



V SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA

Rio Grande, 07 a 09 de Novembro de 2012

INVESTIGAÇÃO PRELIMINAR DAS CAUSAS DA EROSIÃO SOFRIDA PELA PRAIA DA ARMAÇÃO, FLORIANÓPOLIS, EM MAIO DE 2010.

Kubelka, B.G.¹; Aguiar, D.F.²; Romeu, M.A.R.³

¹ Universidade Federal do Rio Grande

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica
Avenida Itália, km 8, CP. 474, Rio Grande, RS, Brasil

*e-mail: kubelkabruno@gmail.com

² Universidade Federal do Rio Grande

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica
Avenida Itália, km 8, CP. 474, Rio Grande, RS, Brasil

*e-mail: deborahaguiar09@gmail.com

³ Universidade Federal do Rio Grande

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica
Avenida Itália, km 8, CP. 474, Rio Grande, RS, Brasil

*e-mail: mar7surf@hotmail.com

RESUMO

No ano de 2010, a praia da Armação, ao Sul da ilha de Florianópolis, foi afetada por um forte processo erosivo, culminando na destruição da orla da praia durante o mês de Maio. A partir dos dados de onda da região ao largo, foi possível perceber que as ondas Leste foram as que predominaram nos meses que precederam este evento. Utilizando o modelo numérico SMC (Sistema Modelado Costeiro) o presente trabalho analisou a dinâmica do transporte de sedimentos ocorrido durante este processo erosivo simulando três possíveis cenários de direção principal de onda numa malha batimétrica próxima à praia: Sudeste, Leste e Nordeste. A partir dos mapas calculados das correntes geradas na arrebentação e do transporte potencial de sedimento concluiu-se que os mares com direção principal de Leste e Nordeste apresentaram um alto potencial de transporte de sedimento. Relacionando a grande ocorrência de mares de Leste durante o período estudado, sugere-se esta condição como uma das principais causas do evento erosivo ocorrido na praia da Armação.

Palavras-chave: Transporte de Sedimento, SMC, ondas extremas.

1. INTRODUÇÃO

A crescente e desordenada ocupação costeira aliada às condições climáticas extremas e imprevisíveis podem acarretar em devastadores desastres naturais. No fim do mês de Maio do ano de 2010, uma grande ressaca na ilha de Santa Catarina chamou a atenção de toda a população para a força da ação do mar. Neste evento houve uma grande mobilização de sedimento na porção mais ao Sul da praia da Armação que culminou com a destruição de várias residências. O transporte de sedimento é um processo controlado principalmente por fenômenos físicos, como por exemplo, ondas, ventos e correntes. No entanto as ondas merecem uma atenção especial, pois, possuem maiores influencias no selecionamento e redistribuição dos sedimentos depositados nas regiões costeiras.



Figura 1: Destruição ocorrida na praia da Armação durante eventos extremos ocorridos em 2010, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

Processos de transformação de ondas em águas rasas geram padrões de circulação que influenciam no transporte sedimentar na zona costeira, ocasionando perda da energia de onda e variações morfológicas da linha de costa (Baptista et. al., 2004).

Conhecendo os mecanismos envolvidos no transporte de sedimento como a refração, difração, empolamento, fricção e direção das correntes entre outros, é possível estimar os volumes de materiais envolvidos em processos litorâneos e estabelecer cenários e modelos à cerca do comportamento morfológico da linha de costa. Tais considerações são de total importância para o planejamento e o manejo costeiro.

Com o objetivo de identificar alguma relação entre as condições de agitação marítima e o processo erosivo ocorrido na praia da Armação foram simuladas três possíveis condições de mar próximos da costa e calculados seus respectivos campos de correntes geradas na arrebentação e de transporte de sedimentos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. - Área de Estudo

A praia da armação (Figura 2) está localizada a 25 quilômetros do centro de Florianópolis, é um dos principais núcleos de pesca artesanal da Ilha de Santa Catarina, possui uma extensão de aproximadamente 3,5 km orientada no sentido N-S. Os seus limites são: ao Norte, o promontório rochoso do Morro das Pedras, e ao Sul, o tombolo formado entre a praia e a Ilha das Campanhas. Junto à porção Sul existe também a desembocadura do rio Sangradouro que desemboca na Praia do Matadeiro mais ao Sul.

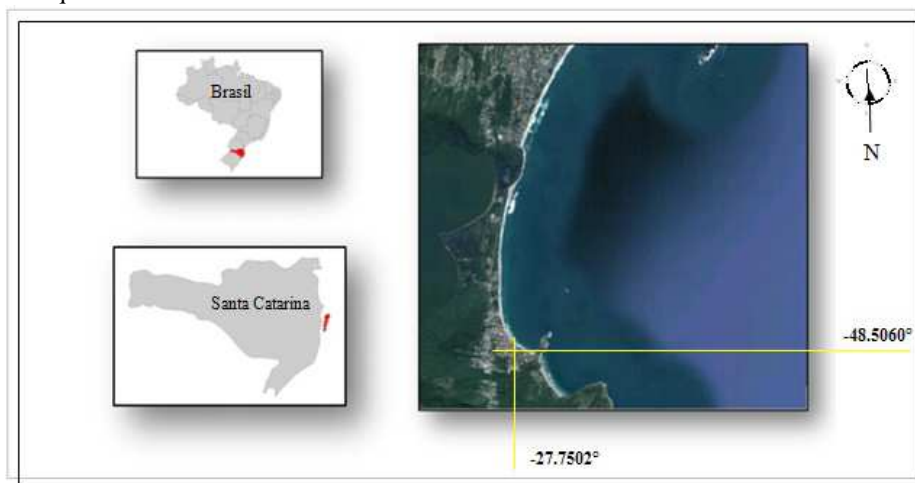


Figura 2: Mapa de localização da área de estudo, praia da Armação, Florianópolis, Santa Catarina.

De acordo com Mazzer et. al.(2008), observa-se na praia da Armação um estágio refletivo ao Norte passando a intermediária na porção central, e a dissipativo ao Sul. Sua exposição às ondas incidentes é para o quadrante Leste (direções Nordeste, Leste e Sudeste). A praia da armação se encontra em processo erosivo ao longo de todo o arco, sendo que no setor Sul a taxa de erosão é maior, em média de 0,5m/ano (Mazzer et. al, 2008).

2.2. – Aquisição e Análise dos Dados de Ondas

Os dados de onda utilizados neste trabalho são da região ao largo do litoral da Ilha de Santa Catarina e foram calculados pelo modelo de geração WaveWatch III (WWIII) tendo sido obtidos via internet diretamente do site da NOAA/NCEP (*National Oceanic and Atmospheric Administration / National Centers Environmental Prediction*). Foi escolhido o ponto de grade mais próximo da área de estudo que estivesse localizado em águas profundas, suas coordenadas são: 28°S de longitude e 47°30'W de latitude e foram analisados os dados de onda dos meses de Março, Abril e Maio de 2010.

Numa visualização inicial dos dados de onda, representou-se a altura significativa (H_s), a direção de pico (D_p) e período de pico (T_p) simultaneamente para os três meses em questão. Em seguida, determinou-se a direção de pico em que houve o maior número de ocorrência e ainda desenvolveu-se uma análise da frequência de ocorrência conjunta da altura significativa e da direção de pico. Servindo estes gráficos como comparativo para o resultado obtido na análise dos resultados da simulação numérica de direções diferentes.

Observando-se a direção de onda de maior ocorrência e a sua capacidade de transporte de sedimento, selecionou-se na série temporal um evento extremo, com esta mesma direção de onda, ocorrido durante os meses observados a fim de entender melhor a magnitude da erosão.

2.3. - Processamento da Batimetria, Confecção do Mapa Base e da Malha de Cálculo

As informações relativas à batimetria foram obtidas a partir da carta náutica número 1904 corresponde ao canal Sul de Santa Catarina, disponibilizada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) em seu *website*. Em seguida, interpolaram-se as profundidades através do método *Kriging*, que parte do princípio que pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais parecidos do que pontos mais afastados.

Os contornos da área de estudo (Figura 3) foram definidos utilizando como base principal uma imagem de satélite da região. Através da digitalização da área georreferenciada, criou-se o mapa base onde foram apresentados os cenários das simulações.

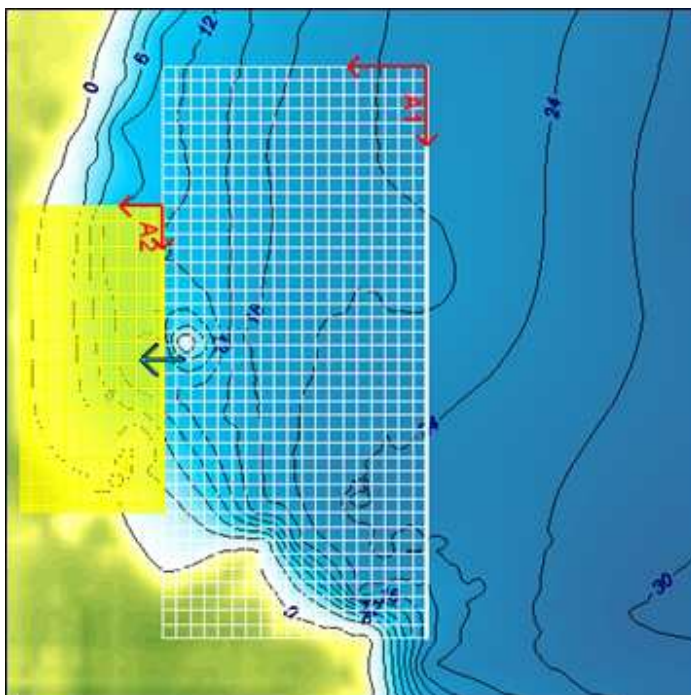


Figura 3: Representação das malhas de cálculo.

Para a realização dos cálculos numéricos foram confeccionadas duas malhas A1 e A2, que resultaram em 940 e 5883 nós respectivamente, estas foram feitas sobre a batimetria inserida na própria interface gráfica do SMC. Tendo em vista que o cálculo das correntes e do transporte é realizado em cada nó da malha, criamos duas malhas concatenadas, a primeira com maior espaçamento e a segunda, devido sua melhor definição é usada para obtenção dos resultados de correntes e transporte de sedimento.

- Malha 1 (M1) – espaçamento entre as células de 120.97m em x e 121.56m em y, com ângulo de orientação igual a 180°.
- Malha 2 (M2) – espaçamento entre as células de 23.84m em x e 24.31m em y, com ângulo de orientação igual a 180°.

2.4. – Sistema Modelado Costeiro

Os campos de altura significativa, de correntes geradas na arrebentação e de transporte potencial de sedimento foram calculados a partir do módulo MOPLA (modelo de *morfodinâmica de playas*) do SMC, desenvolvido pela Universidade de Cantábria. O Mopla é composto por três diferentes modelos numéricos que representam a evolução morfodinâmica de uma praia. O primeiro simula a propagação e transformação de ondas ao propagarem-se para águas mais rasas (Oluca), o segundo, calcula as correntes geradas a partir da quebra de ondas (Copla), e o último quantifica transporte de sedimentos e a evolução morfodinâmica de uma praia (Eros).

Os modelos citados acima trabalham interligados, o Oluca torna possível simular em uma zona litorânea a propagação de ondas desde profundidades indefinidas até a linha de costa. Os campos de ondas calculados a partir dos casos inseridos agora são executados no Copla para o cálculo de correntes induzidas na zona de arrebentação e finalmente a magnitude e a direção das correntes são utilizadas para a determinação do potencial de transporte de sedimentos local.

Frente aos sucessivos processos que geraram agitação marítima na costa catarinense durante os meses de Março, Abril e Maio de 2010 e que por consequência ocasionaram a erosão intensa na praia da Armação, três cenários (Leste, Sudeste e Nordeste) de direção de onda próxima à praia foram adotados a fim de investigar o potencial de transporte de sedimentos de cada um. Nestes casos, a altura significativa ($H_s = 2\text{m}$) e o período de pico ($T_p = 10\text{s}$), foram mantidos iguais a fim de se averiguar melhor a influência da direção principal das ondas nos resultados numéricos para a praia da Armação.

Outra simulação foi feita para um caso de condição extrema observada para águas profundas no dia 8 de Março, foi inserido no modelo uma altura significativa de 3.99m, uma direção média de 98° em relação ao Norte e período de pico de 11.17s.

Para todos os casos citados anteriormente, foi utilizada a análise espectral padrão do SMC (TMA), onde a profundidade de entrada dos parâmetros foi igual à 20 metros. O parâmetro gama (espalhamento espectral em frequência) escolhido foi igual ao padrão proposto pelo modelo (3.3), o parâmetro de espalhamento espectral em direção igual a 10° e a variação da maré como sendo um metro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de onda calculados pelo WWIII são apresentados a seguir de acordo com sua variação temporal (Figura 4). Em uma análise previa dos dados podemos observar em (a) uma alta permanência da série de altura significativa acima das médias feitas por Araújo et. al. (2003) para essa época do ano, onde foram encontradas para o verão e para o outono respectivamente 1.46 e 1.67 metros. No gráfico (b) sugere-se uma direção predominante do quadrante Leste, mesmo tendo maior predominância dos mares de Sul no mês de Maio. Percebemos no gráfico (c) que nos três meses os períodos de pico permaneceram principalmente na faixa entre 6 e 10 segundos.

Durante o mês de Março o período mais crítico foi provavelmente o compreendido entre os dias 5 e 10, com registros de ondulação com altura significativa (H_s) chegando a 4m, períodos de pico (T_p) acima de 10s com direção predominante de Leste. Segundo Pereira (2010), o website Terra, que acompanhou o ocorrido na praia da Armação, no dia 8 de Março as informações eram que toda a extensão da praia da Armação estava totalmente submersa. Ventos fortes atingindo o local e ondulações de até 3m com grande possibilidade de chuva, o causador desse evento seria um ciclone em alto mar com comportamento diferente dos demais, que ao invés de dissipar-se no oceano estava avançando pela costa.

No mês de Abril, os dados de onda do WW3, indicam que entre os dias 5 e 10 as ondulações de Sudeste foram as que mais se destacaram, com altura significativa chegando a medir 5 metros e novamente períodos acima de 10 segundos. Ainda segundo Pereira (2010) na época o mesmo portal terra noticiou no dia 9 de Abril, ressaca na região com ondas de até 4 metros. Previsão da continuidade de ventos fortes (até 50 km/h) e mar agitado por mais alguns dias. No dia 15 de Abril a defesa civil foi até a praia da armação e apontou uma duna de aproximadamente 2 metros sendo atingida pelo mar em seu topo, apesar do auge do evento ter ocorrido no dia 9 de Abril. Nessa época diversas famílias tiveram suas casas atingidas.

Durante o mês de Maio ondulações de Leste-Sudeste predominaram na praia da Armação, praticamente a cada intervalo de 5 dias era registrado uma altura significativa entre 3.5 a 4.0 metros com períodos acima de 10 segundos. No dia 12 de Maio no relatório diário do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) notificou um sistema frontal sobre o litoral catarinense causado por um vórtice ciclônico de altos níveis e um ciclone extratropical,

o que acarretou em um sistema de baixa pressão com muita chuva. O dia 13 de Maio culminou em um grande evento destrutivo, havendo ocorrência de maré astronômica com presença de lua nova e altura de maré de 1.3 metros. No dia 17 de Maio devido à grande erosão ocorrida na praia da Armação, Florianópolis decreta estado de emergência. Neste mesmo dia a EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina) libera um laudo meteorológico ressaltando a dificuldade do escoamento da água devido à maré alta e a ressaca o que deixava a situação ainda mais crítica.

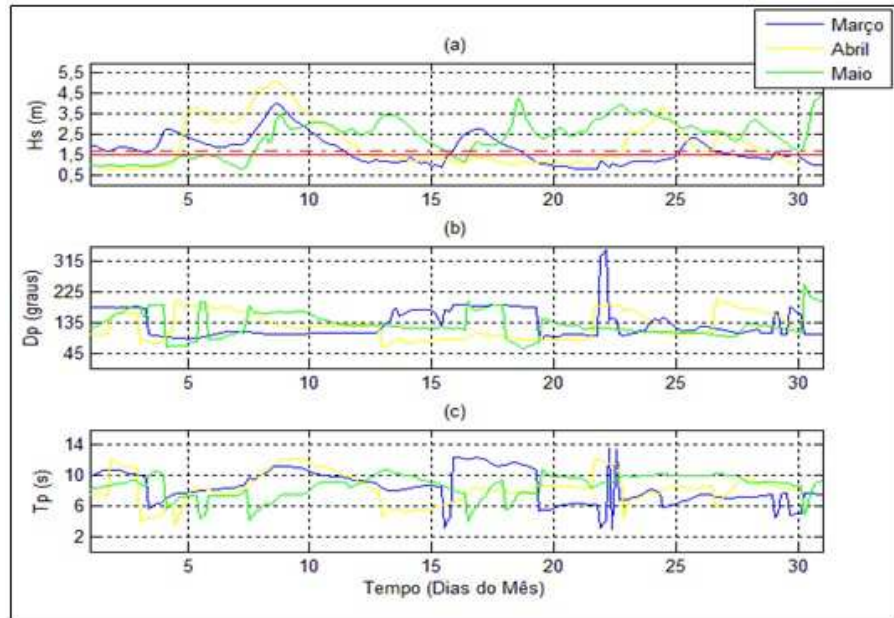


Figura 4: Série temporal dos três parâmetros de onda nos meses de estudo; (a) altura significativa (Hs), a linha tracejada em vermelho como sendo a média da altura significativa para o outono e a linha contínua para o verão (Araújo et. al. 2003); (b) direção de pico (Dp); (c) período de pico (Tp).

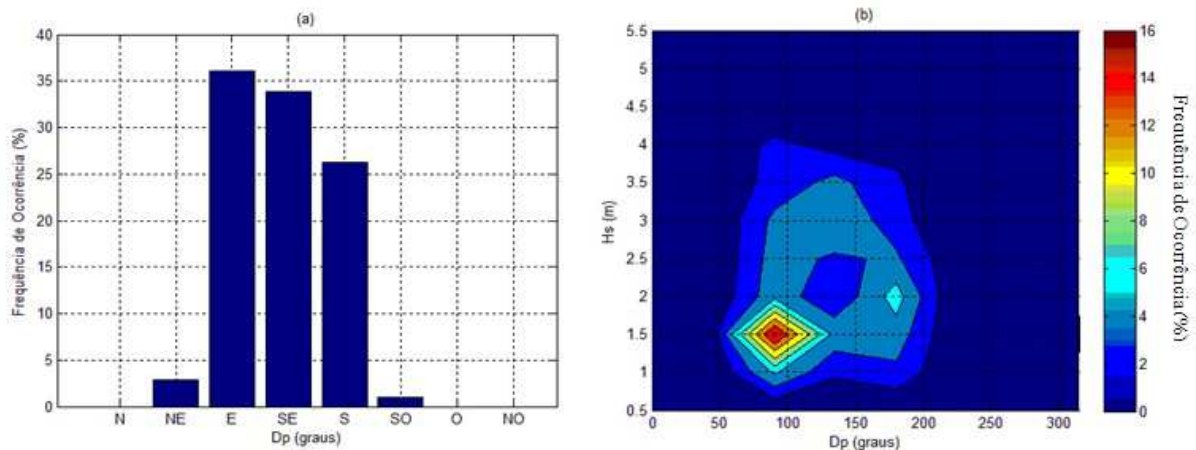


Figura 5: (a) Histograma da porcentagem de ocorrência das direções de pico, (b) Ocorrência conjunta da altura significativa e direção de pico para os meses de Março, Abril e Maio de 2010.

Para toda a série temporal calculada pelo WW3, pode-se constatar na Figura 5 (a) que as ondulações de Leste foram as mais frequentes durante os três meses estudados equivalendo a 36% dos casos, seguida de Sudeste e Sul. Além disto, a maior ocorrência de mares de Leste e de Sudeste em relação aos mares de Sul nesta época do ano, diverge da análise de Araújo (2003), indicando um padrão fora do normal da direção de incidência das ondas na costa central catarinense.

Pode-se constatar também que durante o período as ondulações que obtiveram maiores ocorrências foram às ondulações com altura significativa igual a 1.5 metros, (Figura 5 (b)). Vale ressaltar que as ondulações de Sul mesmo

estando em grande porcentagem de ocorrência não geraram conseqüências na praia da Armação, uma vez que a existência do promontório rochoso formado pela ilha das Campanhas tende a desviar ou difratar as mesmas.

Frente aos sucessivos processos que geraram agitação marítima na costa catarinense durante os meses de Março, Abril e Maio de 2010 e que por consequência ocasionaram a erosão intensa na praia da Armação, três cenários foram criados a fim de se investigar qual das três direções principais de chegada de onda na praia da Armação seria capaz de mobilizar mais sedimento na área de estudo. Desta forma, os cenários possuem algumas características semelhantes, mesma altura de onda e mesmo período de pico, porém diferentes direções de incidência de onda. O primeiro cenário de propagação da altura de onda (C1) foi desenvolvido a partir de ondulações provenientes da direção Nordeste (59°), o segundo cenário (C2) com ondulações provenientes da direção Sudeste (126°), e o terceiro cenário (C3) com ondulações da direção Leste (105°).

Nota-se na Figura 6 que em C3 o predomínio de correntes longitudinais no sentido Norte-Sul em quase toda a praia, porém menos intensas do que as do C1, na parte mais ao Sul de C3 observam-se correntes com sentido Sul-Norte. Tanto em C1 quanto em C3 às correntes tendem a manter um fluxo ao redor da Ilha das Campanhas em direção ao Sul, ou seja, em direção à praia do Matadeiro. Vale ressaltar que atualmente entre a Ilha das Campanhas e o continente há um molhe que separa a praia da Armação e a praia do Matadeiro e que o mesmo não foi levado em conta neste estudo. Em C2 o padrão de correntes é inverso ao de C1 e C3 (Sul – Norte) uma zona de sombreamento junto à porção Sul da praia resultando em correntes menos intensas em direção a Norte e observada.

Utilizando as correntes geradas pelo Copla, o Eros simulou o transporte potencial de sedimento na área de estudo (Figura 8), os vetores representam as magnitude e direção do transporte, já o mapa de cores nos dá uma idéia quantitativa deste transporte.

Para o caso de ondas de Nordeste (C1), fica evidente a maior mobilização de sedimentos ao Norte da praia (acima da coordenada 6929000), bem como em frente à ilha das Campanhas. Já para ondas de Leste (C3), o potencial de transporte é bem acentuado na porção Sul da praia e também à frente da ilha.

Ambos os casos (C1 e C3) apresentam uma tendência de retirada de sedimento da costa exatamente na latitude em que as correntes, anteriormente discutidas, apresentaram um sentido Leste. Para ondas de Sudeste (C2) o transporte é menor quando comparado com os outros dois casos (C1 e C3).

A alta freqüência de ocorrência de mares de Leste durante os meses estudados, somado ao potencial de transporte também na direção Leste sugere que esta relação foi a possível causa do evento erosivo presenciado na área de estudo.

Por fim, foi escolhido um caso extremo pertencente ao período analisado, no qual foram simulados suas correntes e seu potencial de transporte de sedimento tendo sido utilizados os seguintes valores de altura significativa, direção de pico e período de pico.

Tabela 1: Apresentação dos parâmetros de onda utilizados para o caso extremo simulado.

Data	Hs (m)	Dp (°)	Tp (s)	Caso
08/05/2010	3,99	98	11,17	C4

Na figura 8, verifica-se que o padrão de circulação hidrodinâmico da praia foi mantido em relação à Figura 6 (C3), porém com intensidades de correntes e transporte de sedimento bem mais elevados, alimentando a hipótese que a sequência de eventos extremos presenciada durante os meses de estudo pode ter sido um fator colaborador para o desastre na Praia da Armação.

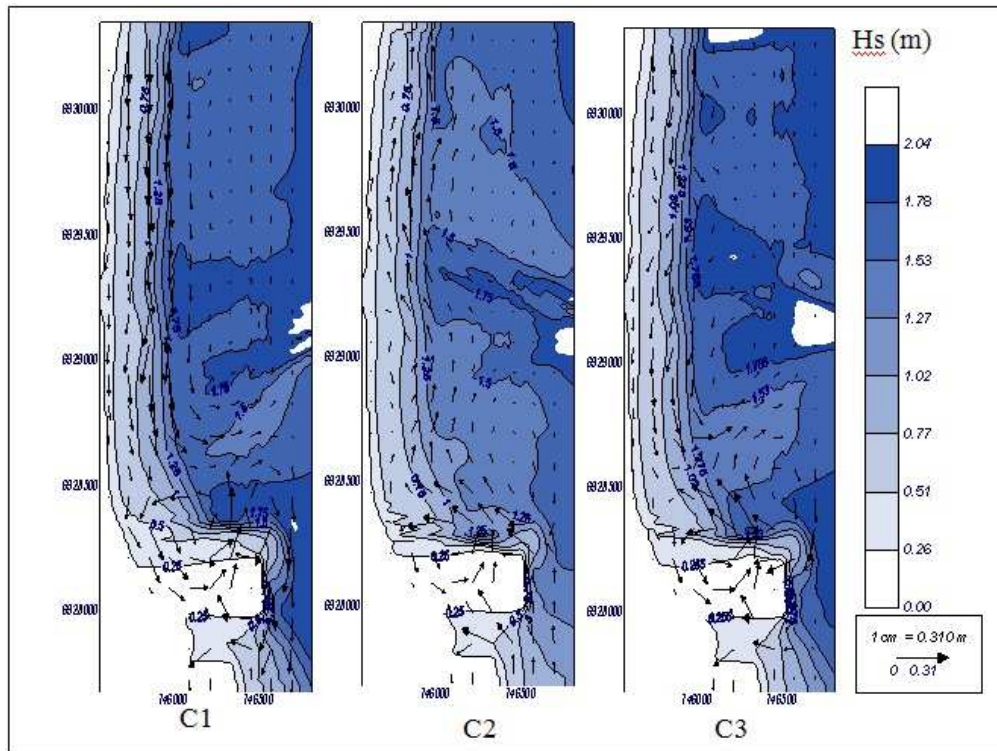


Figura 6: Representação da magnitude e direção das correntes e propagação da altura significativa das ondas.

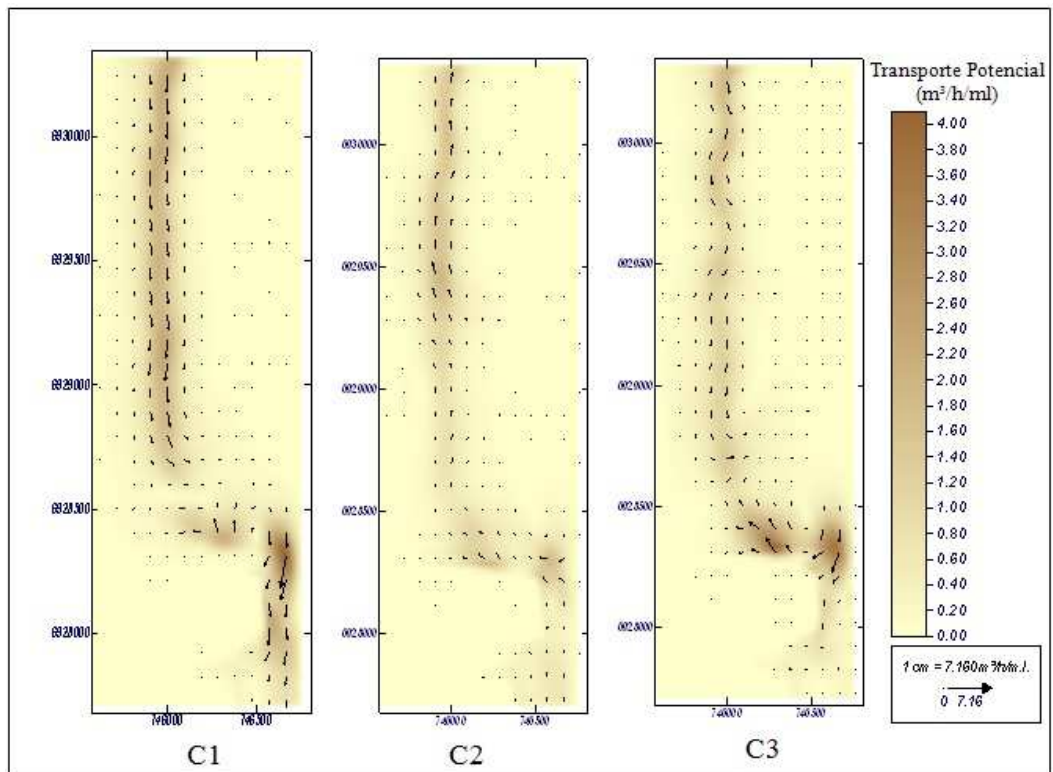


Figura 7: Potencial de transporte de sedimento nos três casos distintos de incidência de ondas.

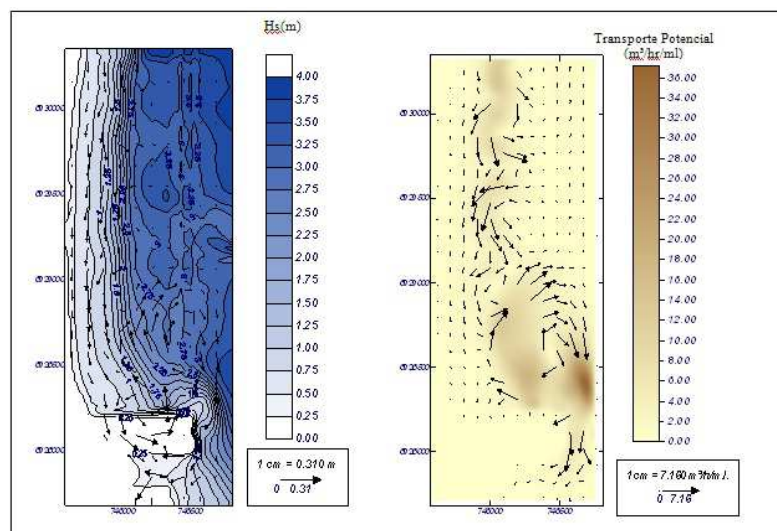


Figura 8: Representação da magnitude e direção das correntes, campo de alturas significativas e o potencial de transporte de sedimento para direção Leste.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A praia da Armação vem sofrendo um grande processo de erosão, causado pelas fortes ressacas ocorridas nos últimos anos. Obras de contenção foram executadas como medidas de mitigação, no entanto, o problema é muito mais complexo do que as ações imediatas tomadas pelo governo. Neste contexto, o presente estudo contribui para um passo inicial no entendimento dos processos físicos presentes na praia e é crucial dar continuidade a estes estudos para a prevenção de novos desastres. Além das fortes ondas que atinge a região durante o outono e inverno, têm-se construções inadequadas sendo instaladas em cima das dunas frontais o que agrava ainda mais o processo de retração da linha de costa.

Conclui-se que as ondas de Nordeste foram as que mais apresentaram transporte de sedimento, porém suas ocorrências foram muito baixas durante os três meses analisados. Em contrapartida, as ondas de leste obtiveram valores de ocorrência muito elevados e um transporte de sedimento razoável, foi, portanto, escolhida como o caso extremo das análises para a praia da Armação. Sugerindo assim que ondulações de leste foram as principais responsáveis pelo processo erosivo ocorrido.

Diversos aspectos devem ser explorados em trabalhos futuros como, por exemplo: a relação entre a granulometria local e a incidência de ondas e o transporte de sedimentos devido à granulometria da praia variar de muito grossa a muito fina.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo C.E.S., Franco D., Melo E. e Pimenta F., 2003. "Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian Coast". Copedec, International Conference On Coastal and Port Engineering in Developing Countries, 6, Colombo, Sri Lanka, Sri Lanka, pp. 1-15.
- Baptista, N. J. A., Ponzi, V. R. A e Sichel, S. E., 2004. "Métodos diretos e indiretos de investigação do fundo oceânico". Introdução à geologia marinha. Ed. Interciência, Rio de Janeiro, pp. 279.
- Mazzer, A. M., Dillenburg, S. R. e Souza, C. R. G., 2008. "Proposta de método para análise de vulnerabilidade à erosão costeira no Sudeste da ilha de Santa Catarina, Brasil". Revista Brasileira de Geociências, Vol. 38, No. 38, pp. 278.
- Pereira, E.P.P., 2010. Praia da Armação: Uma análise das causas e efeitos dos danos provocados em Maio de 2010. Trabalho de Graduação em Geografia, UFSC, Florianópolis, 129 p.
- Website do CPTEC: <http://www.cptec.inpe.br/>, acessado em 12 de setembro de 2012.
- Website da NOAA/NCEP: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/index2.shtml>, acessado e 20 de Abril de 2012.
- Website da DHN: https://www.mar.mil.br/dhn/chm/cartas/car_eletronicas.html, acessado em 25 de Abril de 2012.

6. AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluído neste paper.