



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis - SC

DESCRIÇÃO DA MORFOLOGIA DA BAÍA DE SÃO MARCOS (MA) COM AUXÍLIO DE IMAGENS LANDSAT E MODELAGEM COMPUTACIONAL

Jeane Fachi^{1}; Paulo Cesar Colonna Rosman²; José Otavio Goulart Peclly³*

Resumo – A Baía de São Marcos, localizada no Estado do Maranhão (MA), possui largura e profundidades adequadas para a operação de navios de grande tonelagem. Além dos vários portos instalados em suas águas, a Baía de São Marcos (BSM) também representa uma importante rota de transporte de pessoas e de cargas para o oeste do Estado do Maranhão. A modelagem hidrodinâmica da BSM pode auxiliar estudos de viabilidade de instalação de novos terminais portuários e de usinas para aproveitamento da energia das marés, sendo fundamental conhecer a morfologia de toda a área da BSM. Embora a batimetria da parte norte da BSM possa ser obtida das cartas náuticas do Centro de Hidrografia da Marinha, informações sobre a parte sul da BSM são inexistentes ou não estão disponíveis. Para descrever a morfologia dessa área sul, um conjunto de imagens do Landsat foi usado para definir a extensão da lâmina d'água em diferentes estágios da maré. Em sequência, resultados da variação das marés obtida a partir de uma modelagem hidrodinâmica foram usados para auxiliar o entendimento das variações morfológicas na parte sul da BSM até o rio Mearim.

Palavras-Chave – Ambientes Costeiros, Batimetria, Modelagem Hidrodinâmica.

DESCRIPTION OF SÃO MARCOS BAY (MA) MORFOLOGY USING LANDSAT IMAGERY AND COMPUTACIONAL MODELLING

Abstract – The São Marcos Bay (SMB), located in Maranhão (MA) State, presents width and depth adequate for operating large ships. The SMB is an important transport route for peoples, cargo and materials to west region of Maranhão and has important harbours installed. Hydrodynamic modelling can support viability studies for new ports and for hydrokinetic power generation but requires well defined morphological characterization. Although navigation charts of Centro de Hidrografia da Marinha describe well the bathymetry of the BSM north region, information about the south region are presently unavailable. To describe the morphology of south region, Landsat imagery was used to describe the region covered by water at different tide levels. Tide variations obtained from hydrodynamic modelling were used to explain morphological changes in the south of the Bay up to Mearim River.

Keywords – Coastal Environments, Hydrodynamic Modeling.

¹ Programa de Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ – jeanefachi@oceanica.ufrj.br.

² Programa de Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ – pccrosman@ufrj.br.

³ Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ – otavio@acd.ufrj.br.



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis - SC

INTRODUÇÃO

A Baía de São Marcos (BSM), localizada no Estado do Maranhão (MA), é a maior baía do Brasil, com uma área de cerca de 1.800.000 km². A BSM possui largura e profundidades adequadas para a operação de navios de grande tonelagem. Essas características tornam a BSM atrativa para a instalação de complexos portuários, naturalmente associados a necessidade de transportes multimodais. Além dos vários portos instalados em suas águas, a Baía de São Marcos também representa uma importante rota de transporte de pessoal e de cargas através de *Ferry-Boats* para o oeste do Estado do Maranhão. A região apresenta grande variação de marés, que pode ser usada em benefício da navegação de navios de grande calado. Associadas a marés de grandes amplitudes, intensas correntes de maré são observadas na região que podem ser usadas para geração de energia tal como descrito por González-Gorbeña *et al.* (2015).

A Figura 1 apresenta uma imagem do Landsat 5 (Cena 221_62) cobrindo a Baía de São Marcos onde são superpostas as áreas das Cartas Náuticas No. 410, 411, 412, 413 e 414. Como pode ser visto na Figura 1 a parte sul da BSM, cerca de metade de sua área total, é uma área não hidrografada. Naturalmente, isso aumenta a incerteza de modelos hidrodinâmicos uma vez que sua batimetria precisa ser inferida por algum método indireto.

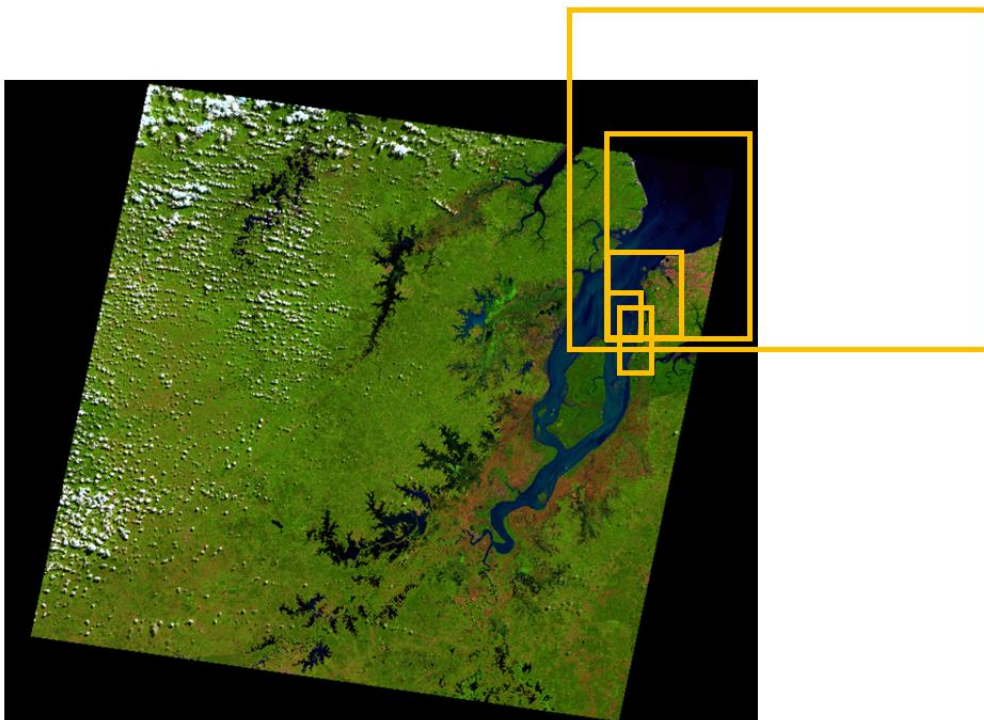


Figura 1 – Imagem Landsat para a região da Baía de São Marcos (MA) e posição aproximada das Cartas Náuticas DHN disponíveis (Cartas No. 410, 411, 412, 413 e 414 - em ordem decrescente de área).



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis - SC

A modelagem hidrodinâmica da BSM pode auxiliar estudos de viabilidade de instalação de novos terminais portuários e de parques conversores de energia hidrocínética, sendo fundamental conhecer a morfologia de toda a área da BSM. Embora a batimetria da parte norte da BSM possa ser obtida das cartas náuticas do Centro de Hidrografia da Marinha, informações sobre a parte sul da BSM não estão disponíveis ou são inexistentes. Poucos são os trabalhos encontrados na literatura descrevendo a morfologia da região (Lima, 2013; Moraes, 1977).

METODOLOGIA

A batimetria da região sul da Baía de São Marcos (BSM), pode ser inferida usando-se um conjunto de imagens dos satélites Landsat 5 e 7, obtidas do repositório de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para a análise das mudanças morfológicas também foi considerado as variações de maré ao longo da BSM obtidas através do sistema de modelos SisBaHiA[®].

Uso de imagens do Landsat 5 e Landsat 7

Um conjunto de imagens do Landsat 5 e Landsat 7 para a Cena 221-62, que inclui a Baía de São Marcos, foi utilizado no presente trabalho. Cabe notar que as imagens do Landsat 5 e 7 estão associadas a um horário de passagem pelo equador (paralelo zero) as 09h45 (horário UTC). Devido às baixas latitudes da região da BSM, este horário será associado às imagens analisadas.

Um delineamento da linha de costa foi realizado para imagens selecionadas a fim de evidenciar (i) as mudanças morfológicas com o tempo e (ii) e em função de variações de maré.

Para a análise morfológica ao longo do tempo foram selecionadas três imagens obtidas a intervalos de 6 anos, associadas a valores próximos de nível de água na estação da Ponta da Madeira. As imagens selecionadas correspondem as datas de 30/05/1997, 23/05/2003 e 16/06/2009; nessas datas, o nível de água na Ponta da Madeira às 06h30 (próximo ao horário da passagem do satélite no horário de Brasília) foi de 1,66 m, 1,81 m e 1,69 m respectivamente.

O critério utilizado para analisar as alterações morfológicas, em função da maré, foi utilizar imagens capturadas em curto intervalo de tempo e com acentuada diferença de nível de água na Ponta da Madeira. As imagens usadas foram de 12/07/2001 e 20/07/2001, com nível de água previsto na Ponta da Madeira às 06h30 de 2,19 m e 5,95 m, respectivamente.

Propagação da maré no interior da BSM

Para analisar a propagação da maré no interior da BSM, foi utilizado um modelo hidrodinâmico SisBaHiA[®] desenvolvido por Rosman (1987) e implementado para Baía de São Marcos por González-Gorbeña, Rosman e Qassim (2015). Como a BSM possui uma grande extensão, com aproximadamente 136 km, a propagação da maré entre a desembocadura até o trecho mais à montante do estuário ocorre em aproximadamente 3h. Os resultados do modelo hidrodinâmico SisBaHiA[®] indicam que, quando o nível de água se encontra na preamar na

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis - SC

ponta da Madeira, localizada próxima a entrada da Baía, o nível de água está aproximadamente no nível médio à montante do estuário. Podem haver diferenças de nível de água superiores a 4 m entre os extremos da BSM, durante uma condição de maré de sizígia.

Dessa forma, o nível d'água e as variações da maré na BSM foram consideradas na caracterização morfológica, visto que a variação do nível d'água influencia diretamente na percepção da morfologia da linha de costa e dos bancos de areia, situados na zona de intermaré, a partir de imagens de satélite.

A partir dos resultados do SisBaHiA[®], foram plotados mapas com a variação espacial do nível de água em instantes em que o nível da maré na Ponta da Madeira fosse similar ao do momento da aquisição das imagens Landsat. A escolha das imagens também levou em consideração condições similares da maré (condição de quadratura ou de sizígia) e o estágio da maré (situação de maré enchente ou de vazante). A Figura 2 mostra as variações de maré no tempo para diferentes pontos da BSM, com destaque para os instantes de simulação escolhidos para plotar os mapas de elevação do nível de água.

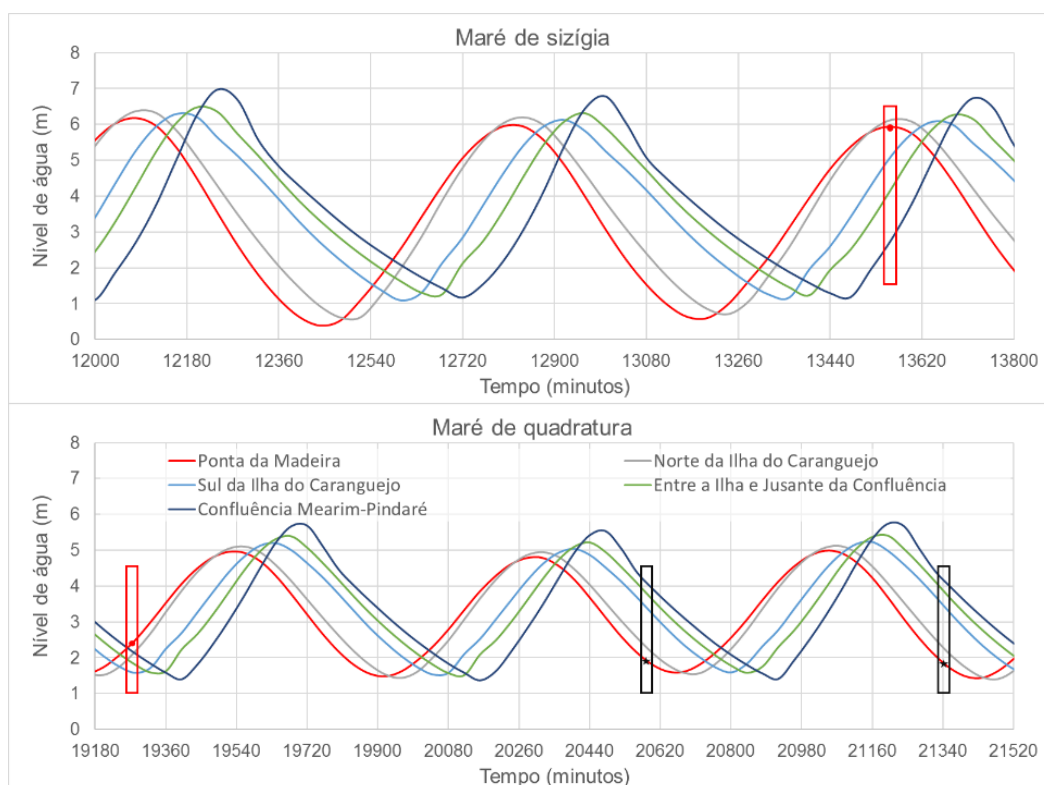


Figura 2 – Variação de nível de água em condição de maré de sizígia (acima) e de quadratura (abaixo) em diferentes pontos da BSM. Os pontos pretos e vermelhos em destaque foram utilizados para analisar a evolução morfológica em função do tempo e as alterações na morfologia em função da maré, respectivamente.

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis - SC

A Figura 3 apresenta a variação de nível d'água no domínio modelado com o SisBaHiA[®], em uma condição de maré vazante durante uma quadratura.

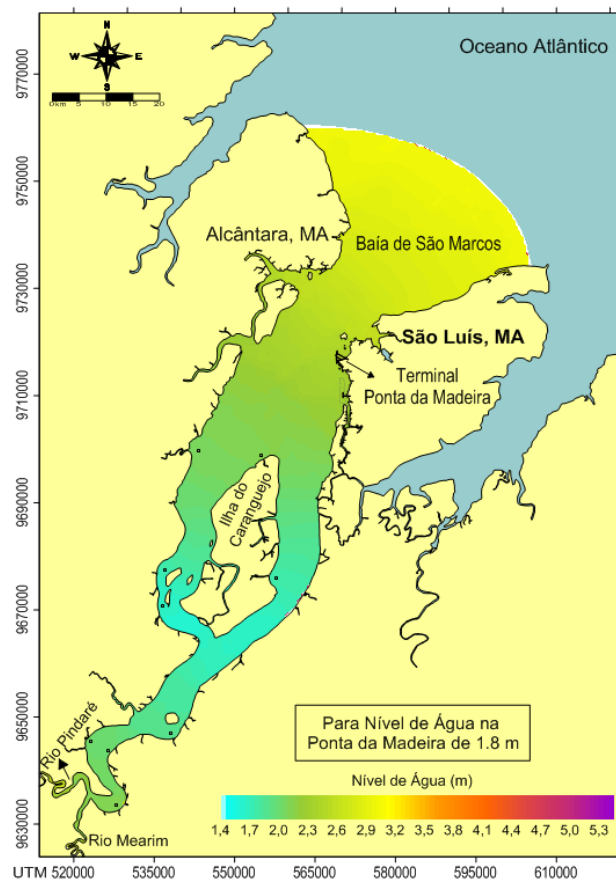


Figura 3 – Nível de água na Baía de São Marcos simulada em uma condição de maré de maré vazante durante uma quadratura com nível de água na Ponta da Madeira de 1,8 m.

RESULTADOS

A Figura 4 apresenta as áreas com as principais alterações morfológicas entre 1997 e 2003 e também entre 2003 e 2009. Para avaliar a evolução morfológica ao longo do tempo, foram escolhidas imagens associadas a níveis de água da Ponta da Madeira com valores próximos (1,69 m para o nível da maré em 1997 e 2009 e de 1,81 m para 2003). Nessa figura e nas subsequentes, os valores nos eixos representam coordenadas UTM.

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis - SC

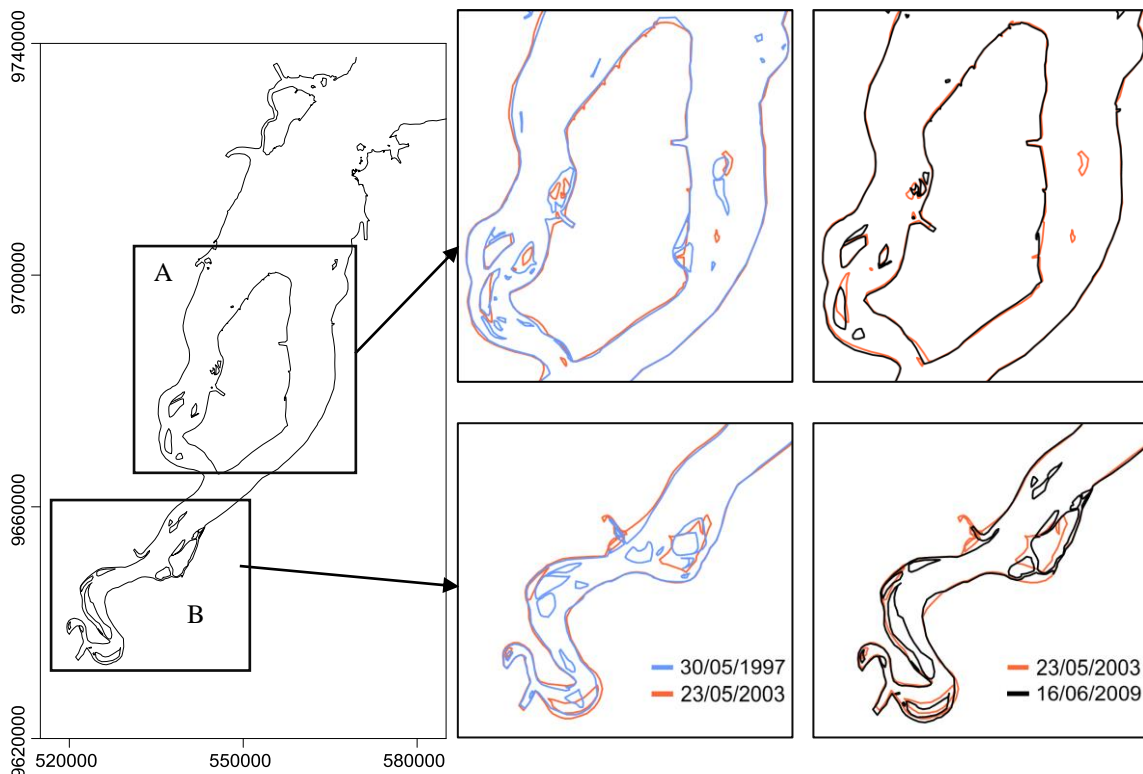


Figura 4 – Variação da linha de contorno “água-terra” entre 30/05/1997 e 23/05/2003 e entre 23/05/2003 e 16/06/2009. As áreas apresentadas em detalhe são (A) Ilha do Caranguejo e adjacências e (B) sul da BSM.

Ao analisar as diferenças nas linhas de costa e nos bancos de areia próximos a Ilha do Caranguejo e adjacências, como também na região sul da baía (Figura 4), observa-se uma erosão entre 1997 e 2003 e, uma acreção da entre 2003 e 2009. Porém esse resultado é influenciado por diferenças no nível da maré. Enquanto as diferenças de níveis de água próximo a Ponta da Madeira são de 0,1 m aproximadamente, tais diferenças são em média 0,5 m nas regiões centrais e sul da BSM. O aumento equivalente a 0,5 m foi positivo no primeiro período (1997-2003) e negativo no segundo período (2003-2009), coincidindo com a erosão e acreção observada.

A Figura 5 apresenta variações morfológicas detectadas a partir de imagens do Landsat para distintos estágios de maré prevista na estação da Ponta da Madeira. A previsão da maré foi realizada no sistema SisBaHiA[®], utilizando as constantes harmônicas de uma longa série de maré para a estação Ponta da Madeira, obtida junto ao GLOSS (Universidade do Hawaii). As datas e os níveis de maré estão apresentados em cada imagem. Para analisar as alterações morfológicas em função do estágio da maré foram escolhidas imagens associadas a valores de elevação do nível de água na Ponta da Madeira próximos de 2,19 m e 5,95 m.

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis - SC

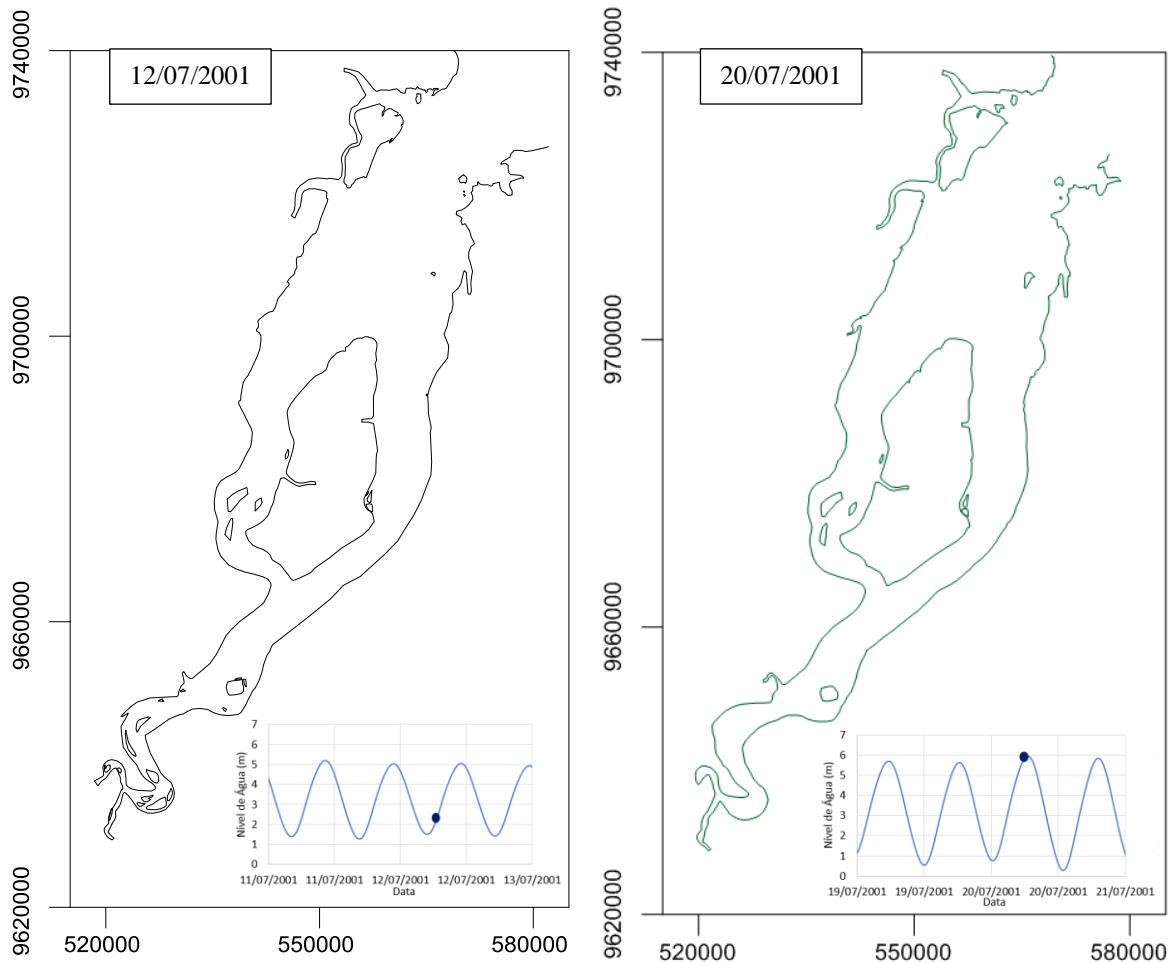


Figura 5 – Variação da linha de contorno “água-terra” em função da variação das marés. Os níveis de água em 12/07/2001 e 20/07/2001 foram, respectivamente de 2,19 m e 5,95 m. O horário aproximado da captura da imagem é 06h45 e da maré prevista é 07h00.

Observando-se as linhas de costa com nível de água em 2,19 m e 5,95 m, nota-se que vários bancos de areia aparecem ao sul da BSM no primeiro caso. Essa análise é importante quando precisa-se fazer estimativas da batimetria em áreas não hidrografadas, pois indicam as áreas mais rasas que ficam expostas quando o nível de água está mais baixo. Contudo, ao norte da Ilha do Caranguejo houve uma acreção da linha de costa com o nível de 5,95 m na Ponta da Madeira, em relação a linha de costa para o nível d’água de 2,19 m. Isso pode estar relacionado com o fato da imagem de 20/07/2001 ser obtida pelo Landsat 7 enquanto que a de 12/07/2001 foi obtida pelo satélite Landsat 5. Esse aspecto merece investigação adicional.



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis - SC

DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES

A metodologia mostrou-se útil para identificar as áreas de significativa variação morfológica na Baía de São Marcos (MA) ao longo do tempo e em função da variação de marés. Embora a área cujas mudanças morfológicas podem ser detectadas esteja restrita a regiões de intermaré, a metodologia representa uma contribuição para a implantação de modelos hidrodinâmicos válidos em curtos períodos de tempo, devido a constantes alterações na geometria de fundo.

Outros fatores que podem alterar posição da linha de costa, observada através das imagens, são as vazões fluviais dos rios Mearim e Pindaré e a ação de ventos que não foram avaliados em conjunto neste trabalho. Recomenda-se um estudo analisando em conjunto esses fatores e a implementação de modelos hidrossedimentológicos para a região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INPE pela manutenção e disponibilização pública das imagens Landsat. Durante a execução desse trabalho, Jeane Fachi foi bolsista doutoranda da Fundação COPPETEC.

REFERÊNCIAS

GONZÁLEZ-GORBEÑA, E.; ROSMAN, P.C.C.; QASSIM, R.Y. (2015). Assessment of the tidal current energy resource in São Marcos Bay, Brazil. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy* 1(4), pp. 421 – 433. doi:10.1007/s40722-015-0031-5

LIMA, A.S. (2013). Análise Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Mearim-MA a partir do Quadro Geológico Regional. Tese de Doutorado em Geografia. UFMG. Belo Horizonte-MG.

MORAIS, O.J. (1977). Processos de sedimentação na Baía de São Marcos, Estado do Maranhão, Brasil. *Arquivos de Ciência do Mar* 17(2), pp. 153 – 164.

ROSMAN, P.C.C. (1987). Modeling Shallow Water Bodies via Filtering Techniques. Ph.D. Thesis. Civil Engineering Department, Massachusetts Institute of Technology, MA.