Ondas de tempestade na costa Norte Fluminense

Storm waves on Rio de Janeiro's North Shore

^{ac}Taís Almeida de Souza, ^{bd}Eduardo Bulhões, ^{ae}Isadora Borges da Silva Amorim

^aLaboratório de Geografia Física, Departamento de Geografia, Instituto de Ciências da Sociedade e Desenvolvimento Regional, Universidade Federal Fluminense, ^bLaboratório de Geografia Física, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências da Sociedade e Desenvolvimento Regional, Universidade Federal Fluminense

^ctaisalmeida.geo@gmail.com, ^deduardobulhoes@id.uff.br, ^eisadoraborges8@gmail.com

Resumo

O estudo do padrão de ondulações incidentes em uma determinada porção da linha de costa é fundamental para se entender como ocorrem os processos de erosão e transposição de ondas na zona costeira. O objetivo geral deste artigo é caracterizar o comportamento do clima de ondas que atinge o litoral Norte Fluminense, utilizando para isto informações de reanálise dos modelos de ondas oceânicas ao largo do litoral e simulações a partir de um modelo de propagação de ondas para águas rasas, com vistas à identificação de áreas relativamente mais ou menos expostas ao ataque de ondas de tempestade. Os resultados mostram que as ondulações de tempestades usualmente atacam o litoral provenientes de Su-Sudeste, Sul e Su-Sudoeste com médias de alturas significativas de 3,2 metros e máximas de 4 metros. A duração média dos eventos de tempestade é de 36 horas e ocorrem usualmente entre os meses de abril e setembro, promovendo a maior agitação oceânica vista nesta porção do litoral. A partir da simulação de oito eventos, representativos das principais combinações de ondas e ventos de tempestade, foi identificada a exposição relativa desta porção do litoral e a detectou-se a ocorrência bimodal das condições que geram impactos da linha de costa. A primeira está relacionada à ocorrência de ciclones migratórios e relacionada às condições de mau tempo, com ondas variando entre Sudoeste e Su Sudeste, não raro superiores a 3m na arrebentação. Esta expõe a linha de costa entre o município de Macaé e o sul do município de São João da Barra. O segundo padrão está relacionado à atuação mais forte de ventos e ondas do quadrante Leste-Sudeste e expõe a linha de costa entre São João da Barra e São Francisco do Itabapoana, com alturas máximas de ondas semelhantes. Neste sentido, detecta-se uma inversão das áreas expostas e protegidas das ondulações de tempestade em função desta bimodalidade do clima de ondas de tempestade.

Palavras-Chave: ondas de tempestade, norte fluminense, erosão costeira.

Abstract

The study of the wave field incident in certain portion of the coastline is crucial to understand how the erosion and overwash processes in the coastal zone occur. The aim of this paper is to characterize the behavior of wave climate hitting the North Fluminense coast, using information of wave models for deep waters and simulations for waves in shallow water, with a view to identifying areas relatively more or less exposed to storm waves. Results show that the storm waves usually attack the coast from South Southeast, South and South Southwest directions, averaging significant heights of 3.2 meters and maximum of 4 meters. The average duration of storm events is 36 hours and usually (80%) occur between the months of April and September. From the simulation of eight events, representing the main combinations of waves and storm winds, we measured the relative exposure of this portion of the coast and was detected a bimodality of the conditions that generate the shoreline impacts. The first is related to the occurrence of migratory cyclones and also related to bad weather conditions, with waves ranging between Southwest and Southeast, often more than 3m in the surf. This exposes the coastline between the municipality of Macaé and the southern portion of São João da Barra municipality. The second pattern is related to the stronger performance of winds and waves of the East-Southeast quadrant and exposes the coastline between São João da Barra and São Francisco do Itabapoana, with similar maximum wave heights. In this sense, was detected a reversal of exposed and protected areas, in function of this bimodality of the storm wave patterns.

Keywords: storm waves, Rio de Janeiro northern coast, coastal erosion.

Introdução

O estudo do padrão de ondulações incidentes em uma determinada porção da linha de costa é

fundamental para se entender como ocorrem os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos na zona costeira. Para isto é necessária a utilização de dados confiáveis para esta análise e estes

dados, num primeiro momento, são as ondulações oceânicas (marulhos e vagas) que se propagam para a costa e seus efeitos de distribuição de energia quando entram em águas intermediárias e rasas. Estudos em clima de ondas são normalmente elaborados através de estatísticas globais e regionais de dados atmosféricos modelados em campos de ventos sobre os oceanos.

A costa da Região Norte Fluminense compreende os municípios de São Francisco do Itabapoana, São João da Barra, Campos dos Goytacazes, Quissamã, Carapebus e Macaé, que possuem temperaturas médias do ar que variam entre 24° a 27°C no verão e naturalmente diminuindo no inverno quando variam entre 21° e 24°C. Durante o inverno ocorre um menor aquecimento do ar próximo à superfície, bem como entradas mais frequentes da massa de ar polar marítima, por ocasião da passagem de sistemas frontais frios pelo sudeste brasileiro influenciando diretamente na pressão atmosférica média ao nível do mar variando entre 1.015 e 1.020 hPa. No verão as pressões médias variam entre 1.012 a 1.015 hPa, com ventos predominantes de NE (37,73%), mostrando intensidade fraca a moderada, rajadas ocasionais de SW são notadas e associadas à passagem de frentes frias e ciclones extratropicais pela área (Pinho 2003).

Situada na Zona Tropical a região sofre predominantemente influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, que oscila entorno de sua posição média, localizando-se mais ao Sul e a Leste no verão (30°S e 15°W) e mais ao Norte e a Oeste no inverno (22°S e 30°W). Esse sistema de ação gera ventos que sopram em torno do seu núcleo, divergentes e em sentido anti-horário, estabelecendo as condições meteorológicas propiciando os ventos de direções variáveis de Norte a Leste, de intensidades fracas a moderadas.

A corrente do Brasil que flui paralelamente à costa exerce uma influência direta sobre a massa Tropical Marítima que circula pela costa oriental da América do Sul, comandada pelos ventos anticiclônicos da região. Tal corrente promove um aquecimento pela base na massa de ar o que acarreta em sua instabilidade costeira presença de movimentos verticais do ar (Pinho 2003).

As ondas geradas no oceano aberto pelos ventos dependem fundamentalmente de sua velocidade, duração e da extensão da pista na superfície do oceano sobre a qual eles atuam. Quanto maiores à duração e a pista, maior a quantidade de energia potencial absorvida pelas ondas. As ondas geradas nos locais de tempestade originam um trem regular de ondas conhecidas como ondulações. As ondulações viajam pelos oceanos perdendo pouca energia. Portanto, as ondulações que atingem a linha de costa, denominadas ondas gravitacionais, podem ter sido geradas em áreas de tempestade a milhares de quilômetros de distância. Algumas ondas secundárias podem ser geradas nas proximidades da linha de costa devido à ação de ventos fortes ou produzidas a partir de alterações na energia das ondas gravitacionais na costa.

A morfologia costeira da Região Norte Fluminense é caracterizada por barreiras costeiras arenosas distribuídas espacialmente com morfologia e orientações distintas, relativas às principais direções de incidência de ondas oceânicas que atuam no litoral do Rio de Janeiro. A capacidade de resiliência que estas feições têm, quando submetidas a eventos de maior magnitude como ondas de tempestades está associada principalmente ao estoque pretérito de sedimentos, tanto da zona subaérea quanto da zona submarina, consolidado de acordo com as características dinâmicas e evolutivas da planície costeira durante o Quaternário tardio. Assim em resposta atual destes ambientes a eventos severos (ou extremos) como tempestades têm sido verificada através da comparação das condições morfodinâmicas normais com resultados morfológicos em condições de tempestade (Bulhões *et al.* 2010, 2014, Fernandez *et al.* 2011) e posterior recuperação.

O objetivo geral deste artigo é caracterizar o comportamento do clima de ondas que atinge a porção da linha de costa situada entre os municípios de Macaé e São Francisco do Itabapoana (litoral da região Norte Fluminense), utilizando para isto informações de reanálise dos modelos de ondas oceânicas ao largo do litoral.

Adicionalmente, simulações a partir de um modelo de propagação de ondas para águas rasas são utilizadas visando maior resolução dos efeitos das ondas na zona costeira, possibilitando a identificação de áreas relativamente mais ou menos vulneráveis ao ataque de ondas de tempestade e a riscos de erosão costeira e transposição de ondas de tempestade sobre as barreiras arenosas.

Área de Estudo

Os municípios costeiros da Região Norte Fluminense compreendem seis cidades sendo elas, do norte para o sul, São Francisco do Itabapoana, São João da Barra, Campos dos Goytacazes, Quissamã, Carapebus e Macaé como identificados na figura 1. A partir de estudos sobre paleolinhas de costa sumarizados por Suguio *et al.* (2005) e apesar das discordâncias também indicadas pelo autor, constatou-se a existência de níveis marinhos pretéritos acima do atual, no litoral da região Norte Fluminense, devido a uma série de fatores. Dentre eles, pode-se citar: evidências biológicas acima do nível atual de vida desses organismos; sambaquis, construídos pelos índios, encontrados a mais de 30 km da linha de costa; idades ao radiocarbono superiores 30.000 anos antes do presente (A.P.) para os depósitos internos e inferiores há 5.100 anos A.P. para os externos; areias de cor mais clara, de baixa coesão e com conchas nos depósitos externos, e areias de cor mais escura, mais coesas e sem conchas nos internos. Dessa forma, foi possível estabelecer duas gerações distintas de depósitos marinhos arenosos na região, caracterizando os terraços pleistocênicos e holocênicos, sendo o primeiro, os mais internos e o segundo, os mais externos em relação à borda continental.

Ainda de acordo com o autor supracitado, a evolução geológica da zona costeira do Norte Fluminense passou pelas seguintes fases: Plioceno, em que houve a deposição terciária da formação barreiras; Pleistoceno, época de glaciações em que os tabuleiros teriam sido elevados; Holoceno antigo, correspondente à transgressão pós-glacial, em que o bordo continental

recuou devido ao degelo; Holoceno atual, caracterizado pela estabilização do nível do mar.

Este modelo, válido para a área de estudo, explica a orientação, a morfologia das barreiras arenosas e o volume de sedimentos dispostos na borda oceânica da zona costeira, área aqui identificada como sujeita à impactos de erosão e transposição pela ocorrência de ondas de tempestade.

Figura 01: Municípios costeiros da Baía de Campos e Região Norte Fluminense e setorização de 27 pontos para análise comparativa de resultados.

Materiais e Métodos

A estratégia metodológica adotada foi inicialmente a compilação de dados de ondas e ventos ao largo do litoral da Baía de Campos. O intervalo de tempo situa-se entre os anos de 2003 e 2014, alimentado com informações diárias do modelo GFS (atmosférico) e *Wave Watch III* (oceânico) espaçadas de 3 em 3 horas. Os eventos de tempestade têm sido caracterizados na literatura a partir do momento que a altura significativa das ondas (H_s) ultrapassa o limiar de 3 metros por mais de 12 horas (Bulhoes *et al.* 2014).

Foram também compiladas informações batimétricas a partir de sondagens elaboradas pela Marinha

Brasileira na década de 80 e posteriores atualizações (2007), dados estes disponibilizados na forma de Cartas Náuticas (CN1400 - do Rio Doce ao Cabo de São Tomé, da década de 60; CN1550 – Baía de Campos, atualizada em 2007; CN1403 – Da Barra do Itapemirim ao Cabo de São Tomé, atualizada em 2013; da CN1507 – Enseada de Macaé e proximidades, atualizada em 2007; CN1505 – Porto do Acú e da CN1506 – Proximidades Porto do Açu, ambas atualizadas em 2013), visando ser a base sobre a qual o modelo de ondas em águas rasas funciona. Todas as informações batimétricas foram ajustadas a um datum horizontal em comum e ajustadas ao nível de redução.

Em seguida, simulações de propagação de ondas para águas rasas foram elaboradas, através do módulo *Spectral Waves* do modelo Mike 21, objetivando reconstituir as condições sobre as quais a linha de costa fica sujeita quando da passagem de tempestades oceânicas. Os dados de entrada foram definidos de acordo com as condições de tempestade mais comuns que atingem a linha de costa da região norte fluminense, em observância às variações direcionais, de duração e de intensidade. Por fim, foram setorizados 27 pontos ao longo do litoral para análise comparativa dos resultados das entradas de ondulações de tempestade, conforme já apresentado na figura 01.

Resultados e Discussão

Quanto ao comportamento do clima de ondas e ventos a tabela I apresenta os resultados de estatística básica das condições médias de ondas e ventos e a tabela II os resultados das condições médias durante eventos de tempestade, ambas entre 2003 e 2014.

Quanto às condições médias de ondas os resultados alcançados foram: ondas com média de altura significativa de 1,6m, períodos de pico de 9s, provenientes majoritariamente das direções entre o Leste (L) e o Sul (S). Estes resultados concordam como o alcançado por Souza (1998), Bastos e Silva (2000) e por Pinho (2003) para quem 75% dos estados de mar na Baía de Campos. Na comparação com os resultados encontrados por Oliveira *et al.* (2015) para uma posição ao Sul da Baía de Campos as alturas significativas são concordantes, no entanto a direção média de ondas não.

Os ventos sopram com velocidades médias entre 4 e 13 m/s majoritariamente das direções entre o Nordeste (NNE) e Sul (S). No entanto, Violante-Carvalho (1998) aponta que as direções Norte, Nordeste e Leste representam somadas cerca de 65% da direção de circulação dos ventos à 10m da superfície.

Tabela I: Estatística Básica do Clima de Ondas e Ventos ao Largo da Área de Estudo

Características do Clima de Ondas e Ventos	Velocidade do Vento (nós)	Direção Média dos Ventos (°N)	Altura Significativa de Ondas (m)	Direção Média de Ondas (°N)	Período de Pico (s)
Máxima	27	337	4.7	315	19
Média	9.6	94	1.6	133.7	8.8
Mínima	0	0	0	22.5	3
Desvio Padrão	4.1	83	0.5	47.5	2.2

Fonte: Modelo Wave Watch III

Quanto às condições de tempestade, dados atualizados (tabela II) a partir dos resultados de Bulhões *et al.* (2014) apontam a ocorrência de 75 eventos de tempestade entre 2003 e 2014. Numa perspectiva geral, os eventos de tempestade ocorrem com duração média de 36 horas e a média da altura significativa de ondas é de 3,2 m, resultado concordante com a condição de “Mau Tempo de Sudeste” identificada por Pinho (2003). A média da altura máxima de ondas durante eventos de tempestade é de 3,9 m a direção média de entrada de ondas de Sul

e 80% das ocorrências de eventos de tempestade se concentram entre os meses de Abril e Setembro, consolidando a “temporada de tempestades” para o litoral fluminense.

A tabela II ainda apresenta o resultado de altura significativa máxima das ondas de tempestade de 4,7 metros, semelhante ao que Pianca *et al.* (2010) apresentam sobre o clima de ondas para o largo do litoral brasileiro, aonde a perspectiva comparativa para este trabalho deve considerar que o litoral Norte Fluminense se situa na posição intermediária entre os setores W2 (Setor Sudeste) e o W3 (Setor Central) identificados pelos autores.

No trabalho supracitado, os autores apresentam os valores máximos de altura de ondas de 6,3 e 4,9 metros respectivamente para o setor Sudeste e Central, com ocorrência na estação de inverno. Neste caso o litoral Norte Fluminense apresentaria características típicas do Setor Central do litoral brasileiro conforme Pianca *et al.* (2010).

Estes resultados se apresentam coerentes também com os resultados de Campos (2009) que indica altura significativa (H_s) entre 5 e 7 metros para a mesma área de estudo através de estimativas de ondas extremas, considerando um período de retorno de 10 anos, estimativas que consideram resultados do modelo *Wave Watch III* e da bóia oceânica de propriedade da Petrobrás S/A. Adicionalmente, o atlas publicado por Sterl & Caires (2005) corrobora com aqui discutido, sendo 6,5 m o limite mínimo da onda retorno em 100 anos para o litoral sudeste brasileiro.

Tabela II: Estatística Básica das Condições Médias Durante os Eventos de Tempestade.

Ano	Total de Eventos de Tempestade	Duração Média (h)	Altura Média das Ondas (m)	Direção Média de entrada das ondas (°N)	Altura Máxima de Ondas (m)
2003	6	30	3.07	191.82	3.60
2004	11	34	3.07	175.44	3.40
2005	3	54	3.17	144.00	3.40
2006	10	43	3.31	177.81	4.10
2007	9	39	3.36	191.63	4.50
2008	9	32	3.10	162.53	3.90
2009	9	32	3.17	180.00	3.70
2010	3	48	3.51	169.73	4.70
2011	5	37	3.21	186.27	4.00
2012	0				
2013	4	32	3.33	188.23	4.30
2014	6	27	3.09	184.50	3.70
total	75	36	3.22	179.12	3.94

Mês	Total de Eventos de Tempestade	Mês	Total de Eventos de Tempestade	Mês	Total de Eventos de Tempestade
Jan	1	Mai	13	Set	10
Fev	1	Jun	10	Out	3
Mar	1	Jul	7	Nov	7
Abr	8	Ago	12	Dez	2

Fonte: Modelo Wave Watch III.

Na perspectiva de estimar a energia de ondas transportada para a costa e identificar os possíveis impactos foram simulados oito eventos de tempestade, representativos de diferentes combinações de entrada de ondas e ventos, e estimada para cada simulação a altura máxima de ondas na arrebentação em cada um

dos 27 pontos, distribuídos em 3 setores: Norte, Central e Sul, já identificados na figura 01.

A figura 02 ilustra para a área de estudo o momento ápice de cada tempestade. A tabela III caracteriza cada

evento de tempestade e complementa a figura 03, de modo a identificar para cada simulação as posições mais ou menos afetadas por ondas de tempestade na arrebentação.

Papel da praia na proteção da costa e as alterações oceanográficas em diferentes escalas temporais

Figura 02: Momento ápice de cada uma das oito tempestades simuladas para a área de estudo.

Tabela III: Descrição das características de cada evento de tempestade simulada e identificação das áreas mais e menos afetadas.

EVENTO	DESCRIÇÃO	ÁREAS MAIS AFETADAS	ÁREAS MENOS AFETADAS
Maio de 2004	Com duração de 57 horas, esta tempestade teve início em 27 de maio de 2004 às 16 horas e fim em 30 de maio a 1h. O ápice ($H_s=3,30m$) da ocorrência no dia 29 às 10 horas, e as direções predominantes das ondulações foram de Sul e os ventos predominantes de leste.	No Setor Central, as áreas de Praia do Açú, Porto do Açú em São João da Barra, além de todo o litoral de Campos dos Goytacazes. Mais os pontos Quissamã e Macaé, na porção Sul da área de estudo	As áreas mais protegidas foram aquelas à jusante de estruturas de defesa do litoral, a saber: Porto do Açú Norte e Barra do Furado. Adicionalmente as áreas do setor Norte da área de estudo, no município de São Francisco do Itabapoana.
Julho de 2005	Com duração estimada de 105 horas, esta tempestade de junho de 2005 teve início no dia 6 às 19 horas, como o seu ápice ($H_s=3,60m$) no dia 10 às 10 horas e seu término às 4 horas do dia 11. A predominância foi de ondas vindas de Sudeste e ventos predominantes de Leste.	As posições demarcadas em Macaé e Quissamã no Setor Sul, vários pontos no setor Central, a saber: Praia do Açú, Porto do Açú Sul, Iquipari, Vila do Sol, Lagamar e Farol de São Thomé.	No setor Sul, as posições demarcadas em Carapebus e Pontal de Macaé. No setor Central, as posições em Barra do Furado e Porto do Açú Norte (porém menos protegidas do que na tempestade de Maio 2004).
Junho de 2006	Com duração total de 48 horas, a tempestade de junho de 2006 teve início às 13 horas do dia 3, com momento ápice ($H_s=3,60m$) registrado às 13 horas do dia 4 e término às 13 horas do dia 5 de junho. Essa tempestade ocorreu sobre a predominância de ondas vindas de Sudeste e ventos de Nordeste.	Os pontos Macaé, Quissamã e Praia do Açú receberam as maiores ondulações durante esta tempestade. Adicionalmente as áreas do setor Central, a saber: Lagamar, Farol de São Thomé, Restinga/Mangue Carapeba, Restinga do Xexé, Vila do Sol, Lagoa do Açú, Iquipari, Grussaí e Atafona.	As posições menos afetadas foram Barra do Furado, Carapebus e Pontal de Macaé.
Maio de 2007	Com duração estimada de 60 horas, a tempestade de maio de 2007 teve seu início dia 9 às 13 horas, o ápice ($H_s=4,30m$) foi identificado no dia 10 às 4 horas, e término no dia 22 às 1 hora; Os ventos predominantes foram de Sul e ondulações provenientes de Su-Sudoeste.	As posições que receberam as maiores ondulações foram: Macaé e Quissamã no Setor Sul e Lagamar e Vila do Sol, no Setor Central	As posições menos afetadas por esta tempestade foram: Pontal de Macaé e Carapebus no Setor Sul; Barra do Furado, Porto do Açú Norte no Setor Central e a maior parte das posições no Setor Norte, município de São Francisco do Itabapoana.
Junho de 2007	Com duração de 42 horas, a tempestade de Junho de 2007 começou no dia 4 às 4 horas, o ápice ($H_s=3,70m$) ocorreu no dia 5 às 1 hora e findou no dia 5 às 22 horas. As ondulações predominantes foram de Su-sudoeste e ventos de Oeste-Sudoeste.	As posições mais afetadas por ondulações durante esta tempestade foram Macaé e Quissamã no setor Sul e Vila do Sol e Lagamar no Setor Central.	As posições mais protegidas durante esta tempestade foram todas dentro do setor Norte, além de boa parte do setor Central, a saber: Atafona, Grussaí, Iquipari, Porto do Açú Norte e Sil, Praia e Lagoa do Açú e Maria Rosa.
Novembro de 2008	Com duração de 78 horas, a tempestade de novembro de 2008 teve seu início dia 22 às 1 hora, como o seu ápice ($H_s=3,20m$) dia 22 às 10 horas e seu término às 7 horas do dia 25. Essa tempestade ocorreu sobre a predominância de ondas vindas de Leste-Sudeste e ventos de Leste-Nordeste.	Esta tempestade afetou majoritariamente o setor Norte da área de estudo com destaque para as posições Barra do Itabapoana, Ponta do Retiro, Buena e Manguinhos. No setor Central as áreas de Iquipari, Porto do Açú Sul, Praia do Açú e Lagoa do Açú foram as que receberam as maiores ondulações. No setor Sul, Quissamã foi a área mais afetada.	As posições menos afetadas foram Barra do Furado e Pontal de Macaé
Abril de 2010	Com duração de 81 horas, a tempestade de abril de 2010 teve início dia 7 às 19 horas, o ápice ($H_s=4,70m$) foi identificado no dia 9 às 4 horas, e o término no dia 11 às 4 horas. As ondulações predominantes foram provenientes de Su-Sudeste e ventos de Su-Sudoeste.	No setor Sul, as maiores ondulações atingiram os pontos Macaé e Quissamã. No setor Central, as áreas mais afetadas foram Vila do Sol e Lagamar em Campos dos Goytacazes e Praia do Açú em São João da Barra	As áreas menos afetadas foram Barra do Furado e Porto do Açú Norte, notadamente áreas protegidas por estruturas de defesa do litoral.
Outubro de 2013	Com duração estimada de 45 horas, a tempestade de outubro de 2013 teve início dia 29 às 1 hora, ápice ($H_s=3,70m$) dia 29 às 22 horas e término às 22 horas do mesmo dia. Essa tempestade ocorreu sobre a predominância de ondas vindas de Sul e ventos de Leste-Sudeste.	No setor Sul, Macaé e Quissamã receberam as maiores ondulações. No setor Central, Farol de São Thomé foi a área mais afetada.	As áreas menos afetadas foram Barra do Furado e Porto do Açú Norte, notadamente áreas protegidas por estruturas de defesa do litoral. Além do setor Norte da área de estudo, destacando-se as posições: Guaxindiba, Santa Clara, Usina Eólica e Gargaú.

Figura 03: Distribuição das Alturas Máximas de Ondas na Arrebentação, por Pontos de Análise, para oito tempestades distintas.

A interpretação dos resultados apresentados na figura 03 pode nitidamente estabelecer duas áreas de influência de ondas de tempestade de acordo com o espectro direcional. Do setor Norte até o ponto “Maria Rosa” no setor Central há nítida exposição da linha de costa às ondulações provenientes de direções de Leste-Sudeste (ESE), Leste (L) e Nordeste (NE) sofrendo influência, sobretudo de vagas geradas em condições de vento forte deste quadrante. Parente (1999) relata um evento em dezembro de 1991 aonde as condições de “Bom Tempo” com ondas e ventos do quadrante leste nordeste produziu vagas medidas de 3,3 metros para esta área.

Do ponto “Maria Rosa” em direção ao setor Sul, têm-se exposição majoritária às tempestades de Su Sudeste (SSE), Sul (S) e Su Sudoeste (SSW).

Estudos realizados com dados de ondas da bóia oceânica de propriedade da Petrobrás S/A e fundeada na década de 90 no campo de Marlim, Bacia de Campos, mostra que o espectro de ondas geradas nesta área pode ocorrer de forma bi, tri e até mesmo quadrimodais (Seixas 1997, Parente 1997 *apud* Candella 1997), condições estas sistematizadas por Pinho (2003) e ulteriormente inferidas por Bulhões (2011) para Armação de Búzios (extremo Sul da Bacia de Campos) corroborando as informações do modelo de ondas oceânicas e de resultados de distribuição de sedimentos de fundo em enseadas.

Conclusões

O litoral norte fluminense apresenta-se em parte exposto e em parte protegido das ondas de tempestade geradas por ciclones ao largo do litoral sudeste brasileiro. As ondulações de tempestades usualmente atacam o litoral provenientes de Su-Sudeste (SSE), Sul (S) e Su-Sudoeste (SSW) com alturas médias de 3,2

metros e máximas de 4 metros. A duração média dos eventos de tempestade é de 36 horas e ocorrem usualmente entre os meses de abril e setembro, promovendo a maior agitação oceânica vista nesta porção do litoral durante o ano.

Estas ondulações acabam atingindo com maior energia as áreas entre Macaé, Quissamã, Campos dos Goytacazes e a porção sul do município de São João da Barra. Nestas localidades são encontradas nítidas evidências de erosão costeira e transposição de ondas. As obras de defesa do litoral (em Barra do Furado) ou de defesa portuária (Porto do Açúcar) estabelecidas perpendicularmente em pontos da costa Norte Fluminense estão dimensionadas e de fato geram áreas de proteção frente estas ondulações de tempestade. Outros segmentos protegidos deste litoral estão relacionados à mudança de orientação da linha de costa ao norte do Cabo de São Thomé, mais especificamente na localidade Porto do Açúcar, e a partir deste destaca-se boa parte do litoral de São Francisco do Itabapoana, cujo aspecto embaiado, torna-o mais efetivamente protegido da costa frente às ondas de tempestade geradas por ciclones migratórios do quadrante Sul.

Em contrapartida, eventos de tempestade ou ventos fortes do quadrante Leste-Nordeste (ENE) ou Leste-Sudeste (ESE) promovem agitação maior em áreas usualmente protegidas. Neste caso as áreas do litoral protegidas e expostas se invertem em função de ondulações e vagas fortes geradas no entorno do quadrante Leste, sobre influência de ciclones excepcionais ou de períodos de maior influência do anticiclone subtropical. Nestas condições os pontos mais afetados são Porto do Açúcar, Iquiperi e Atafona, em São João da Barra e os pontos de Mangueiros e Ponta do Retiro em São Francisco do Itabapoana. Não raro

estas são as áreas com evidências de processos erosivos episódicos nesta porção do litoral.

Considerações Finais

A complexidade do espectro de ondas para a Baía de Campos está demonstrada claramente em estudos, medições e simulações de ondas ao largo desde a década de 90. Esta circulação gerada, junto à costa, vai induzir obviamente à resultante do transporte litorâneo de sedimentos induzido por ondas que é também motivo de discussão desde a década de 90 (ex. [Cassar & Neves 1993](#)) e que permanece como tema de pesquisa até os dias atuais (ex. [Machado 2009](#)) e estas de alguma forma contribuem às discussões sobre dinâmica de praias (ver [Bastos & Silva 2000](#)), erosão costeira (ver [Muehe 2006](#)) e modelos de evolução das planícies costeiras (ver [Dias & Kjerfve 2009](#)).

Por fim, algumas questões se colocam como impeditivas para uma análise de maior resolução sobre os impactos no litoral, são elas: participação dos ventos locais, participação das oscilações de maré em condições de sizígia e sobretudo, as características dinâmicas das praias e a capacidade destas em absorver as ondas de tempestade. São estas aqui questões para futuras pesquisas.

Referências

- Bastos A.C., Silva C.G. 2000. Caracterização Morfodinâmica do Litoral Norte Fluminense, RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Oceanografia*. 48(1):41-60.
- Bulhões E. 2011. Exposição de Praia, Clima de Ondas e Processos Físicos em Praias de Enseada. Estudo de Caso em Armação de Búzios, Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, 217p.
- Bulhões E., Fernandez G.B. 2011. Analysis of Shallow Water Wave Propagation and Coastal Response in Embayed Beaches, Case Study in Cape Buzios, Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Coastal Research*. SI 64:2022-2026.
- Bulhões E., Fernandez G.B., Oliveira Filho S.R., Pereira T.G., Rocha T.B. 2014. Impactos Costeiros Induzidos por Ondas de Tempestade entre o Cabo Frio e o Cabo Búzios, Rio de Janeiro, Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences*. 05(02):155-165.
- Campos R.M. 2009. Análise dos extremos de onda no Rio de Janeiro associados. Dissertação de Mestrado. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 269p.
- Candella R.N. 1997. Estudo de casos de ondas no Atlântico Sul através de modelagem numérica. Agosto 1997. Dissertação de Mestrado. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 93p.
- DHI - Danish Hydraulic Institute 1995. MIKE 21 Nearshore Spectral Wind-Wave Module, Release 2.7, User Guide and Reference Manual. DHI Software, Denmark.
- Dias G.T.M., Kjerfve B. 2009. Barrier and Beach Ridge Systems of the Rio de Janeiro Coast. In: Dillemburg S.R., Hesp P. (eds) *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Springer. 225-252 p.
- Fernandez G.B., Bulhões E., Rocha T.B. 2011. Impacts of Severe Storm Occurred in April 2010 along Rio de Janeiro Coast, Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI64:1850-1854.
- Grotzinger J., Jordan T.H. 2013. Para entender a Terra. 6. ed. Porto Alegre: Bookman.
- Machado K.M. 2009. Dinâmica Sedimentar da Planície do Paraíba do Sul. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 61p.
- Mendonça F., Moresco I., Oliveira D. 2007. *Climatologia noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos. 206p.
- Muehe D. (org). 2006. *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. MMA, Brasília. 476 p.
- Oliveira L.A.K., Silveira N.E.P., Leão R.R. 2015. Morfodinâmica Multitemporal em Praia Refletiva no Litoral Centro-Norte do RJ, Em Resposta ao Clima de Ondas Regional. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. 16(1):20-36.
- Parente C.E. 1999. Uma Nova Técnica Espectral para Análise Direcional de Ondas. Tese de Doutorado. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 190 p.
- Pianca C., Mazzini P L F., Siegle E. 2010. Brazilian Offshore Wave Climate Based on NWW3 Reanalysis. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58(1):53-70.
- Pinho U.F. 2003. Caracterização dos estados de mar na Baía de Campos. Dissertação de Mestrado. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 137 p.
- Souza M.H.S. 1998. Clima de Ondas ao Norte do Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 181 p.
- Suguio K., Angulo R.J., Carvalho A.M., Corrêa I.C.S., Tomazelli L.J., Willcock J.A., Vital H. 2005. Paleoníveis do Mar e Paleolinhas de Costa. In: Souza C.R.G., Suguio K., Oliveira A.M.S., Oliveira P.E. (eds). *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos. 382p. .

Recebido 15 de setembro de 2015

Aceito 26 de outubro de 2015