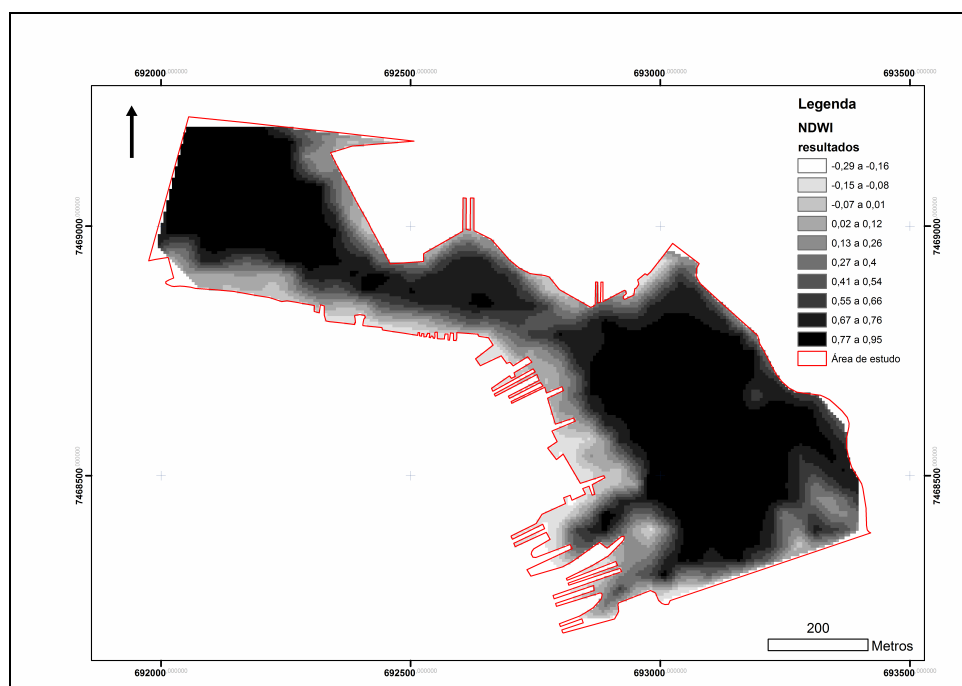


Figura 3. NDWI obtido para a área de estudo conforme McFeeters(1996).

Ao analisar os resultados para pontos batimétricos, os resultados do NDWI obtidos conforme Mcfeeters (1996) apresentaram baixa correlação com os dados da batimetria

conhecida utilizada no estudo. O modelo que apresentou o melhor ajuste foi o modelo de regressão linear ($R^2 = 0,2086$; $p\text{-value} < 0,001$ e erro padrão = $0,7367$). Por se tratar de uma área com entorno com concentração de estruturas de edificações próximas a água, que pode causar ruídos na reflectância da banda do verde visível, a aplicação do índice modificado de diferença normalizada da água – MNDWI (Xu, 2006) seria a metodologia mais indicada. A figura 4 apresenta os resultados gráficos da correlação entre a batimetria e o NDWI e a distribuição dos resíduos.

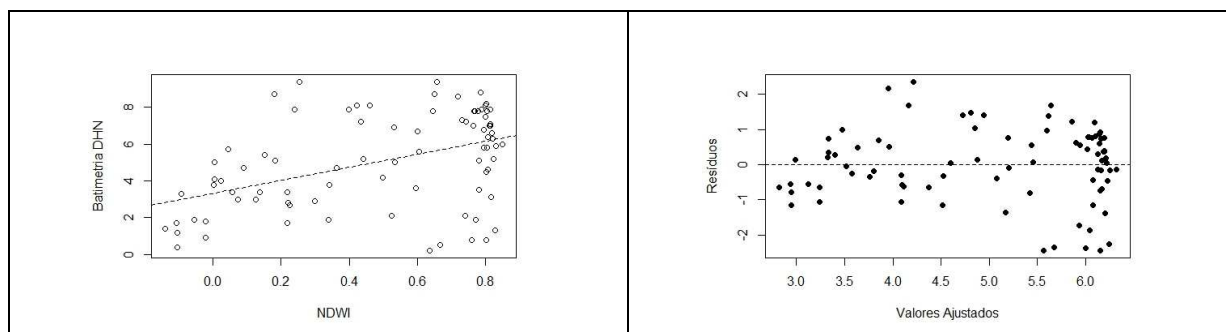


Figura 4. Resultados do NDWI em relação à batimetria DHN (à direita) e a dispersão dos resultados pelo gráfico de resíduos (à esquerda).

Os resultados da correlação permitem afirmar que há baixa correlação entre a batimetria conhecida e a batimetria estimada pelo NDWI para a área de estudo. Trabalhos desenvolvidos por Krug e Noernberg (2005) na área do porto de Paranaguá (PR), e Foerstnow e Menezes (2011) na lagoa da Conceição (SC) apresentaram alta correlação ($R^2 = 0,746$) e moderada correlação ($R^2 = 0,3308$), respectivamente, entre a batimetria estimada por NDWI e a batimetria real. Ambos os trabalhos tiveram como objetivo a avaliação do método como alternativo para os levantamentos executados por métodos acústicos, em áreas com boa disponibilidade de dados batimétricos. Adicionalmente, verifica-se que a medida que a profundidade aumenta, ocorre maior discrepância entre os dados reais e os dados modelados por NDWI, corroborando os resultados apresentados por Krug e Noernberg (2005).

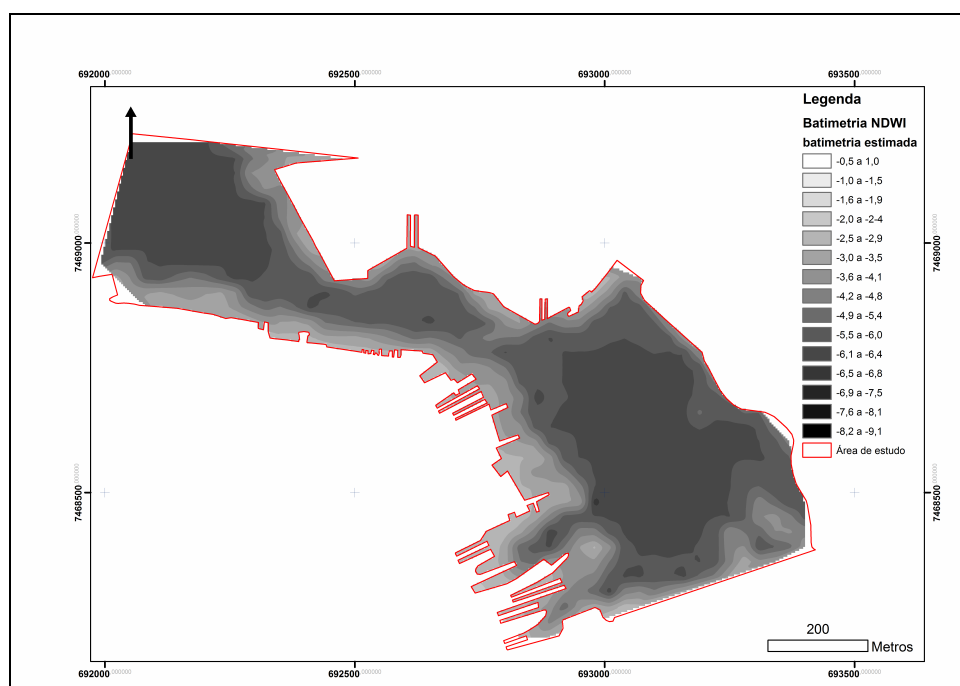


Figura 5. Batimetria (em metros) e morfologia estimadas a partir dos resultados do NDWI.

A figura 5 acima apresenta o mapa de contornos da batimetria estimada pelo NDWI, obtida pela aplicação do modelo de correlação estatística, no qual identificam-se o canal de acesso e a bacia de evolução portuária. Ao comparar este resultado com o mapa obtido pela batimetria conhecida, são observadas algumas variações batimétricas na porção próxima aos berços de atracação, mais a sudeste, sugestivas de processos de deposição sedimentar.

Na tabela 1 são apresentados alguns resultados da análise estatística dos dados batimétricos obtidos pela aplicação do NDWI e os dados batimétricos obtidos pela interpolação dos dados da carta náutica. Verifica-se, que, ainda que haja uma diferença entre o tamanho da amostra analisado, os valores observados para a mediana encontram-se bem próximos. Entretanto, a baixa resposta do modelo não permitiu a comparação entre as batimetrias por intervalos de profundidades.

Tabela 1. Estatísticas dos resultados obtidos pela interpolação dos pontos de batimetria DHN e NDWI

Medidas estatísticas	Batimetria DHN - NN	Batimetria NDWI
n	711	577
Mínimo	-9,112	-6,733
Máximo	-0,468	-2,462
Média	-5,016	-5,26
Desvio-Padrão	2,192	1,153
Mediana	-5,568	-5,96

Ao comparar visualmente os perfis longitudinais obtidos (figura 6), verifica-se que o perfil da batimetria modelada pelo NDWI apresenta menor detalhamento em comparação com o perfil da batimetria obtida pelos dados da carta náutica. Porém, são observadas pequenas coincidências no segmento do perfil compreendido entre 400 m e 800 m no perfil longitudinal, representando as variações da morfologia de fundo. Isso pode ser associado com a baixa reflectância do fundo, a partir de determinado tamanho de coluna d'água que inibe o resultado do NDWI bem como a presença de materiais particulados em suspensão ou subsuperfície.

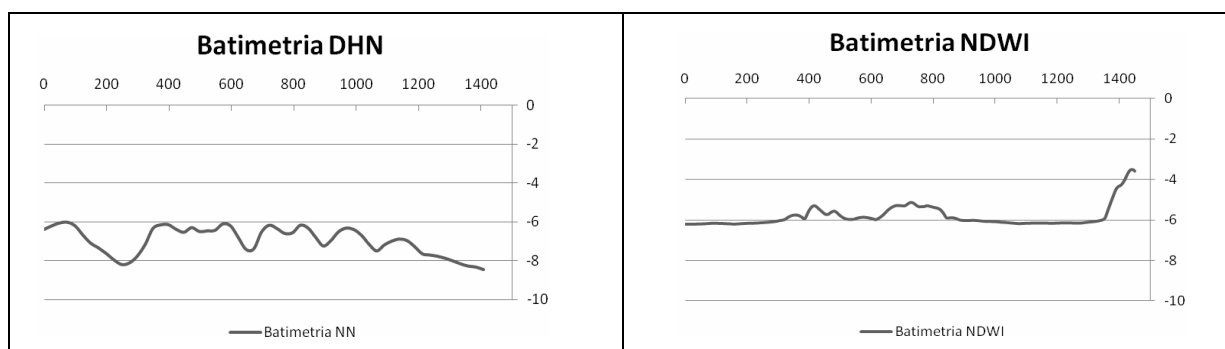


Figura 6. Perfis batimétricos do canal de acesso e bacia e evolução portuária obtida pela interpolação dos pontos da carta náutica pelo método dos vizinhos próximos (à esquerda) e pela aplicação do NDWI (à direita). Os eixos são expressos em metros.

5. Conclusões

A aplicação do sensoriamento remoto para a obtenção da batimetria em águas rasas vem sendo utilizada e tem se mostrado de grande importância, devido principalmente a rapidez dos resultados e o baixo custo do método. Neste trabalho, o NDWI não respondeu de forma satisfatória para a obtenção da batimetria na área de estudo, devido ao baixo valor de

correlação estatística com a batimetria conhecida, que pode ser associada às características ambientais da área de estudo no momento da captura da imagem, especificamente com materiais sólidos em suspensão ou em subsuperfície. Em relação a definição da morfologia do fundo da área de estudo, o método foi satisfatório na área de estudo, pois permitiu a identificação do canal de acesso e da bacia de evolução portuária.

Deve-se considerar também que o modelo batimétrico elaborado a partir da carta náutica escala 1:8.000 tem resolução espacial bem melhor que as imagens de média resolução espacial do Sensor Landsat 8/OLI. Talvez esse possa ser um dos motivos que dificultem o maior detalhamento do modelo batimétrico oriundo do Landsat.

Dessa forma, a metodologia precisa ser melhor avaliada quanto à obtenção da batimetria com fins de navegação, sendo aplicável sem restrições para estudos ambientais e acadêmicos.

6. Referências bibliográficas

Foerstnow, L. P.; Menezes, J. T. Aplicabilidade de imagens de satélite utilizando NDWI na determinação da batimetria da Lagoa da Conceição, Florianópolis, SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR)., 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4397-4404. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A63B7E>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

Gao, B.C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid from space. **Remote Sensing Environment**, v.58, n.3, p. 257-266, 1996.

Krug, L. A.; Noernberg, M. A. Extração de batimetria por sensoriamento remoto de áreas rasas dos sistemas estuarinos do Estado do Paraná - Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3077-3084. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.15.11>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

Marinha do Brasil - Diretoria de Hidrografia e Navegação. Carta batimétrica 1515 - baía de Guanabara - ilha de Mocanguê e proximidades. Disponível em <<https://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/cartas/1505.zip>>. Acesso em 21.jan.2016.

McFeeters; S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v.17,n.7, p. 1425-1432, 1996.

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ; Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais - CPRM. Mapa geológico folha baía de Guanabara, 2009. Disponível em <http://geobank.cprm.gov.br/pls/publico/geobank.documents.open_zipfile?id_sessao=20161031090704&file=ba_iaguanabara.zip>. Acesso em: 01.out.2016.

Viana,L.C.A. **Acumulação de materiais-traço em sedimentos de áreas adjacentes ao porto de Niterói (enseada de São Lourenço, baía de Guanabara, RJ)**. Dissertação (Mestrado em Geociências – Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2009.

Xu, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14,p.3025–3033, 2006.