

Aplicação de um modelo de Boussinesq para avaliação de impacto de obras de engenharia costeira na zona de surfe

Rodrigo do Carmo Barletta¹, Lindino Benedet¹, Tom Pierro², Rafael Bonanata¹

¹ Coastal Planning & Engineering do Brasil, Ltda. Rodovia José Carlos Daux (SC 401) N° 8.600, Sala 5, Bloco 6. Santo Antônio de Lisboa. Florianópolis, SC, Brasil, 88050-001; tel: (48) 3239-7770; fax: (48) 3239-7771; rbarletta@coastalplanning.net,

lbenedet@coastalplanning.net, rbonanata@coastalplanning.net

² Coastal Planning & Engineering, Inc. 2481 N.W. Boca Raton Boulevard, Boca Raton, Florida, USA, 33431; tel: (561) 391-8102 X142; fax: 9116; tpierro@coastalplanning.net

RESUMO: Neste trabalho um modelo de Boussinesq foi aplicado em duas localidades diferentes da costa da Florida-USA, Palm Beach na costa leste e Upham Beach na costa Oeste. A modelagem visou analisar o desempenho de obras de engenharia costeira e os impactos destas obras na prática do surf nestes locais. Para ambas as localidades os modelos foram alimentados com dados de ondas e batimetria medidos. Para Palm beach o modelo foi calibrado de forma quantitativa através de dados de 2 ADCPs que mediam onda fundeados concomitantemente. Para Upham Beach a calibração foi qualitativa, pois só existiam dados de um equipamento. Através dos resultados foi possível testar algumas alternativas de obras de contenção de erosão e apontar o custo-benefício de cada uma destas em relação à eficiência e mitigação de impactos causados às características hidrodinâmicas de cada uma destas localidades. Os resultados mostraram que o modelo foi uma ferramenta muito útil para ajudar a tomada de decisões dos governantes destes 2 condados, face a eminente necessidade de proteger suas linhas de costa afetadas por erosão costeira e atender aos diferentes anseios comunitários, como proteção costeira, turismo, navegação, lazer e o surf, sendo este último enfatizado neste estudo.

PALAVRAS CHAVE: Modelo de Boussinesq, estruturas de contenção de erosão, impacto no surf

ABSTRACT: A Boussinesq model was applied for two different locations in Florida's coastline; Palm Beach at the eastern Atlantic coast and Upham Beach at the western Gulf coast. The modeling aimed to analyze the performance of coastal engineering structures and the hydrodynamic impacts caused at surf zone conditions to those locations. The models were feed with measured wave and bathymetric data for both places. For Palm Beach the model was calibrated in a quantitative way using data from 2 moored ADCPs that measured waves at the same time period. For Upham the calibration had to be done in a qualitative way due to data availability from only one deployed instrument. Trough the results it was possible to test some structural alternatives to solve erosion issues pointing the benefits and drawbacks in relation to the efficiency and hydrodynamic impacts for the two locations. The results showed that the model was a valuable tool to help local government decision makers from these two counties due to the eminent need to protect their coastlines affected by coastal erosion and attend the different community demands, as coastal protection, tourism, navigation, leisure and surfing; this last one empathized at this study.

KEYWORDS: Boussinesq model, coastal protection, surf zone impact

1. INTRODUÇÃO

Intervenções tradicionais de engenharia costeira são técnicas usadas em diversos países que tem fronteira com o mar. Alguns importantes objetivos destas aplicações são: (i) a proteção contra tempestades e; (ii) a contenção e controle da erosão costeira. O estado norte americano da Florida tem muitos exemplos do uso de metodologias de engenharia. A zona costeira deste estado caracteriza-se por ilhas barreiras fortemente urbanizadas, banhadas no lado leste pelo Oceano Atlântico Norte e no lado oeste pelas águas do Golfo do México. No lado interno (continental) destas ilhas barreiras existem lagunas costeiras, pântanos e canais, que em muitos casos tem ligação com o mar. Os canais são utilizados para navegação, sendo alguns naturais e outros mantidos abertos artificialmente pelo homem. Esta configuração de complexidade morfológica e urbana esta associada a um intenso regime hidrodinâmico de ondas geradas por furacões e frentes frias. Estas trabalham os sedimentos costeiros de maneira que muitas praias ou trechos de praia apresentam processos de erosão. Para controlar tais processos, os órgãos governamentais deste estado se apóiam historicamente em métodos de engenharia costeira como a alimentação artificial de praias e a construção de obras de engenharia costeira rígida. Através destes métodos, o governo e a sociedade civil têm sua propriedade pública e particular protegida dos avanços do mar, apoiando assim as medidas de engenharia comuns neste litoral.

Apesar da eminente necessidade perante uma linha de costa com déficit sedimentar, os métodos de controle de erosão nem sempre atendem a diversidade de interesses e demandas sociais. Obras de engenharia rígida não são vistas com “bons olhos” por algumas parcelas da sociedade. Alguns dos motivos alegados para tal insatisfação são a falta de segurança ao usuário da praia (banhista), degradação estética acompanhada por prejuízos ao turismo, questões ambientais e ecológicas, alto custo refletido em impostos, etc. Um fato interessante é o caso particular dos surfistas, que formam associações civis bem organizadas e muitas vezes contestam em juízo as intervenções. Os projetos mais contestados por estas associações são os de engenharia rígida, pois deterioram a qualidade da onda usada para a prática do surf. Engordamentos de praia são mais aceitos, mas muitas vezes também são contestados. Isto porque uma praia engordada tem sua morfologia alterada assumindo uma pendente de alta declividade. Isso afeta a qualidade da onda, que é diminuída para a prática do surf, impossibilitando temporariamente ou por completo a prática do esporte. Associações de surfistas também alegam que os engordamentos artificiais têm tempo de vida útil, requerendo manutenção periódica que infere um alto custo ao contribuinte.

Tendo em vista a necessidade de controle de erosão e a problemática acima citada, a *Coastal Planning & Engineering do Brasil*, foi encarregada de avaliar os impactos de obras de engenharia costeira sobre o surf em dois condados da Florida. Um deles se situa na costa leste norte-americana, na praia pública do condado de *South Palm Beach/Lantana*. Esta é uma praia exposta às ondulações do Atlântico Norte, com fundo composto por areias e fundos rígidos de arenito. *South Palm Beach* oferece condições de boa qualidade para a prática do surf. A corrente de deriva ao longo da costa tem sentido resultante de norte para sul e esta praia já sofreu diversos engordamentos artificiais devido à perda gradual de sedimento. Para esta praia, um projeto de um campo de pequenos quebra-mares sugeridos por engenheiros costeiros e oceanógrafos esta nos planos do governo local, cujo objetivo é formar saliências na linha de costa atrás dos quebra-mares para a contenção da erosão e retenção de sedimentos.

Outro caso estudado é localizado na costa do Golfo, no condado de *Pinellas*, cidade de *St. Pete*, praia de *Upham*. Esta praia apresenta forte erosão na sua porção situada ao norte de uma ilha-barreira que faz fronteira com um canal de navegação, chamado de *Blind Pass Inlet*. Trata-se de trecho de praia caracterizado como uma praia “alimentadora”, pois provê sedimentos para a ilha barreira que se estende para o sul. O transporte de sedimentos

resultante tem direção noroeste para sudeste e é interrompido no canal de navegação, formando um volumoso leque de deposição de maré vazante, eficiente armadilha de sedimentos. Devido a esta conjunção de fatores, *Upham* é engordada artificialmente de 4 em 4 anos. Um fator que torna o local socialmente complexo consiste nos múltiplos usos desta praia. Neste mesmo setor norte ocorre uma condição muito favorável a prática do surf na região, atraindo diversos praticantes e fomentando uma organizada indústria. Para diminuir os custos dos engordamentos periódicos um campo de molhes de geo-têxtil com formato de “T” foi implantado por 4 anos para teste (Elko & Mann, [2]). Com a confirmação da eficiência das estruturas na contenção do sedimento, o governo local encomendou alternativas de estruturas rígidas para controle de erosão a serem instaladas no próximo engordamento previsto para 2011. Neste caso, além da avaliação dos impactos das estruturas no surf, medidas mitigadoras em relação ao surf puderam ser sugeridas e testadas.

Este trabalho visa mostrar o uso de um modelo de Boussinesq para avaliar o desempenho de projetos de obras de engenharia costeira na redução de correntes ao longo da costa e os impactos das mesmas para a prática do surf em dois condados diferentes do estado da Florida.

2.METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

Foi aplicado um modelo chamado de *BOUSS-2D* [6], desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Norte Americano (*USACE*) em conjunto com a interface gráfica SMS desenvolvida pela *AquaVeo*®. *BOUSS-2D* é um modelo que resolve a fase da onda usando equações do tipo Boussinesq, com aplicação para problemas envolvendo reflexão/difração de ondas em geometrias como canais de navegação e portos. *BOUSS-2D* simula uma grande parte dos fenômenos hidrodinâmicos de interesse em regiões costeiras e portos, como o empinamento, a refração, transmissão e reflexão parcial e total, interações não lineares onda-onda, quebra de onda e *run-up*, corrente induzidas por ondas e interações onda-corrente. Um método de diferenças finitas é usado para solucionar as equações no domínio do tempo. A área de interesse é discretizada como uma grade retangular onde a elevação da superfície das ondas e as velocidades horizontais são definidas nos nós desta grade de uma maneira não alinhada (*staggered*). As condições de ondas podem ser periódicas, não-periódicas, unidirecionais ou multi-direcionais.

Para *South Palm Beach/Lantana*, um campo de 3 quebra mares foi incorporado a uma batimetria medida por *Lidar* no ano de 2008 e complementada com dados de 2006 e 2002. Dois campos de quebra mares foram testados, sendo que o segundo se diferenciava do primeiro por conter aberturas na parte central das estruturas. Além do impacto no surf, o segundo projeto visou uma análise das aberturas em relação a reciclagem das águas na parte interna dos quebra-mares assim como o efeito destas aberturas para a fauna local (*e.g.* tartarugas marinhas). Para a modelagem de ondas, dados de 2 ADCPs da marca *Nortek* funcionando concomitantemente foram utilizados. Um deles, um *AWAC*, foi fundeado a 16 m de profundidade enquanto o segundo (*Aquadopp*) estava em 3 m. Com estes dados foi possível calibrar o modelo e definir cenários de onda favoráveis para a produção de rodadas e resultados.

Para *Upham Beach*, estruturas rígidas foram projetadas em conjunto a um engordamento artificial da praia. Três diferentes *designs* de engenharia foram testados pela modelagem, sendo que um deles prevê um recife artificial para a prática do surf. Foram utilizados dados de ondas medidas por um ADCP *Triton* fundeado a aproximadamente 5,5 metros de profundidade complementados com dados de onda de uma bóia meteo-oceanográfica do *NOAA* (Administração Nacional Oceânica e Atmosférica) situada ao largo

da área de estudo. Com estes dados foram simulados 3 casos de ondas, dois gerados por 2 frentes frias e o terceiro gerado pela passagem do furacão IVAN. Para os diferentes cenários temporais, 3 conjuntos de dados batimétricos diferentes foram utilizados. Com isso foi possível uma validação qualitativa do modelo e produção dos resultados para análise. O primeiro conjunto é referente aos dados de *Lidar (Light Detection And Ranging)* da USACE de 2004. Estes representaram o período de tempo onde a praia estava fortemente erodida, o delta de maré vazante em frente ao canal de navegação estava dragado e boas condições para surf aconteciam em frente aos muros de contenção dos condomínios situados na parte norte da ilha barreira. O segundo conjunto de dados foi uma batimetria de *Lidar* realizada após a passagem do furacão *Wilma* em 2006. Estes dados mostram a situação da praia após a realização do último engordamento realizado em conjunto com a instalação dos molhes em forma de “T” feitos de geo-têxtil. O terceiro conjunto de dados usou a batimetria *Lidar USACE* de 2008 complementada com dados de perfis de praia e batimétricos medidos em 2009. Para este último caso o modelo foi rodado na situação mais recente e também foram incorporados os projetos de engenharia propostos. Para ambas as localidades de estudo, as estruturas propostas foram desenhadas no pacote *SMC* [3] da Universidade da Cantábria, Espanha. As previsões das praias em equilíbrio também foram calculadas pelo programa acima citado em conjunto com o pacote *MepBay* [5], utilizando a metodologia proposta por Silvester & Hsu [7]. Após a obtenção dos resultados da modelagem nos diferentes cenários, a avaliação dos impactos no surf dos projetos planejados foi corroborada pelos parâmetros analíticos e descritores qualitativos propostos por Hutt *et al* [4] e Benedet *et al.* [1].

3.CONCLUSÕES

Para *South Palm Beach/Lantana* (Figura 1) - Após a modelagem dos diferentes cenários de onda na situação batimétrica atual e com os tipos de estrutura propostos, concluiu-se que as mesmas interferem e prejudicam a qualidade das ondas surfadas por estarem localizadas onde previamente a onda estaria se propagando, por causarem reflexão e modificarem o ângulo de quebra (*peel angle*) das mesmas, fazendo com que a crista colapse inteiramente em um mesmo momento impossibilitando a prática do esporte. Os quebra-mares com aberturas foram eficientes em aumentar a circulação na parte de trás dos mesmos, onde as correntes resultantes sobre a abertura eram direcionadas para a praia. Correntes de retorno são produzidas entre os quebra-mares, fato que deve ser considerado na avaliação da segurança dos usuários de praia.

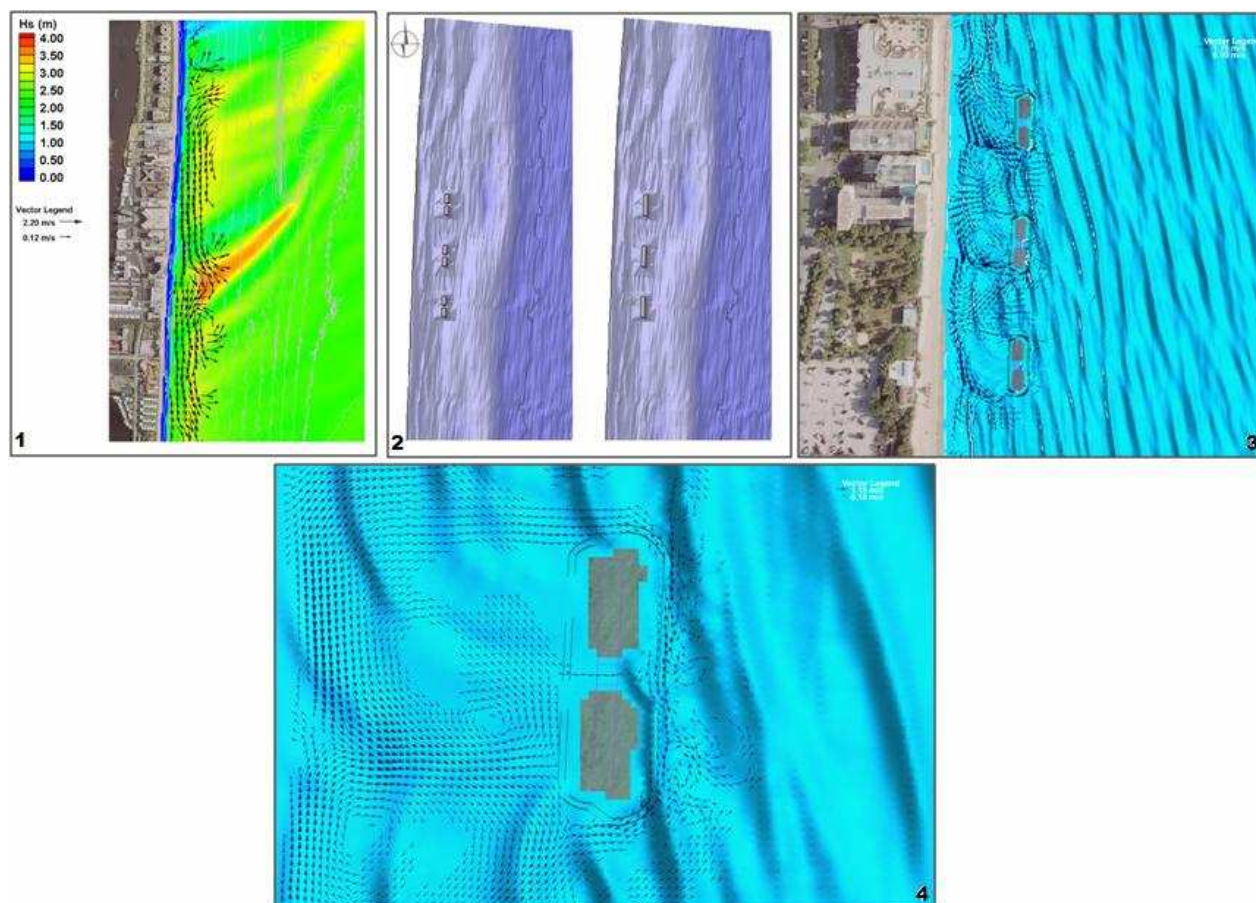


Figura 1. (1) Altura Significativa (H_s) e correntes de deriva em *South Palm Beach/Lantana*. (2) Campos de quebra mares testados. (3) Campo de correntes nos quebra-mares. (4) Zoom da Figura 1(3).

Para *Upham Beach* (Figura 2) – O modelo foi eficiente em simular condições ideais para a prática do surf na validação qualitativa e foi uma importante ferramenta no ranqueamento dos projetos de engenharia levando em consideração três prerrogativas: (i) Controle de Erosão Costeira. (ii) Disponibilização de uma morfologia de praia que atenda as demandas sociais de uso da mesma, com ênfase na prática do surf e (iii) Disponibilidade e justificativa do investimento para as diferentes necessidades e anseios da comunidade local. Os resultados mostraram que uma boa alternativa visando as prerrogativas i e ii seria a combinação de 2 projetos propostos, onde as obras de engenharia costeira são molhes pequenos em forma de “T” que conseguem reter a intensidade das correntes de deriva que transporta o sedimento e diminuem a reflexão nas ondas, garantindo uma área de recreação pública, combinados com o recife artificial de outro projeto, que obteve sucesso em garantir boas condições para o surf para todas os casos de onda modelados. Quando a prerrogativa 3 entra em consideração outra alternativa de intervenção foi escolhida como melhor, pois deixaria uma área livre entre os molhes para prática de surf e de lazer sem o alto investimento de implantação de um recife artificial de surf que atenderia a mitigação de um impacto para uma pequena parcela da sociedade se comparado com as demais.

O modelo BOUSS-2D provou ser uma eficiente ferramenta neste tipo de análise.

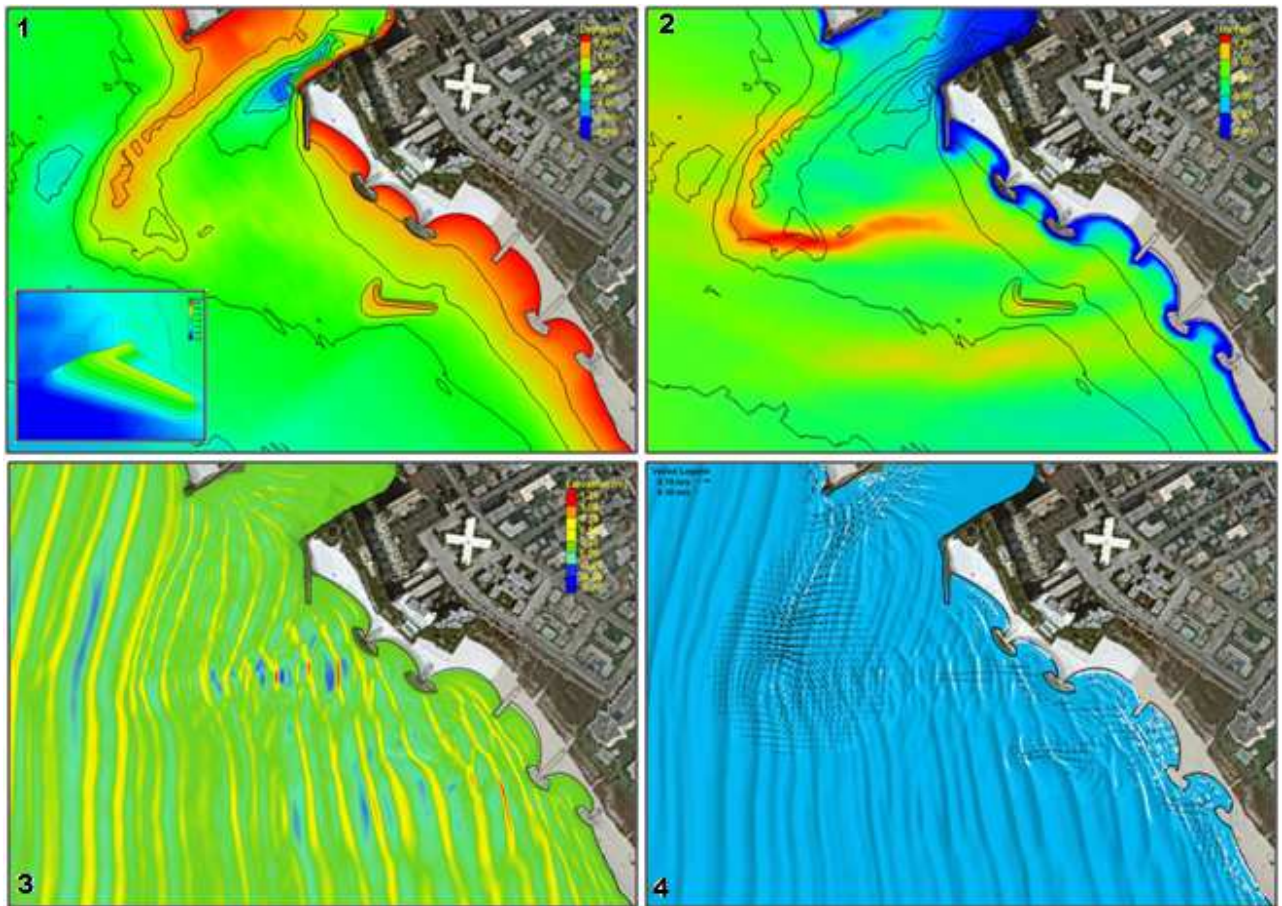


Figura 2. (1) Batimetria recente com projeto em *Upham Beach*. Em detalhe o recife artificial. (2) Altura Significativa (H_s) sobre a batimetria - ondas geradas por uma frente fria. (3) Elevações da superfície para esta condição. (4) Quebra de ondas e campo de correntes nos quebra-mares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Benedet, L., Pierro T., and Henriquez, M., 2007. Impacts of coastal engineering projects on the surfability of sandy beaches. *Shore & Beach*, Volume 75, No. 4, Fall 2007, American Shore & Beach Preservation Association, Ft. Myers, FL, pp 3-20.
2. Elko, N.; Mann, D. W., 2007. Implementation of Geotextile T-Groins in Pinellas County, Florida. *Shore & Beach*, Vol. 75, No. 2. Spring 2007. 9 pp.
3. GIOC, 2003a. Coastal Modelling System (SMC) – Reference and User Manual. State Coastal Office-Spanish Environmental Ministry and University of Cantabria, 82 (in Spanish).
4. Hutt, J.A.; Black, K.P.; Mead, S.T., 2001. Classification of surf breaks in relation to surfing skill. *Journal of Coast Research*.. SI 29. 66-81 p.
5. Klein, A. H. F.; Vargas, A.; Raabe, A. L. A, 2003b. Visual Assessment of bayed beach stability using computer software. *Computers & Geosciences*, 29, p.1249 – 1257.

6. Nwogu, O.G.; Demirebilek, Z., 2001. BOUSS-2D: A Boussinesq Wave model for coastal regions and harbors. USACE Coastal and Hydraulics Laboratory Technical Report A492004. 92 p.

7. Silvester and Hsu, 1993. Coastal Stabilization. World Scientific. 578 p.