



INVESTIGAÇÃO DA MOBILIDADE E TRANSPORTE SEDIMENTAR NA BAÍA DO ESPÍRITO SANTO: UMA ANÁLISE INTEGRADA DE DIFERENTES MÉTODOS DE ESTUDO.

Geórgia Moraes Catabriga, PPGOAm/LaboGeo/DOC-UFES, Brazil
Sílvia Nossa Bourguignon, PPGOAm/LaboGeo/DOC-UFES, Brazil
Priscila Moreira Farias, PPGOAm/LABPOSSEIDOM/DOC-UFES, Brazil
Flávia Acypreste Alfredo Garonce, PPGOAm/LaboGeo/DOC-UFES, Brazil
Júlio Ruano, PPGOAm/LaboGeo/DOC-UFES, Brazil
Alex Cardoso Bastos, LaboGeo/DOC-UFES, Brazil

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

ABSTRACT

This paper aims to investigate the mobility and sediment transport patterns along a coastal bay using different methodologies. The dataset used herein includes seabed imaging and morphology, sediment distribution and grain size trend analysis, hydrodynamic data, sediment transport calculations and wave refraction modeling. Results have shown that it was possible to establish a relationship with sediment deposition and distribution with the morphology and the prevailing hydrodynamics characteristics. The integrated analysis provided a good level of confidence in establishing sediment transport patterns.

INTRODUÇÃO

A crescente utilização de áreas costeiras e adjacências em áreas portuárias, em rotas de navegação, em áreas de exploração de recursos minerais, entre outros usos, têm levado a um grande interesse no conhecimento do comportamento sedimentar destas regiões. O estudo da mobilidade sedimentar, que relaciona o padrão sedimentológico com a hidrodinâmica local, tem se mostrado um grande aliado no gerenciamento desses locais.

Devido à complexidade do entendimento da dinâmica sedimentar nesses ambientes, Velegakis e colaboradores (2007), sugerem o uso de diferentes métodos de investigação a fim de se ter uma melhor confiança nos resultados encontrados, tais como: mapeamento do fundo, estudos de transporte de sedimento baseados em medidas hidrodinâmicas e modelos empíricos que levam em conta a velocidade orbital de fundo das ondas, e a aplicação de modelos acoplados de transporte e hidrodinâmica para simular a mobilidade do fundo e a direção do transporte em diferentes condições e regimes hidrodinâmicos.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo investigar a mobilidade e transporte de sedimento

utilizando diferentes metodologias. Para isso o transporte sedimentar de fundo foi relacionado à hidrodinâmica da baía (onda e corrente) através de dois modelos, o GSTA (*Grain Size Trends Analysis*), que analisa os parâmetros estatísticos do sedimento (GAO e COLLINS, 1992) e o modelo SEDTRANS05 (*desenvolvido pela Geological Survey of Canada – Atlantic (GSCA)*) que calcula a taxa de transporte sedimentar a partir de ação combinada de ondas e correntes. Além disso, foi utilizado o modelo numérico de simulação de ondas- SWAN (*Simulating Waves Nearshore*), para se avaliar a distribuição da velocidade orbital ao longo da baía. Estes dados foram integrados e comparados com a interpretação obtida a partir dos dados de morfologia e imageamento do fundo.

Esta técnica de análise foi aplicada na a Baía do Espírito Santo - BES (Figura 1) em função da disponibilidade de diferentes conjuntos de dados.

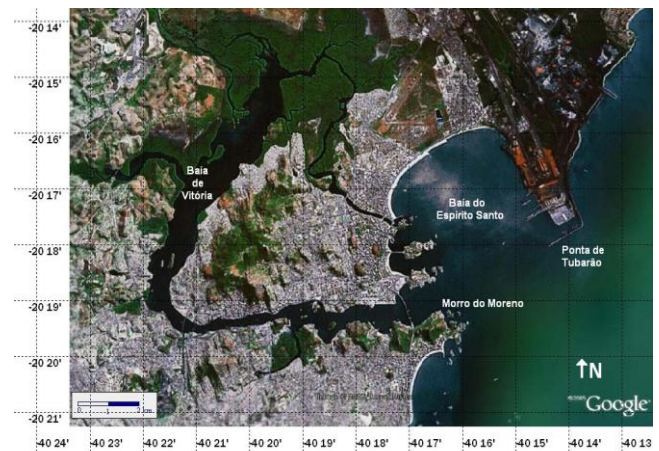


Figura 1: Área de estudo - Baía do Espírito Santo.

METODOLOGIA

Obtenção dos dados

Para realização do estudo, foram usados dados já existentes. A análise compreendeu:

a) Morfologia e imageamento do fundo marinho - dados sonográficos foram adquiridos utilizando o equipamento Sonar de Varredura Lateral Edgetech 4100 com sistema de aquisição digital 560p, acoplado a um transdutor

modelo 272D, com sistema *Deep Tow* – 100 a 500KHz, e a um GPS Garmin - GPS Map 76S. No levantamento frequência utilizada foi de 500KHz. Os dados sonográficos foram processados utilizando o software SonarWizMap4. O mapa batimétrico foi obtido a partir da compilação de dados pretéricos e dados cedidos pelo Dept. Engenharia Ambiental da UFES.

b) Distribuição sedimentar e tendência granulométrica-dados sedimentológicos (média, assimetria, desvio padrão e classificação textural) são oriundos do trabalho de Carmo (2010). Um total de 80 amostras superficiais de sedimento em uma malha amostral de 500m foram usadas. A partir dos parâmetros estatísticos sedimentológicos plotou-se um mapa de tendência granulométrica utilizando o modelo GSTA elaborado por Gao e Collins (1992), que indica a tendência de direção de transporte a partir da análise granulométrica.

c) Taxas de transporte de sedimento - dados de ondas, correntes e material em suspensão foram obtidos de um fundeio de um ADP (*Acoustic Doppler Profiler - Aquadopp Profiler 2MHz- Nortek*) acoplado com um OBS (*Optical Backscatter Sensor – OBS 3 d&a instruments*) foram usados para caracterizar a dinâmica na região durante um período de inverno (junho/julho 2008). Estes dados serviam de entrada para a estimativa das taxas de transporte de sedimento a partir da utilização do modelo Sedtrans05. O modelo calculou as taxas de transporte sedimentar de fundo e em suspensão usando a série temporal obtida no fundeio. As taxas foram calculadas para a ação conjunta de ondas e correntes, sendo que a equação de Van Rijn foi usada para este cálculo.

d) Modelo SWAN: para o cálculo da mobilidade do fundo utilizou-se o modelo SWAN de modo a se obter a distribuição espacial da velocidade orbital no fundo da Baía. O SWAN é um modelo de 3° geração, ou seja, capaz de calcular as interações não lineares entre as ondas, sendo também um modelo onde o comportamento cinemático das ondas é descrito pela teoria linear de ondas superficiais de gravidade. Os dados de entrada no SWAN foram: grade computacional 100x100 e onda monocromática de 1,4m de altura, 6,5s de período e direção de SE (150°). Essas características da onda foram retiradas do estudo de Melo e Gonzales (1995), o qual caracterizou a medicao de ondas durante um ano nas redondezas do porto de Tubarão. A velocidade crítica de mobilização do sedimento foi calculada segundo a equação de Komar e Miller (1974). Onde a velocidade orbital estava acima da velocidade crítica, entende-se que houve mobilização pela ação da onda.

RESULTADOS

Os resultados batimétricos mostraram que a BES possui declividade suave, revelando um aumento gradativo da profundidade em direção a *offshore* (Figura 2). É possível ainda observar algumas áreas de altos batimétricos, nas proximidades da isóbata de 10m, que estão relacionados aos afloramentos rochosos presentes. Esses afloramentos encontram-se em profundidades entre 4 e 7m, com orientação aproximadamente paralela a linha de costa. Nota-se também uma região de maior

profundidade, cerca de 22m, representada pela bacia de evolução e canal de acesso ao Porto de Tubarão.

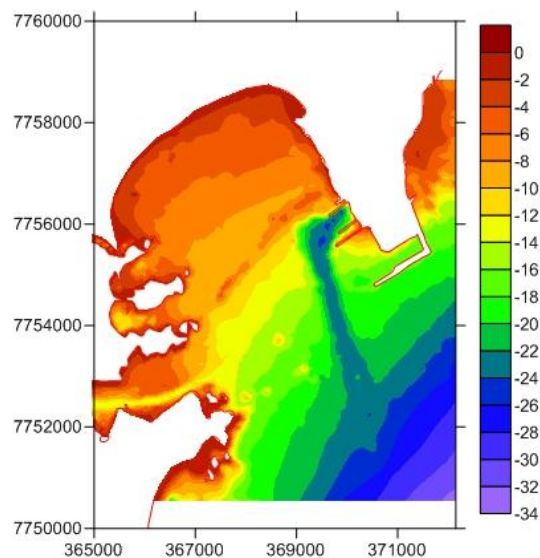


Figura 2: Mapa batimétrico tridimensional da BES.

Três padrões sonográficos foram definidos para a região levantada da BES: o padrão P1, representado por um padrão de Alta Intensidade de Retorno do Sinal (Figura 3) associado a marcas de ondas; o padrão P2, caracterizado por um padrão de Alta Intensidade de Retorno do Sinal (Figura 4) associado aos afloramentos rochosos e o padrão P3, de Baixa Intensidade de Retorno do Sinal (Figura 5).

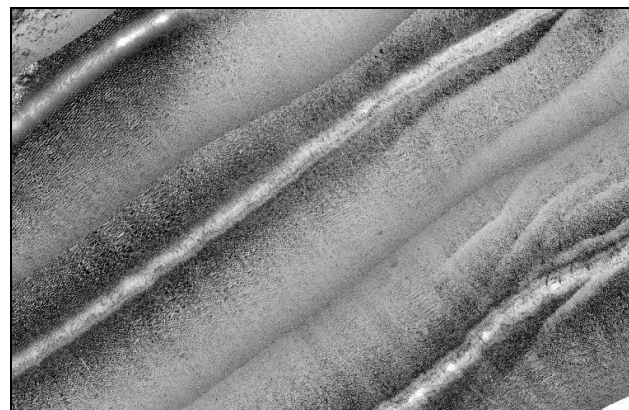


Figura 3: Padrão P1 - Alta Intensidade de Retorno do Sinal associado a marcas de ondas.

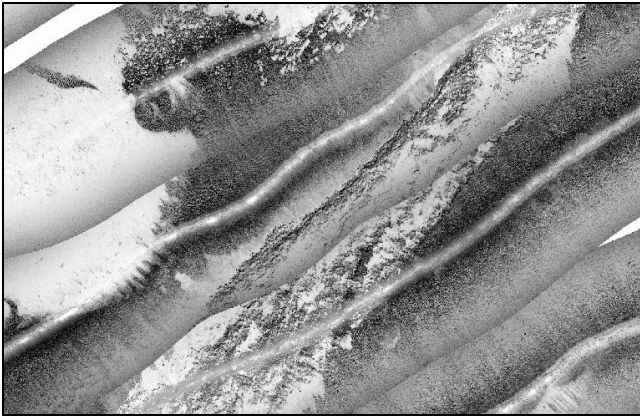


Figura 4: Padrão 2 - Alta Intensidade de Retorno do Sinal associado aos afloramentos rochosos.

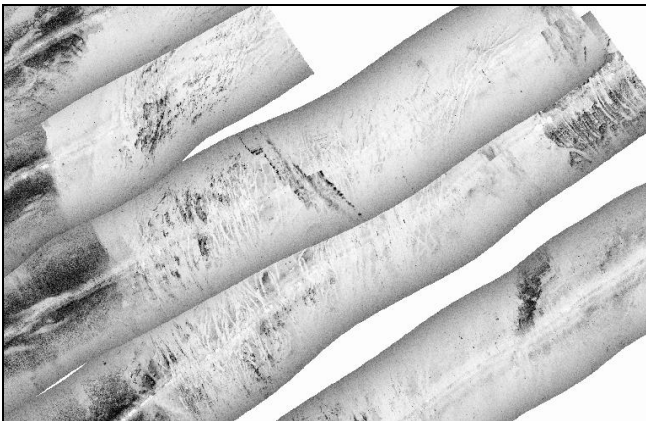


Figura 5: Padrão 3 - Baixa Intensidade de Retorno do Sinal.

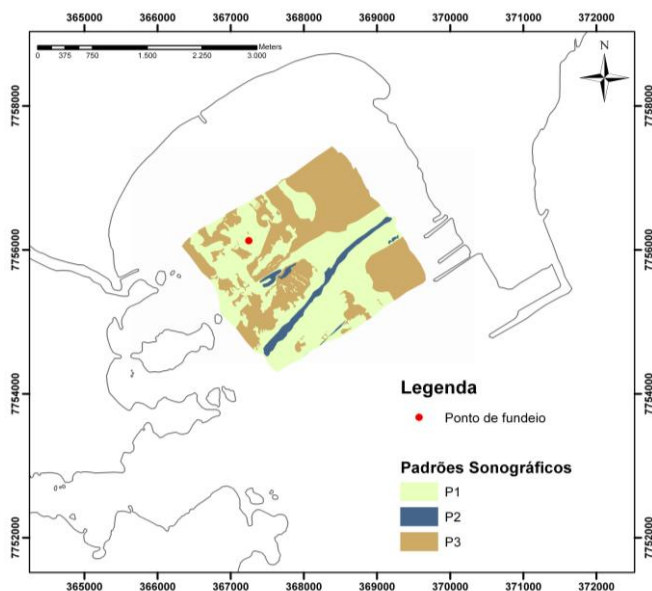


Figura 6: Distribuição dos padrões sonográficos de região da BES e localização do ponto de fundeio do ADP (ponto vermelho).

Os padrões P1 e P3 foram os mais frequentes dominando em toda a área de estudo. P1 foi caracterizado como um padrão de alta IRS por suas marcas de ondas estarem associadas a areias grossas e muito grossas, e em menor proporção, por areias médias, como observado na Figura 7. Esse padrão associado à *ripple marks* de areia grossa também foi observado por Moscon (2010) e Lima (2007), cuja predominância de areia grossa foi relacionada a um aporte exclusivamente marinho. O padrão P1 encontrou-se distribuído nas regiões do entorno do afloramento (Figura 6), onde até essa região a interação de correntes e ondas é significativa devido ao maior grau de exposição dessa área. Carmo (2010), também descreveu esse padrão de marcas de ondas nessa região, onde os finos se direcionariam para a zona costeira e a areia grossa seria depositada. As ripples no fundo indicariam um ambiente mais energético revelando a atuação efetiva das ondas no local.

O padrão de baixa intensidade (P3) é observado na região em que há dominância de granulometria mais fina (Figura 7), onde se pode perceber uma região mais plana, a NE da Baía, na isóbata de 6m (Figura 2). Essa região pode ser considerada como uma área de baixa hidrodinâmica e assim, uma área de deposição potencial de sedimentos finos, como também observado por Carmo (2010). Essa deposição pode estar relacionada ao padrão de circulação atuante. Albino et al (2001) observou que nessa região cria-se uma zona de sombreamento propiciando a acumulação de finos. Além disso, a mesma autora descreve um transporte pela corrente longitudinal. Essa corrente, devido ao engordamento da Praia de Camburi com areias grossas, carrega os sedimentos provocando um selecionamento. Assim os finos seriam depositados na porção final da Praia de Camburi (a NE da BES) ou na zona submersa adjacente. O padrão P3 também se concentrou na região do Canal do Porto de Tubarão, que devido ao gradiente batimétrico acidentado torna-se uma região protegida, representando uma armadilha para a deposição de sedimentos finos.

Em P2, a alta intensidade de retorno do sinal encontra-se associada aos afloramentos rochosos cristalinos (Figura 6). Esses afloramentos, com orientação aproximadamente paralela a linha de costa, protegem a Baía contra a ação das ondas, dissipando parcialmente sua energia.

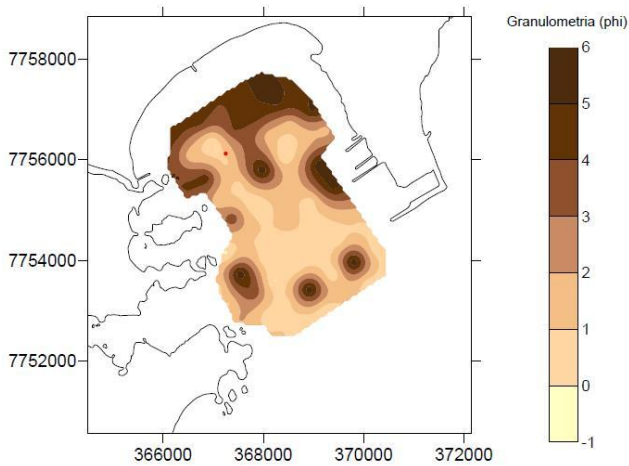


Figura 7: Mapa de granulometria média da área de estudo. O ponto em vermelho representa o ponto de fundeio.

Na região noroeste (NO) da Baía é possível observar que há uma alternância entre os padrões P1 e P3 (Figura 6). Essa distribuição, caracterizada por marcas de ondas de areias muito grossas e grossas intercalando-se a faixas de sedimento fino (areia fina e lama) sobrepostas às marcas de ondas, pode indicar depósitos típicos de eventos de tempestade (Figura 8). Moscon e Bastos (2010) observaram essa mesma forma de deposição na BES. Essas feições só ocorrem nessa região noroeste da Baía visto que essa área é mais exposta à ação das ondas.

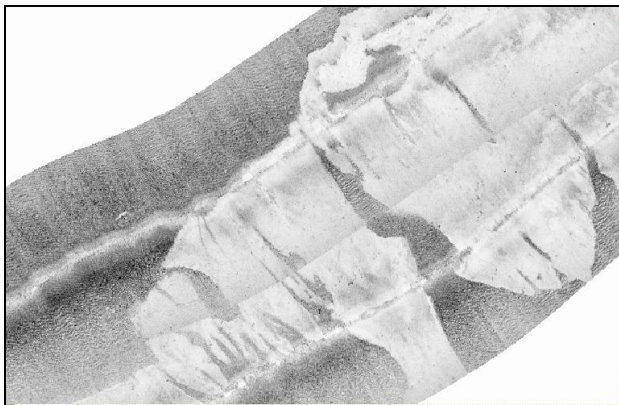


Figura 8: Depósito sedimentar típico de eventos de tempestade.

A análise do transporte e mobilização do sedimento corrobora para estas interpretações. Os dados do GSTA, plotados na Figura 9, revelam uma tendência de transporte sedimentar para o interior da BES desde a sua abertura até a região dos afloramentos rochosos. A partir daí há uma divergência das tendências, onde uma parte se direciona para a Baía de Vitória (BV) e a outra parte para a região do Canal do Porto de Tubarão. Desta forma, os afloramentos rochosos se tornam uma barreira morfológica ao transporte de sedimento dentro da Baía. Uma pequena parte desse transporte atravessa os

afloramentos no lado Oeste da BES e continua em direção a *onshore*. No interior da Baía observa-se uma tendência de transporte de SE para NO, o que corrobora com a corrente longitudinal na Praia de Camburi.

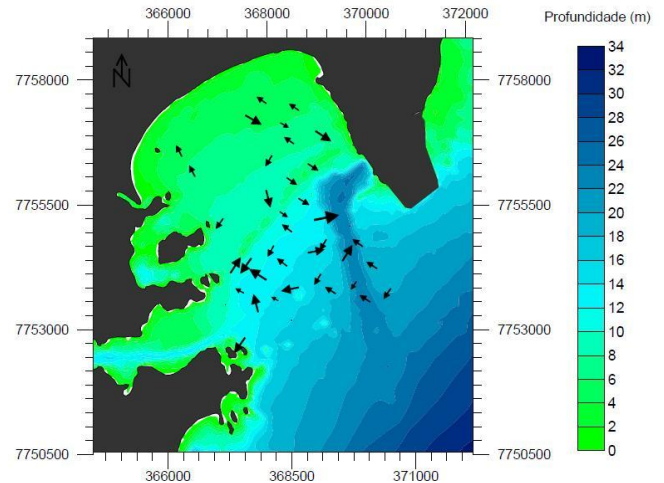


Figura 9: Mapa indicando a tendência de direção do transporte sedimentar e sua relação com a batimetria local.

A partir dos dados do ADP, fundeado no interior da BES, confeccionaram-se gráficos de séries temporais das velocidades da corrente e da onda e das taxas de transporte em suspensão e de fundo (Figura 10). A velocidade da corrente não apresenta picos significativos e varia dentro de um intervalo, apresentando um máximo de 0,1 m/s. Já a velocidade orbital da onda no fundo apresenta dois picos. As taxas de transporte de sedimento em suspensão e de fundo também apresentam máximos que correspondem ao primeiro pico de velocidade orbital de fundo. Percebe-se então que as correntes não são capazes de remobilizar o sedimento de fundo, devido sua baixa magnitude enquanto que a velocidade orbital da onda é totalmente significativa para tal remobilização. Assim, as ondas remobilizam o sedimento que posteriormente serão transportados pelas correntes. Esse mesmo padrão foi encontrado por Moscon (2010).

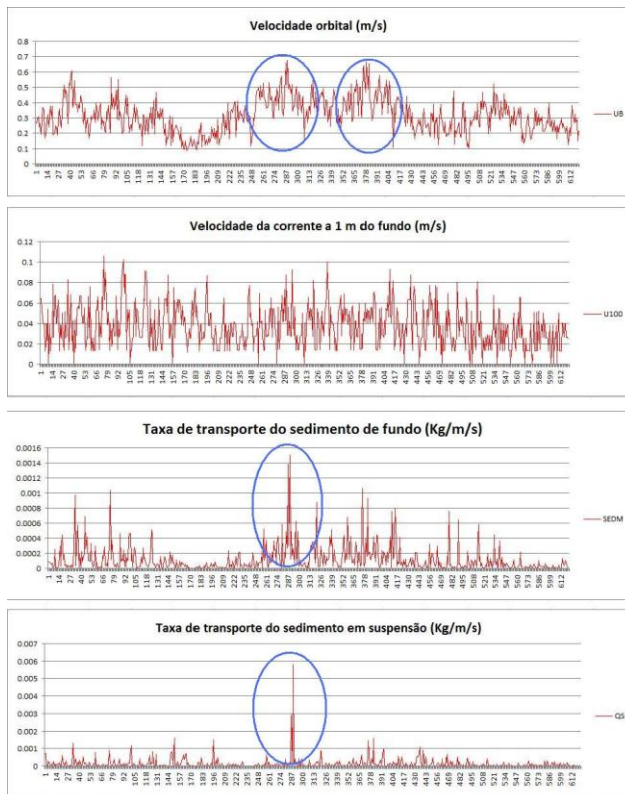


Figura 10: Séries temporais das velocidades da corrente e da onda e das taxas de transporte em suspensão e de fundo. Os círculos em azul indicam os picos em cada série.

Conforme localização no mapa granulométrico (Figura 7), o ponto de fundeio do Aquadopp apresenta uma granulometria com diâmetro de 0,50mm. A velocidade crítica (U_{wcr}) de mobilização desse diâmetro de sedimento, segundo Komar e Miller (1974), é de aproximadamente 0,23m/s. A modelagem numérica de ondas (SWAN) resultou em um mapa de distribuição de Velocidades Orbitais no Fundo (Ubot) que indica uma velocidade de aproximadamente 0,35 m/s para o ponto de fundeio do Aquadopp. A Ubot é maior que a U_{wcr} , evidenciando uma mobilização de sedimento efetiva no ponto. A distribuição de Ubot na BES (Figura 11) indica maiores valores na região NO da Baía, confirmando a maior exposição à ação das ondas. Os menores valores de Ubot são encontrados na região NE (por ser uma área abrigada e mais protegida da ação das ondas) e na região do Canal de acesso ao Porto de Tubarão (por esta apresentar maiores profundidades), reforçando o potencial de deposição nessas duas regiões. Este padrão de distribuição de Ubot também está de acordo com a distribuição granulométrica da BES, onde são encontrados depósitos de sedimentos mais grossos em locais de maiores Ubot (Região NO da BES), e sedimentos mais finos em locais de menores Ubot (Região NE e Canal do Porto).

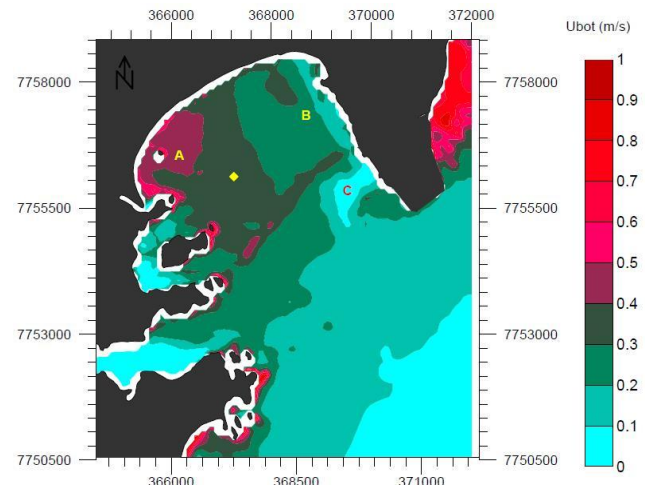


Figura 11: Representação da velocidade orbital da onda no fundo (Ubot) em toda a BES. O ponto amarelo indica a região de fundeio do Aquadopp. LEGENDA: A: Região NO da BES; B: Região NE da BES; C: Região do Canal do Porto de Tubarão.

CONCLUSÕES

A análise integrada de dados hidrodinâmicos, sedimentares e morfológicos permitem concluir que existe efetiva mobilização e transporte sedimentar no interior da BES e que a ação de ondas e correntes no fundo marinho da região alteram o padrão de distribuição e deposição sedimentar. O padrão de deposição sedimentar predominante provavelmente é controlado por eventos altamente energéticos caracterizados por formas de fundo típicas de tempestade.

A metodologia integrada utilizada neste trabalho apresentou um bom nível de acuracidade, haja vista que todas as ferramentas empregadas para a análise do transporte de sedimento e mobilidade do fundo corroboram para a descrição do mesmo padrão dinâmico observado.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LaboGeo) da UFES e todo o pessoal envolvido para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALBINO, J.; OLIVEIRA, R.; MAIA, L. P.; ALENCASTER, K. **Processos atuais de sedimentação marinha e praias do litoral de Vitória, ES.** Relatório final da pesquisa financiada pelo Fundo de Amparo à Ciência e à Tecnologia (FACITEC) – Prefeitura Municipal de Vitória, número 198.2506/ 2000. 2001.

CARMO, D. A.; **Mapeamento faciológico do fundo marinho como ferramenta ao entendimento da dinâmica sedimentar da baía do Espírito Santo, Vitória- ES.** 134p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de

Geociências, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro. 2009.

GAO, S.; COLLINS, M. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of “transport vectors”. **Sedimentary geology**. 1992. p. 47 – 60. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam.1992.

LIMA, B. C. R. **Dinâmica das Formas de Fundo da Baía do Espírito Santo, Vitória – ES**. Monografia Graduação em Oceanografia) – Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES. 102 p. 2007.

MELO, E.; GONZALES, J. de A. **Coastal Erosion At Camburi Beach (Vitória, Brazil) And Its Possible Relation To Port Works**. Proceedings of the 4th International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries –COPEDEC IV, pp. 397-411, Rio de Janeiro, Brazil, 1995.

MOSCON D.M.C.; **Sedimentologia e dinâmica de formas de fundo associadas a eventos de alta energia**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro. 100 p. 2010.

MOSCON, D. M. C.; BASTOS, A.C. Occurrence of storm-generated bedforms along the inner continental shelf - Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58. p. 45-56. 2010.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

RIS, R.C. **Spectral Modelling of Wind Waves in Coastal Areas**, Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering, TU Delft, report no. 97-4, 1997.

VAN RIJN, L. C. **Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas**. Amsterdam: Aqua Publications. 1993.

VELEGRAKIS, A. F.; COLLINS, M. B.; BASTOS, A. C.; PAPHITIS, D.; BRAMPTON, A. Seabed transport pathways investigations: review of scientific approach and methodologies. IN: BALSON, P. S.; COLLINS, M. B. **Coastal and shelf sediment transport**, Geological society of London, Special publications, 274, 127-146. 2007