

**CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS "SEA" AND "SWELL" OBSERVADAS NO LITORAL DO  
CEARÁ-BRASIL: VARIABILIDADE ANUAL E INTER-ANUAL**Alex Costa da **SILVA**<sup>1,\*</sup>Patrícia **FAÇANHA**<sup>1</sup>Cristiane **BEZERRA**<sup>1</sup>Aluisio **ARAUJO**<sup>2</sup>Erasmio **PITOMBEIRAS**<sup>2,3</sup>

Recebido em: 28 08/2011

Aceito em: 22/12/2011

**ABSTRACT**

The presented work describes the principal characteristics of waves that take place in the west coast of the Ceará State, based on the historic annual or interannual registering of the waves, collected by a wave station. The historic annual series of the waves show that the largest interval of the most important wave's maximal height occurs during the second semester of the year, and is observed with values higher than 4 m. About the wave's direction, the waves are located between the angles 40-60° during the first semester of the year and between 100-120° during the second semester, associated to the direction and the intensity of the trade winds. About the peak period, we could observe that the most frequent interval of higher peak period (T<sub>peak</sub>) has been registered in December, January, February, March and April with values of about 10-20 seconds, sustaining a decrease during the next months. The historic analysis of the relative frequency indicates that > 80 % of the peak periods are between 4 and 9 s, characterizing "sea" waves, although that the ~ 20 % of the peak periods are higher than 10 s, characterizing "swell" waves.

**Keywords:** wave station, swell waves, sea waves, historic analysis.

**RESUMO**

O presente trabalho descreve as principais características das ondas atuantes na costa oeste do estado do Ceará, baseado em registros históricos anuais e interanuais de ondas, coletadas através de estação ondográfica. As séries históricas anuais de ondas mostram que o maior intervalo de maior altura máxima de onda ocorreu no segundo semestre do ano, observando a ocorrência em valores maiores que 4 m. Com relação à direção de ondas estas se apresentaram no quadrante de 40-60° no primeiro semestre do ano e durante o segundo semestre do ano estas foram localizadas no quadrante de 100 a 120 graus, associados a direção e intensidades dos ventos alísios. Com relação aos períodos de pico, observou-se que o intervalo mais frequente do maior período de Pico (T<sub>peak</sub>) foi registrado em dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril, com valores em torno de 10 - 20 segundos, sofrendo um decréscimo nos meses seguintes. Através das Análises históricas de frequência relativa se observou que em torno de 80% das ondas, ocorreu com período de pico entre 4 e 9 s, relacionados com ondas do tipo sea e o restantes ~20% das ondas foram observadas com períodos de pico compreendidos acima de 10 s, indicando ondas do tipo swell.

**Palavras-chave:** estação ondográfica, ondas marulho, ondas vaga, análise histórica.

**INTRODUÇÃO**

Dentre os vários tipos de ondas que ocorrem no oceano, as mais familiares são as ondas superficiais de gravidade geradas pelo vento, denominadas de vagas ou *sea* e as ondas formadas

<sup>1</sup>Laboratório de Oceanografia Física Estuarina e Costeira, Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco – LOFEC/DOCEAN/UFPE. Av. Arquitetura s/n, 50740-550, Campus Universitário, Recife, PE, Brazil – \*e-mail: [alex.csilva@ufpe.br](mailto:alex.csilva@ufpe.br)

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, Campus do Pici, Bloco 713, 60451-970, Fortaleza – CE, Brasil.

<sup>3</sup>Instituto de Pesquisa Hidroviária (INPH), Rua General Gurjão 166, Cajú, 20931-000, Rio de Janeiro – RJ, Brasil

fora de seu local de aparecimento, definidas por marulhos ou *swell*. Estas ondas exercem papel preponderante na determinação das feições costeiras e constituindo-se na mais efetiva ameaça às obras costeiras, à segurança da navegação e às operações navais. Pode-se dizer, portanto, que o conhecimento do clima de ondas de uma região e a capacidade de previsão do estado de agitação marítima é de fundamental importância para todas as atividades ligadas ao oceano.

No oceano Atlântico, existem dois grandes vórtices anticiclônicos subtropicais localizados próximos à superfície, um com os ventos soprando no sentido anti-horário no hemisfério sul, e o outro com sentido horário no hemisfério norte. Próximo à faixa equatorial, na região de confluência entre os dois vórtices, é formado uma enorme pista, onde os ventos são conhecidos por alísios. Ao longo desses alísios são produzidas agitações marítimas caracterizadas por ondas locais, no qual se propagam de leste para oeste atingindo o litoral nordestino.

A flutuação desses ventos alísios na costa norte/nordeste do Brasil sofre um deslocamento latitudinal em função da posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (HASTENRATH, 1985). Durante os meses de setembro-novembro a ZCIT se encontra em sua posição mais ao norte, predominando os ventos alísios de SE. Já durante os meses de dezembro-março quando a ZCIT se encontra mais ao sul alcançando a área costeira do N/NE do Brasil, predominando os ventos alísios de nordeste (SILVA, 2006, entre outros).

Outros eventos meteorológicos podem produzir ondas na costa nordestina como é o caso dos ciclones extratropicais e os distúrbios africanos de leste ou ondas de leste. Muitos desses distúrbios atmosféricos foram registrados transportando para o litoral nordeste do Brasil a agitação marítima gerada pelos ciclones extratropicais, formados no Atlântico Norte ou gerados no extremo sul do continente africano (INNOCENTINI et al. (2003); INNOCENTINI et al. (2005); MELO et al. (1995)). Em virtudes destes ciclones extratropicais a região costeira do Ceará tem sofrido sérias ameaças, como é o caso da ressaca provocada em março de 2001, provocando prejuízo econômico em alguns setores da orla de Fortaleza (CE).

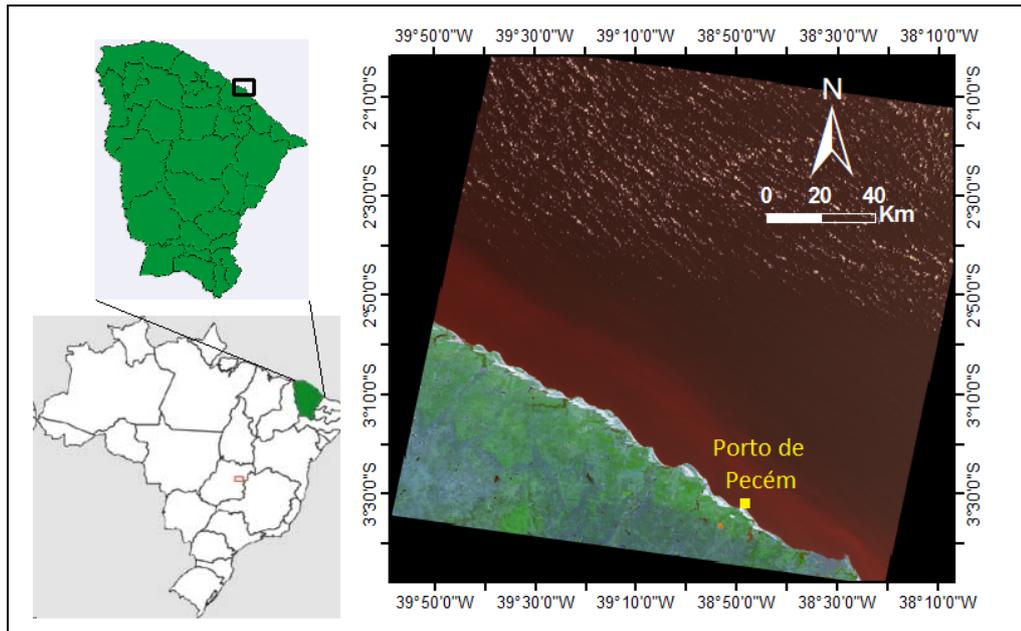
Desse modo, este trabalho tem por objetivo apresentar as análises das séries históricas de ondas que chegam à costa do Ceará, interpretando suas propriedades sazonais e intersazonais, coletadas através de um ondógrafo instalado no terminal portuário do Pecém. Sendo assim, a relevância deste artigo é contribuir de forma descritiva as principais características físicas das ondas que atingiram o litoral do Ceará através de uma série de dados históricos.

## MATERIAL E MÉTODOS

A caracterização das ondas para a região do Ceará está baseada nos registros históricos anuais de medida de altura, frequência e direção de ondas, realizada na estação ondográfica instalada ao largo do Terminal Portuário do Pecém (litoral do CE – lat.: 03°32,1'S, Lon.: 038°47,9'W), efetuado pelo Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH), durante os anos de 1997, 2000 e 2001 (Fig. 1).

Os registros foram obtidos pelo ondógrafo direcional Waverider MKII, fabricados pela DataWell BV. Esse equipamento foi instalado a uma média de 20m de profundidade, realizando medidas de ondas diariamente, para altura de ondas medidas com período de 1.6 - 30 segundos, tendo uma precisão de 0.5% dos valores medidos. Essas informações coletadas pelo ondógrafo eram transmitidas ao litoral via sistema de transmissão HF, em intervalo de tempo de 3 horas e 20 minutos. No laboratório, os dados de ondas eram em seguida filtrados, reduzidos e editados.

As medidas dos campos de vento foram analisadas através de dados coletados diariamente através de uma estação anemométrica instalado no terminal Portuário do Pecém (lat.: 03° 32' 8,24" S; long.: 38° 47' 52,9" W). O gráfico de ventos apresentado neste artigo foi gerado através de uma média mensal dos dados de intensidade e direção de ventos registrados a cada 3 horas durante o ano de 2001.



**Figura 1** – Região de estudo. Local da estação ondográfica, instalada ao largo do Terminal Portuário do Pecém.

## RESULTADOS

### Series Históricas Anuais de Ondas

#### Altura Máxima (H<sub>máx</sub>)

O ano de 1997 apresentou uma média anual de H<sub>máx</sub> de 2,05 m, sendo que os maiores valores foram observados entre os meses de julho a outubro, e no mês de fevereiro, com a média de valores variando entre 2,10 e 2,37 m. Neste mesmo período foram também observados elevados picos de H<sub>máx</sub> em torno de 4,29 m no mês de fevereiro e 3,98 m no mês de Julho (Fig. 2).

O ano de 2000 apresentou uma média anual de H<sub>máx</sub> de 2,02 m, neste período também foram observados os maiores valores de H<sub>máx</sub> no segundo semestre, entre os meses de agosto e novembro, com a média dos valores de H<sub>máx</sub> situados entre 2,07 e 2,58 m. Neste ano, os elevados picos de H<sub>máx</sub> foram observados no mês de janeiro com 6,7 m e de 4,01 m no mês de setembro (Fig. 3).

O ano de 2001 apresentou uma média anual de H<sub>máx</sub> de 2,08 m, apresentando maiores valores de H<sub>máx</sub> entre os meses de julho a dezembro, e no mês de janeiro, com valores em média variando entre 2,17 a 2,49 m. Neste mesmo ano, os elevados picos de H<sub>máx</sub> ocorreram no mês de dezembro com 7 m e no mês de julho com 5,81 m (Fig. 4).

#### Altura Significativa (H<sub>s</sub>)

O ano de 1997 apresentou uma média anual de H<sub>s</sub> de 1,35 m, apresentando médias maiores do que a anual entre os meses de julho a novembro, e no mês de fevereiro, com valores variando entre 1,32 e 1,55 m. Foram observados picos de 2,61 m em fevereiro e 2,46 m em julho (Fig. 2).

O ano de 2000 apresentou uma média anual de H<sub>s</sub> de 1,33m, apresentando maiores valores de H<sub>s</sub> entre os meses de agosto a dezembro, com valores em média situados entre 1,16 e 1,68 m. Os maiores picos observados de H<sub>s</sub> ocorreram no mês de setembro com 2,31 m e 2,3 m em outubro (Fig. 3).

O ano de 2001 apresentou uma média anual de H<sub>s</sub> de 2,08 m, apresentando maiores valores entre os meses de julho a dezembro, e no mês de janeiro, com a média de valores variando entre 1,4 a 1,61 m. Neste mesmo ano, os maiores picos de H<sub>s</sub> de onda ocorreram no mês de fevereiro, julho e setembro, com 2,2 m, 2,17 m e 2,32 m, respectivamente (Fig. 4).

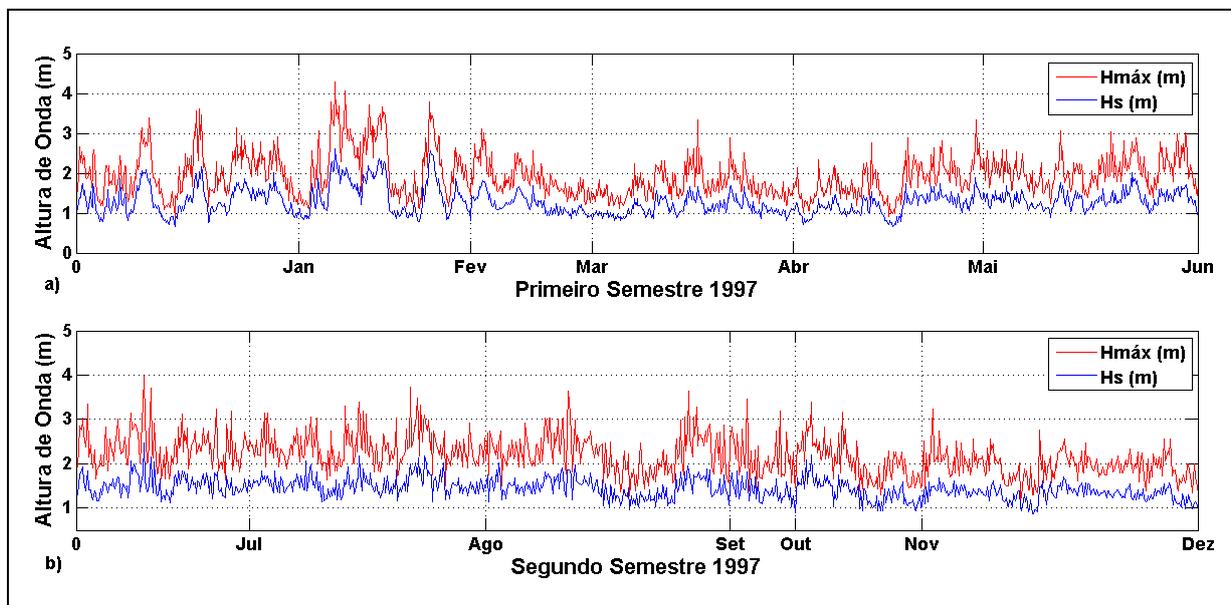


Figura 2 – Altura máxima de onda -  $H_{máx}(m)$ , e Altura significativa de onda -  $H_s(m)$ , do ano de 1997. a) Primeiro semestre de 1997 e b) Segundo semestre de 1997.

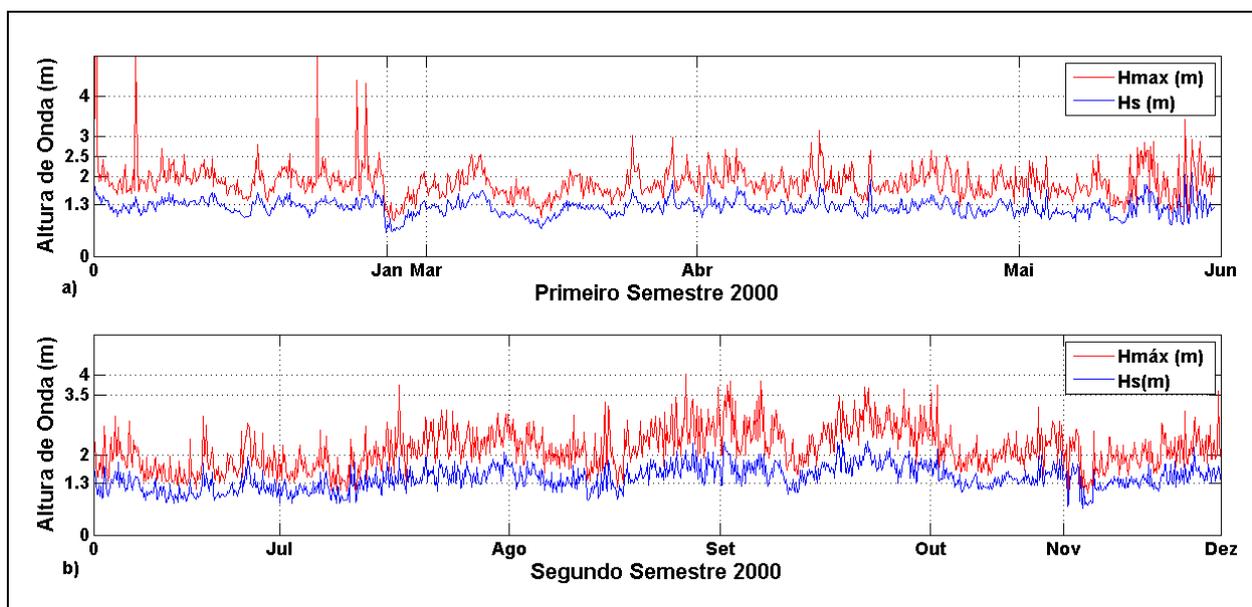


Figura 3 – Altura máxima de onda -  $H_{máx}(m)$ , e Altura significativa de onda -  $H_s(m)$ , do ano de 2000. a) Primeiro semestre de 2000 e b) Segundo semestre de 2000.

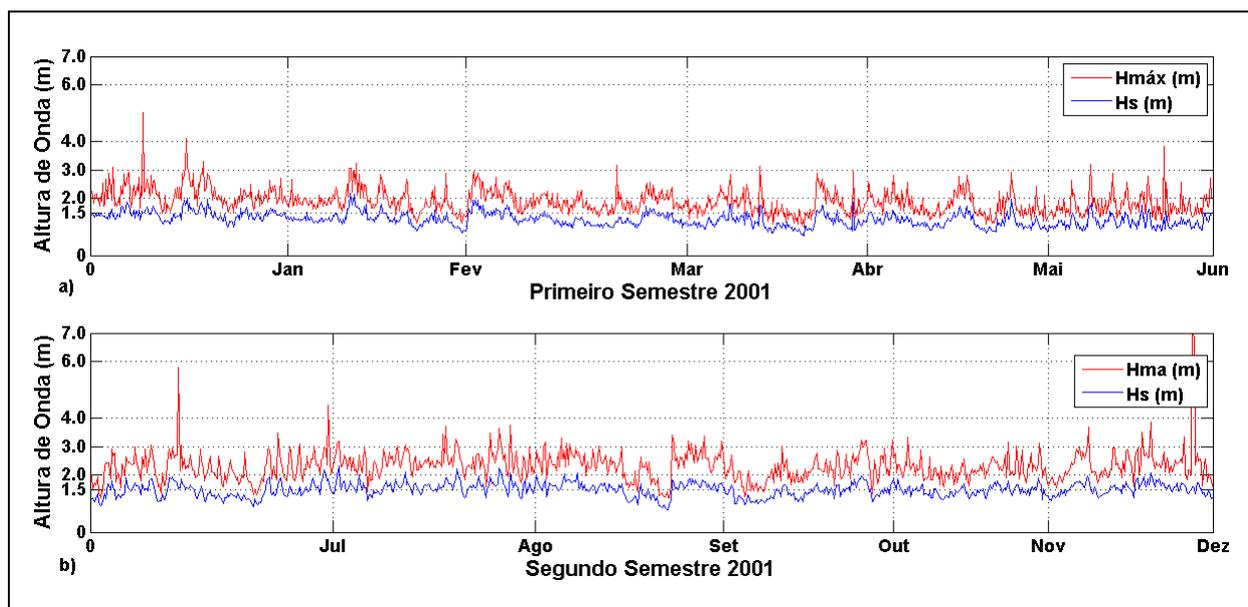


Figura 4 – Altura máxima de onda -  $H_{máx}(m)$ , e Altura significativa de onda -  $H_s(m)$ , do ano de 2001. a) Primeiro semestre de 2001 e b) Segundo semestre de 2001.

#### Período de Onda ( $T_s$ )

O ano de 1997 apresentou uma média anual de período de onda ( $T_s$ ) de 6,64 s, com maiores valores de  $T_s$  entre os meses janeiro a maio e no mês de dezembro, com valores variando entre 6,69 s e 8,12 s. O ondógrafo registrou maior valor de  $T_s$  no mês de dezembro, em torno 8,12 s (Fig. 5).

O ano de 2000 apresentou uma média anual de  $T_s$  de 6,78 s, apresentando médias maiores do que a anual entre os meses de janeiro, março, abril e dezembro, com valores entre 7,89 s e 8,91 s. O maior valor observado de  $T_s$  ocorreu no mês de janeiro com 23 s (Fig. 6).

O ano de 2001 apresentou uma média anual de  $T_s$  de 7 s, apresentando maiores valores de  $T_s$  nos meses de janeiro a abril e no mês de dezembro, com valores situados entre 7,03 s e 8,66 s. Neste ano, foram registrados pelo ondógrafo,  $T_s$  maiores que 20 s nos meses de janeiro, fevereiro, junho, julho, novembro e dezembro (Fig 7).

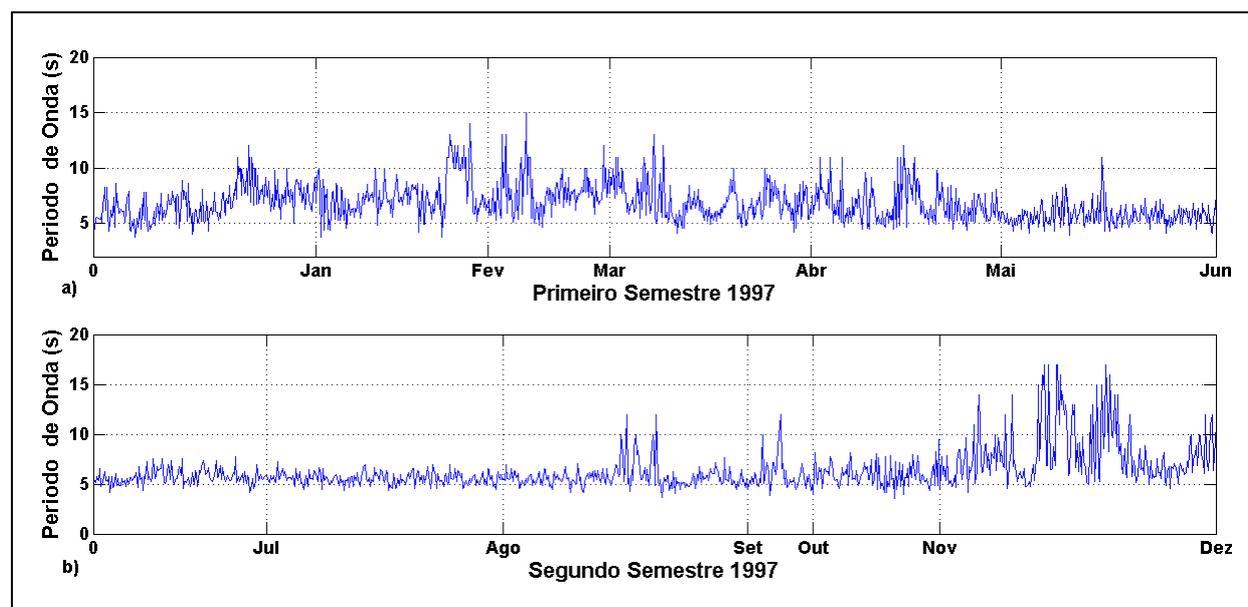


Figura 5 – Período de onda  $T(s)$  do ano de 1997. a) Primeiro semestre de 1997 e b) Segundo semestre de 1997.

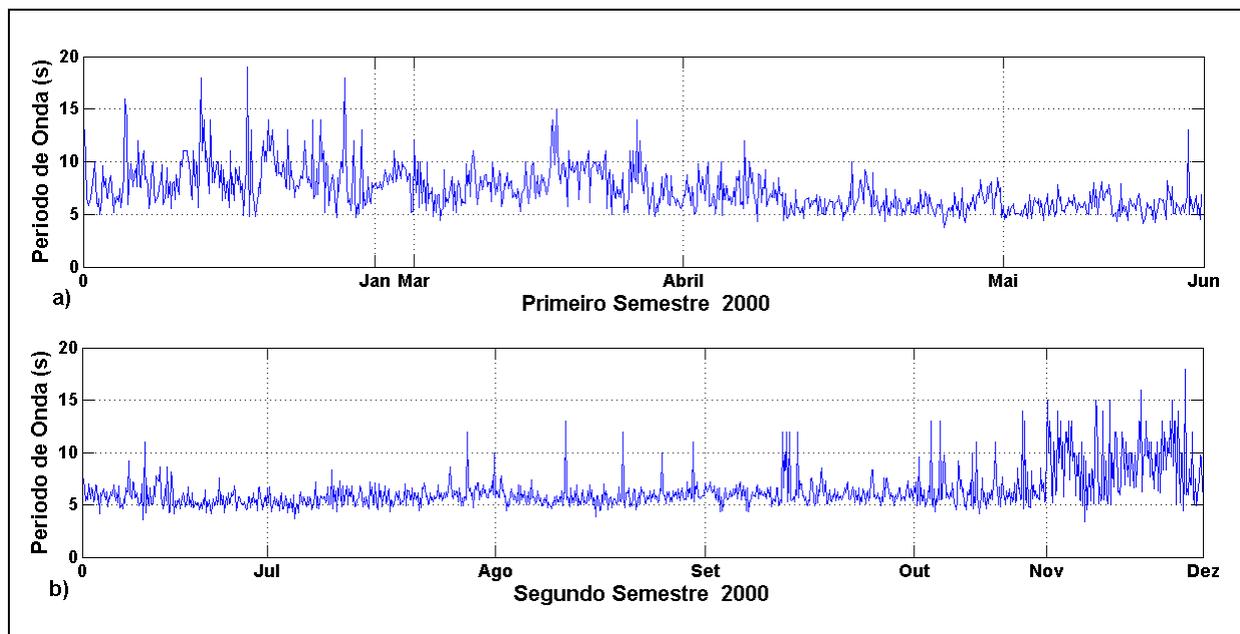


Figura 6 – Período de onda, T(s) do ano de 2000. a) Primeiro semestre de 2000 e b) Segundo semestre de 2000.

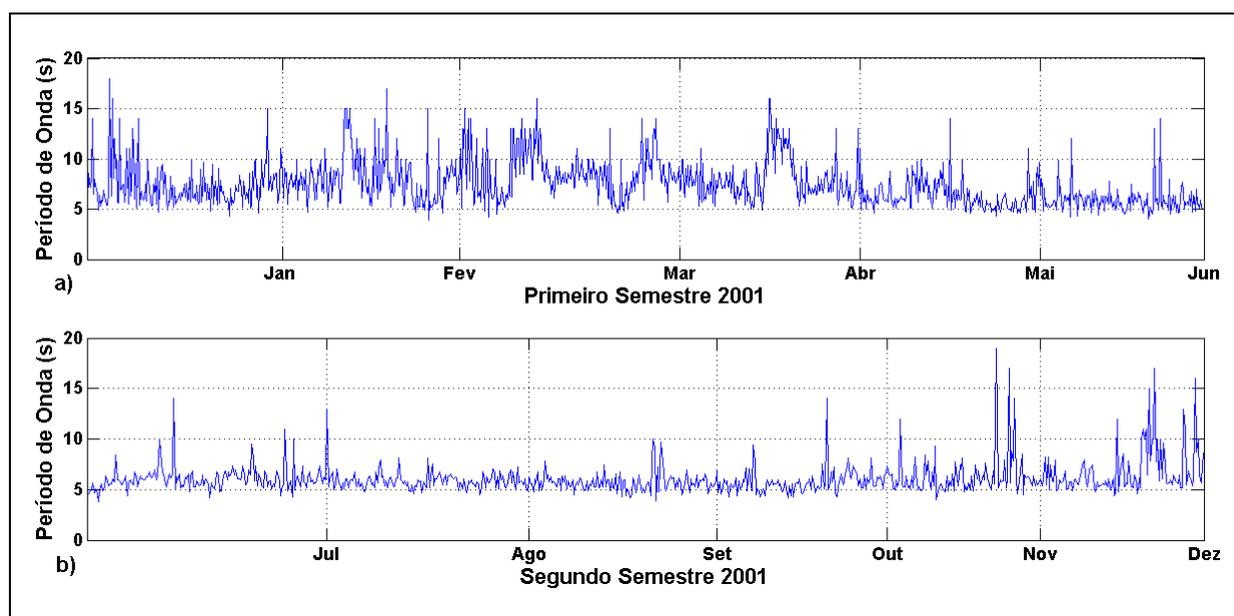


Figura 7 – Período de onda, T(s) do ano de 2001. a) Primeiro semestre de 2001 e b) Segundo semestre de 2001.

### Direção de Ondas

Dados históricos dos intervalos mais frequentes das direções de ondas se apresentaram entre os quadrantes de 40-60° durante os meses de março e abril de 1997, de janeiro a maio de 2000 e fevereiro a abril de 2001. Nos meses de junho a novembro os intervalos históricos anuais de direção foram localizados no quadrante de 100 a 120 graus, ondas preferencialmente de ESSE (Fig. 8).

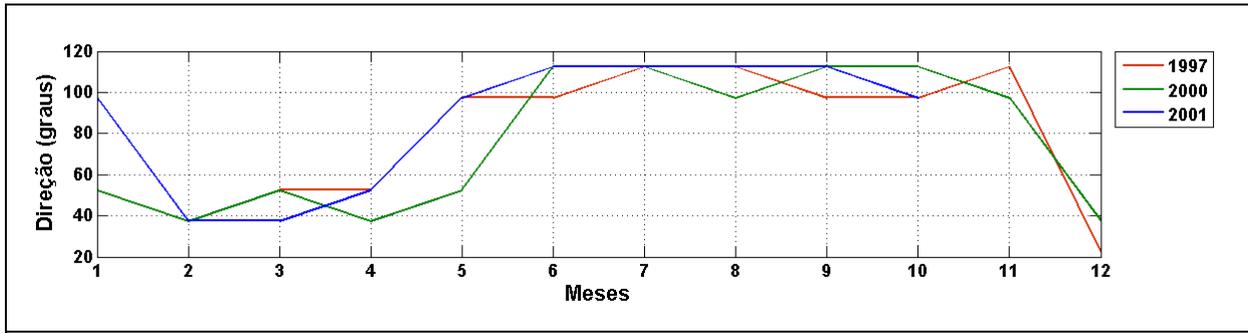


Figura 8 – Séries históricas anuais dos intervalos mais freqüentes de direção (graus), observado durante os anos de 1997, 2000 e 2001.

**Análise Estatística das Series Anuais de Ondas**

Através de análises estatísticas dos dados históricos (ano 1998, 2000 e 2001), foi possível relatar que a maior ocorrência de H<sub>máx</sub> de valores menor do que 2 m foram observadas no primeiro semestre dos anos e a ocorrência de ondas com valores maiores que 2 m foram observadas no segundo semestre. Para altura significativa, valores menores que 1,5 m ocorreram no primeiro semestre e maiores que 1,5 m no segundo semestre (Fig. 9 e 10).

O ano de 2001, quando comparado com os demais anos, apresentou as maiores médias de altura máxima e altura significativa.

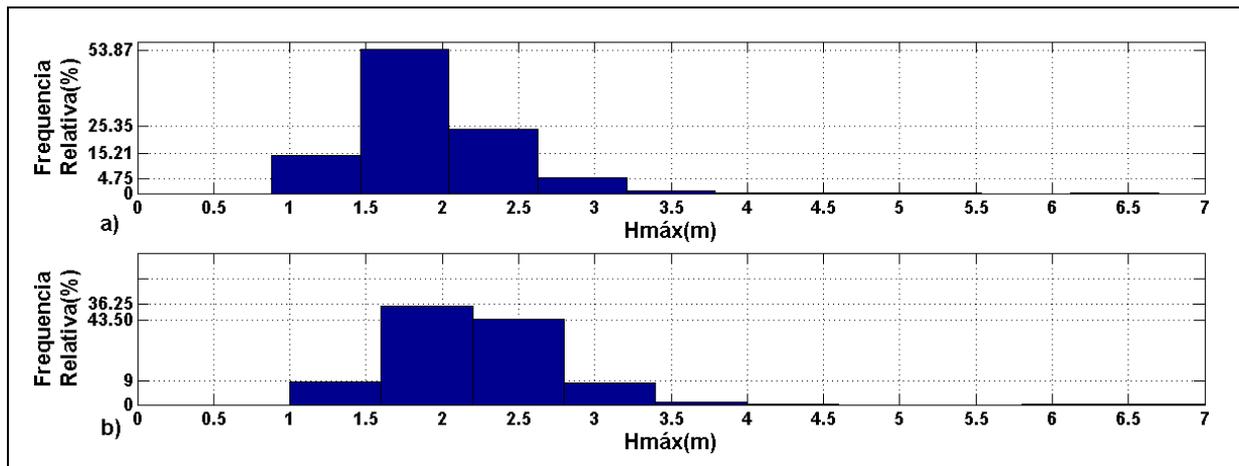


Figura 9 – Histograma da altura máxima de onda, H<sub>máx</sub>(m), observada no Porto de Pecém durante os anos de 1997, 2000 e 2001. a) Primeiro semestre e b) Segundo semestre.

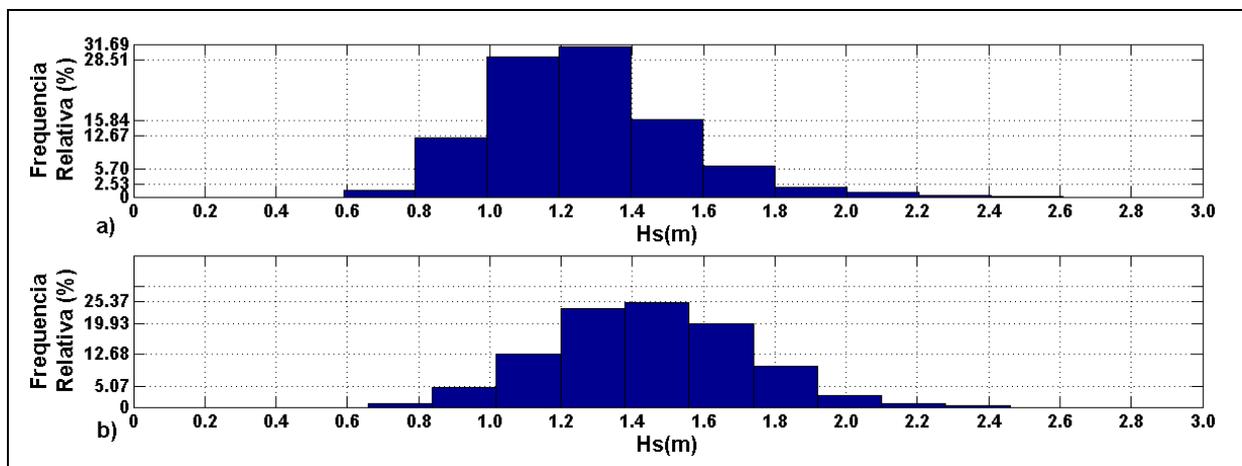
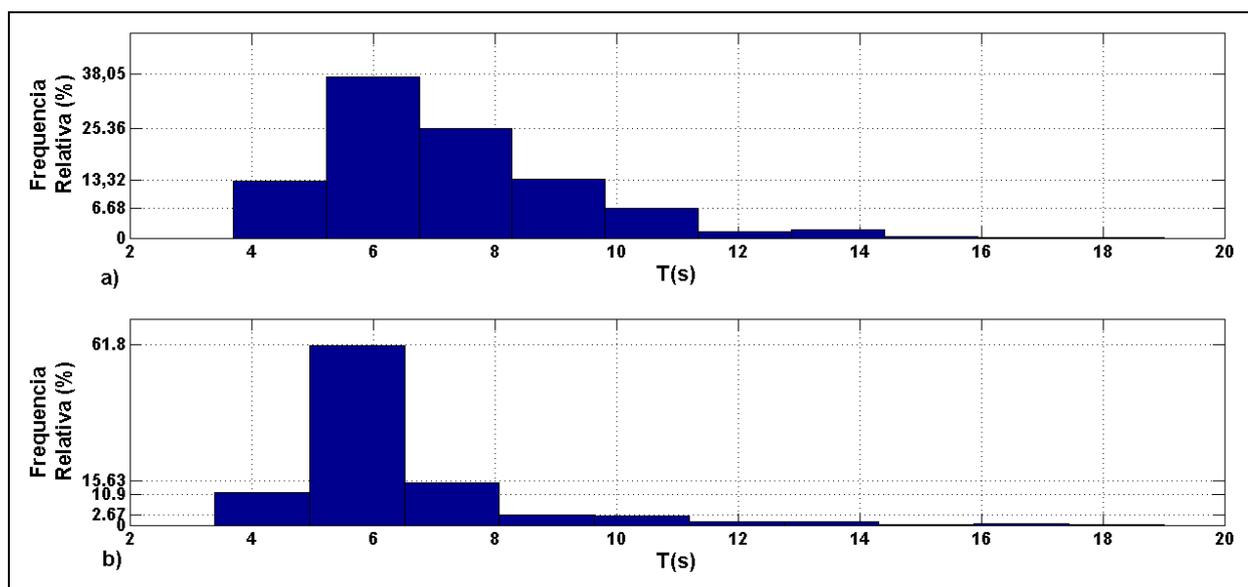


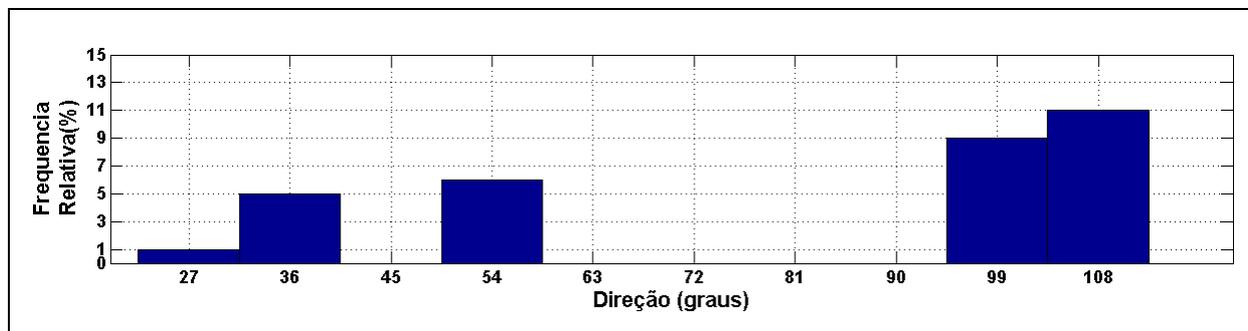
Figura 10 – Histograma da altura significativa de onda, H<sub>s</sub>(m), observada no Porto de Pecém durante os anos de 1997, 2000 e 2001. a) Primeiro semestre e b) Segundo semestre.

No histograma histórico de freqüência relativa observou-se que aproximadamente 20 % dos períodos de pico estão compreendidos entre 10 a 20 s, indicando ondas do tipo swell. Ocorre um período de 0,7% entre 17 e 20 s, porém, a maioria dos períodos de pico (> 80 %), ocorreu entre 4 e 9 s, relacionados com ondas do tipo sea (Fig. 11).



**Figura 11** – Histograma do período de onda  $T_{peak}$  (s), observada no Porto de Pecém durante os anos de 1997, 2000 e 2001. a) Primeiro semestre e b) Segundo semestre.

Análise estatística mostrada abaixo no histograma de freqüência relativa de ondas geradas a partir de dados históricos de ondas durante os anos de 1997 (a partir de março), 2000 e 2001, coletados no porto do Pecém. Observou-se que 62,5% das direções de ondas se apresentaram no quadrante de 90-120°, com cerca de 18,75% no quadrante de 45-60° e 18,75% no quadrante de 20-40° (Fig. 12).

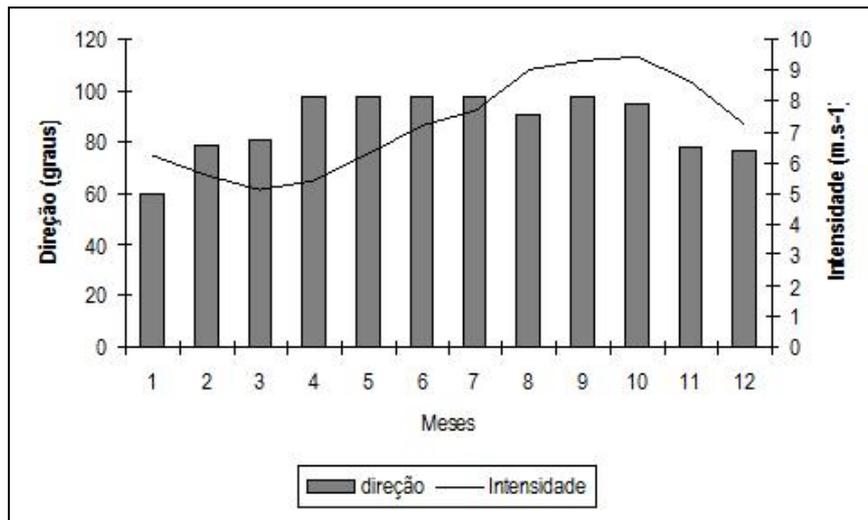


**Figura 12** - Histograma de direção de onda (graus) observada no porto de Pecém no intervalo anual 1997 (a partir de março), 2000 e 2001.

## DISCUSSÃO

A variação sazonal de ondas do tipo vagas na região costeira do Ceará, está fortemente relacionada com a direção e intensidade dos ventos. As séries históricas anuais de ventos coletados pelo anemômetro na região portuária do Pecém se apresentaram com valores mais baixos ao longo dos meses de janeiro a junho, com pico mínimo de  $5,1 \text{ m.s}^{-1}$  no mês de março. Os maiores valores ocorreram entre agosto e novembro, com valor máximo em média em torno de  $9,4 \text{ m.s}^{-1}$  no mês de outubro (Fig. 13). Segundo Maia (1998) a velocidade média anual dos ventos na costa do Ceará oscila de  $2,5 - 4,5 \text{ m.s}^{-1}$ , com maiores valores nos meses de agosto e setembro e mínimos valores de março - abril.

As direções dos ventos na região de estudo se apresentaram associados à intensidade dos ventos, fluindo de nordeste com direção quase perpendicular à costa durante os meses janeiro a maio, associados ao período de menor intensidade de ventos e ventos de sudeste nos meses de agosto a outubro, atingindo valores médios em torno de  $9 \text{ m.s}^{-1}$  neste período (Fig. 13).



**Figura 13.** Média mensal de direção e intensidade dos ventos registrados pelo anemômetro durante o ano de 2001, próximo à costa do Ceará.

Neste caso tanto a direção como a intensidade dos ventos mostra se coerentes com os valores de intensidade e direção de ondas. As maiores alturas de ondas foram observadas no segundo semestre do ano, associado a maior intensidade do vento e os menores valores de ondas no primeiro semestre do ano, associado a menor intensidade dos ventos.

Análises das séries históricas de ondas mostram que estas se apresentaram preferencialmente no quadrante de 40-60° durante os meses de janeiro a abril, mostrando uma boa correlação com os ventos alísios de nordeste registrado durante este período do ano. Nos meses de junho a novembro os intervalos históricos anuais de direção foram localizados no quadrante de 100 a 120 graus, ondas preferencialmente de ESSE, associados aos alísios de sudeste (Fig. 8).

A costa nordestina devido a sua localização geográfica e suscetível a receber ondas do tipo Marulhos ou swell, freqüentemente causadoras de naufrágios e ressacas. Um caso conhecido é o que ocorreu em março de 2001, no qual trouxe prejuízos a cidades litorâneas do Ceará, durante este período um ciclone extratropical se desenvolveu e se intensificou no Atlântico Norte, onde ocorreu a propagação de ondas com período de pico  $\geq 10$  segundos atingindo a costa do Ceará (Fig. 7). Diagrama de período de pico de ondas mostra que durante o primeiro semestre do ano são mais susceptíveis ondas do tipo Swell, nos quais mostram os T(s) atingindo valores acima de 10 segundo.

### CONCLUSÃO

Análises das séries históricas anuais e interanuais de ondas coletados pelo ondógrafo permitiram caracterizar os tipos de ondas que atingem o litoral do Ceará.

Essas análises permitiram afirmar que os menores valores de altura máxima de onda ( $H_{m\acute{a}x}$ ) e altura significativa de onda ( $H_s$ ) foram registrados no primeiro semestre dos anos, com direções preferencialmente de 40°-60°, durante os meses de janeiro a abril. Sendo que os maiores valores de onda foram registrados no segundo semestre dos anos, com direções localizadas no quadrante de 100 a 120 graus, chegando a atingir altura de ondas maiores que 4 metros. Sendo que essas direções e alturas de ondas estão diretamente relacionadas à posição e intensidade dos ventos alísios.

Registros históricos mostram também a presença de ondas do tipo swell atingindo o litoral Cearense, com período de pico maior que 10 segundos, sendo mais freqüentes nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril. Este tipo de onda é freqüentemente observado na costa do Ceará, decorrente de fenômenos meteorológicos extratropicais como é o caso de ciclones extratropicais que devido sua forte intensidade, acabam gerando ondas que atingem o litoral do Ceará, sendo favorecida pela sua posição geográfica.

### AGRADECIMENTOS

A Ceará Portos e ao Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH) pela disponibilidade dos dados de ondas registrados no Terminal Portuário do Pecém (CE). E ao CNPq (Projeto MC-ONDA/NE, processo 558139/2009-4) pela concessão financeira de bolsa que ajudou na execução do presente artigo.

## REFERÊNCIAS

SILVA, A.C. **An analysis of water properties in the western tropical Atlantic using observed data and numerical model results**. Recife, 2006. 156f. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Departamento de Oceanografia. Universidade Federal de Pernambuco.

HASTENRATH, S. Climate and circulation of the tropics. **Dynamics of Atmospheres and Oceans**, Dordrecht, Vol. 12, n.1, p.312, 1985.

INNOCENTINI, V.; ARANTES, F.O. ; FERREIRA, R.J. ; MICHELETO, R.G. A agitação marítima no litoral nordestino do Brasil associada aos distúrbios africanos de leste. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, Vol. 20, n.3, p. 367-374, 2005.

INNOCENTINI, V.; ARANTES, F.O. ; PRADO, S.C.C. Modelo de ondas aplicado ao caso 5-8 de maio de 2001. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, vol. 18, n. 1, p. 97-104, 2003.

MAIA, L.P. 1998. **Procesos Costeros y Balance Sedimentario a lo Largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicaciones Para Una Gestión Adecuada de la Zona Litoral**. Barcelona, 1998. 260f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Departamento de Ecologia. Universidade de Barcelona.

MELO, E.; ALVES, J.H.G.M. ; JORDEN, V. ; ZAGO, F. ; DIAS, W.S.S. Instrumental Confirmation Of The Arrival Of North Atlantic Swell To The Ceará Coast. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PORT AND COASTAL ENGINEERING IN DEVELOPING COUNTRIES, 4, 1995, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: 1995. p.1984-1996.