

A AGITAÇÃO MARÍTIMA NO LITORAL NORDESTE DO BRASIL ASSOCIADA AOS DISTÚRBIOS AFRICANOS DE LESTE

VALDIR INNOCENTINI, FERNANDO OLIVEIRA ARANTES,
RAQUEL JOHANSSON FERREIRA e ROBERTA GOULART MICHELETO

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 – 12201- 970 – São José dos Campos
E-mail: valdir@cptec.inpe.br

Recebido Agosto 2004 - Aceito Março 2005

RESUMO

Neste trabalho foi analisado o regime de ondas ao largo do litoral do nordeste brasileiro imposto pelos distúrbios atmosféricos africanos de leste. Foram utilizados os campos de vento produzidos pelo modelo atmosférico GFS do NCEP e as simulações de agitação marítima do modelo WAVEWATCH no período de fevereiro de 1997 a janeiro de 2004. A análise dos resultados revelou que durante os meses de julho, agosto e setembro os ventos de leste intensificam-se na região onde ocorrem os distúrbios, isto é, ao longo do cinturão definido pelas latitudes 5°N e 20°N. Casos extremos com ventos acima de 18 m/s e ondas com altura significativa acima de 4 m ao longo do cinturão foram selecionados. Verificou-se que, embora os ventos tenham intensidade suficiente para gerarem altas ondas, a pista é pequena e com rápido deslocamento em direção oeste. Estas características contribuem para reduzir a transferência de energia do vento para a superfície do oceano. A agitação marítima provocada pelos distúrbios de leste que chega ao litoral do nordeste brasileiro é muito pequena quando comparada à agitação marítima dominante produzida pelos ventos alísios, e por este motivo não interfere no regime de ondas local.

Palavras-chave: Ondas africanas de leste; nordeste do Brasil; regime de ondas na superfície do mar.

ABSTRACT: THE INCIDENT OCEAN WAVES IN THE NORTHEASTERN BRAZILIAN COAST ASSOCIATED WITH EASTERN AFRICAN ATMOSPHERIC DISTURBANCES

In this research the sea surface wave regime incident offshore the Northeast Brazilian littoral imposed by the surface meteorological easterly African waves was analyzed. The wind fields produced by the NCEP-GFS atmospheric model and the wave sea surface generated by the wave model WAVEWATCH for the period from February 1997 to January 2004 were employed in the study. The results revealed that during July, August, and September the surface winds are stronger along the belt defined by the latitudes 5°N and 20°N were the easterly African disturbances developed. Events with wind speed above 18 m/s and significant wave height greater than 4 m along the belt were selected. We obtained that, although the winds have intensity strong enough to generate high waves, the extension and duration of the fetch, responsible by the sea surface waves, are reduced due to its rapid westwards displacement. The swell incident into the Northeast Brazilian littoral from these selected events are smaller in comparison with the significant wave heights produced by the dominant trade winds and do not interfere in its local wave regime.

Keywords: Easterly African Waves; Northeast Brazil; Sea Surface Wave Regime.

1. INTRODUÇÃO

Parte do litoral da região Nordeste do Brasil, devido à sua configuração geográfica, fica exposta diretamente aos ventos alísios ao norte e ao sul da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical). Extensas e duradouras pistas produzem agitação marítima caracterizada por ondas locais, definidas como vagas ou wind-sea, propagando-se predominantemente de leste para o litoral. Outra parte da costa nordestina fica voltada para o Hemisfério Norte, e é suscetível a receber ondas geradas em áreas distantes do Atlântico Norte. Estas ondas são definidas por marulhos ou swell.

Entre os eventos meteorológicos no Atlântico Norte geradores de ondas que podem atingir o litoral do Brasil estão

os ciclones extratropicais e os distúrbios africanos de leste. A distância aproximada entre o litoral nordestino e a região por onde ocorrem estes distúrbios é de 3 a 5 mil km. Comparado-se às pistas que acompanham os ciclones extratropicais, as pistas dos distúrbios de leste possuem intensidade semelhante, mas extensão e duração muito menores. O objetivo principal deste artigo é quantificar a influência destes distúrbios na agitação marítima que atinge o litoral do Brasil.

Estes distúrbios atmosféricos, também conhecidos por ondas africanas e ondas de leste, são amplamente estudados por estarem acompanhados por depressões e tempestades tropicais, que muitas vezes se constituem na perturbação inicial que origina ciclones tropicais nos Oceanos Atlântico Norte e Pacífico Leste (Molinari et al. 1997).

O mecanismo dinâmico de formação destes distúrbios é de instabilidade barotrópica, ou seja, o valor da vorticidade potencial do fluxo médio inverte o sinal ao longo da direção meridional, satisfazendo o critério de instabilidade (Burpee 1972). Conforme o fluxo de leste dos ventos alísios ao norte da ZCIT se intensifica torna-se barotropicamente instável gerando uma série de vórtices. Avila e Pasch (1992) observaram 73 distúrbios cruzando a costa africana no período de maio a novembro de 1991, aproximadamente um a cada 3 dias. Cada distúrbio típico apresenta comprimento de onda em torno de 2500 km, período de 3 a 5 dias, e amplitude máxima no nível de 650 mb.

Estes distúrbios originam-se no norte da África, e propagam-se em direção oeste alcançando intensidade máxima entre os meses agosto e setembro. Próximo ao continente africano, antes de se tornarem ciclones tropicais, produzem pistas sobre o oceano com ventos intensos, tornando a superfície do mar bastante agitada por ondas de gravidade.

Neste artigo será examinada a agitação marítima gerada ao longo da faixa zonal definida pelo cinturão 5°N - 20°N, onde ocorrem os distúrbios atmosféricos de leste com propagação e impacto no regime de ondas ao largo do litoral Nordeste do Brasil. A principal questão a ser respondida é se esta agitação atinge o litoral brasileiro e com que intensidade. A análise será realizada utilizando-se campos de vento produzidos pelo modelo atmosférico GFS-NCEP e campos de ondas marítimas produzidos pelo modelo WAVEWATCH (doravante NWW3). Na seção 2 descreve-se os campos utilizados neste estudo e as características principais dos modelos numéricos. Na seção 3 apresenta-se uma análise dos campos do vento para mostrar a existência e propriedades dos ventos associados aos distúrbios de leste. A análise da agitação marítima gerada pelo modelo NWW3 é apresentada na seção 4, onde casos extremos são selecionados para serem estudados com maior detalhamento na seção 5. Finalmente, as principais conclusões são sumarizadas na seção 6.

2. DADOS E MODELOS UTILIZADOS

Os campos de vento de superfície (10 m acima da superfície do mar) utilizados neste trabalho foram produzidos pelas simulações numéricas do modelo atmosférico global GFS (previamente GFS/MRF) disponibilizados pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Os dados são relativos ao período de fevereiro de 1997 a janeiro de 2004, com resolução temporal de 3 horas e espacial de 1,25° e 1° nas direções meridional e zonal, respectivamente. Os campos de vento produzidos pela Reanálise do NCEP (Kalnay 1996), embora utilizem maior quantidade de observações que a análise GFS, estão disponíveis com resolução espacial de 2,5° em ambas direções, e resolução temporal de 6 horas, e por este motivo, optou-se por utilizar os ventos GFS. Recente estudo conduzido por Cruz (2004) confirmou as vantagens na utilização dos campos de vento do GFS com maior resolução em gerarem agitação marítima invés dos campos da Reanálise do NCEP.

A agitação marítima foi obtida através de simulações do modelo de ondas NWW3, desenvolvido no NCEP e opera-

cional desde 1997. Este modelo tem sido amplamente utilizado por diversos centros e universidades, tais como: Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center (FNMOC), Dirección de Hidrografía y Navegación do Peru (DHN), Centro Integrado de Meteorología e Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina (CLIMERH), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e Universidade de São Paulo (USP).

O NWW3, assim como o WAM (WAMDI Group 1988), é considerado o estado-da-arte em simulações operacionais de agitação marítima gerada pelo vento em águas profundas. Entre os processos físicos incorporados nestes modelos estão as interações não-lineares quádruplas necessárias para descrever apropriadamente a evolução do espectro em meios líquidos com profundidade maior de 100 m. Uma descrição completa sobre o modelo pode ser obtida em Tolman (2002).

As simulações do NWW3 foram realizadas em um domínio cobrindo todo globo, exceto em regiões com latitudes superiores a 78°, onde a superfície torna-se predominante sólida em ambos hemisférios (gelo ou continente). O domínio de integração do modelo foi representado por uma grade com espaçamento de 1° em ambas direções. Pontos da grade referentes a áreas com cobertura sólida maior que 30% foram considerados continentes. O modelo foi integrado com o espectro discretizado em 24 direções (resolução direcional de 15°) e 25 frequências, definidas pela relação

$$f_1 = 0,04118 \text{ Hz,}$$

$$f_{i+1} = f_i \times 1,1, \text{ para } i=2, 3, \dots, 25.$$

Estas frequências cobrem períodos de 2,5 s a 24,3 s. O campo de vento é interpolado para o domínio do modelo de ondas através da interpolação bi-cúbica.

3. ANÁLISE DOS CAMPOS DE VENTO

Em baixas latitudes os campos dos ventos de superfície sobre o Oceano Atlântico são constituídos por dois anticiclones semi-permanentes, um no Atlântico Norte e outro no Atlântico Sul, separados por uma região com ventos calmos onde ocorre a ZCIT. Em altas latitudes os ventos de superfície acompanham os ciclones e anticiclones extratropicais migratórios que se deslocam em direção leste. Com a finalidade de capturar somente os eventos com maior impacto na geração de ondas, neste estudo serão considerados em cada ponto de grade apenas as ocorrências de ventos e de ondas no decil superior, isto é, as ocorrências entre as 10% mais intensas, salvo menção contrária. A escolha do valor 10% é arbitrária, e descarta casos de menor importância na geração de ondas.

A Fig. 1 apresenta a média do valor absoluto do decil superior do vento de superfície para o mês de (a) dezembro, (b) março, e (c) julho no período de fevereiro de 1997 a janeiro de 2004 estudado para o Atlântico entre as latitudes

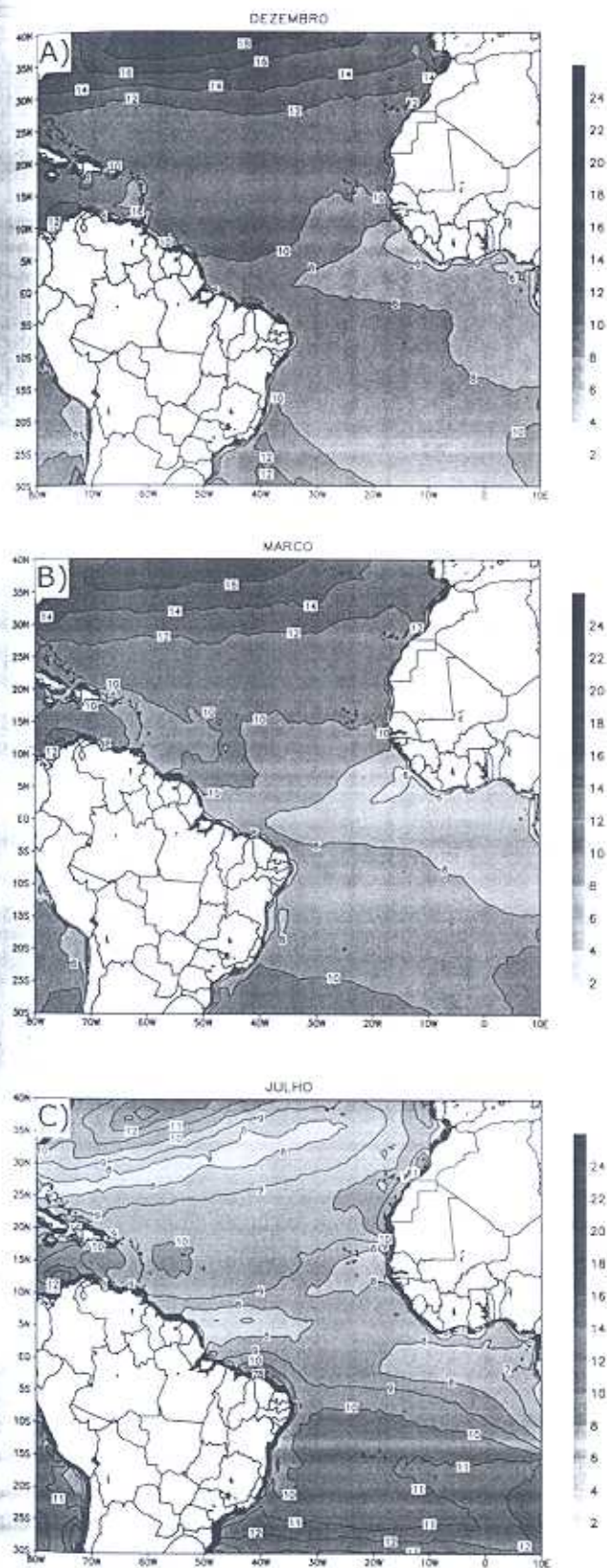


Figura 1: Média do valor absoluto do decil superior do vento de superfície no período de fevereiro de 1997 a janeiro de 2004 produzidos pelo modelo global GFS-NCEP, para a) dezembro, b) março, e c) julho.

30°S e 40°N. Em dezembro nota-se uma região com ventos fracos, abaixo de 8 m/s, no sector leste da linha equatorial. Nota-se também uma extensa região com ventos acima de 10 m/s no Hemisfério Norte se aproximando do equador. Ventos mais fortes no Hemisfério Norte avançando em direção sul é um comportamento esperado nesta época do ano em coerência com o deslocamento da ZCIT em direção sul. Em março, conforme Fig. 1b, regiões com ventos acima de 10 m/s perdem espaço no Hemisfério Norte, enquanto que ventos acima de 10 m/s ganham espaço no Hemisfério Sul, denunciando um deslocamento em direção norte da ZCIT. Entretanto, no mês de julho, conforme Fig. 1c, quando se esperava que a região com ventos abaixo de 8 m/s continuasse ganhando espaço no Hemisfério Norte, observa-se uma vasta região com ventos acima de 10 m/s ao longo da costa norte da África, e outra com ventos acima de 8 m/s ao largo do litoral africano próximo a latitude 5°N.

A ocorrência de ventos com maior energia cinética em regiões e períodos do ano onde havia expectativa de ventos calmos fica mais evidente com a Fig. 2, que representa o valor absoluto máximo do vento de superfície em cada ponto de grade para a) julho e b) setembro. Nos meses que antecedem julho, ocorrem poucos eventos com velocidades acima de 12 m/s ao longo da faixa definida pelas latitudes 0° e 15° N (figura omitida). Em julho (Fig. 2a) ocorrências de eventos com velocidade acima de 12 m/s são encontrados em vários pontos com latitudes próximas a 10°N e 15°N, mas em setembro (Fig. 2b) a presença de eventos com velocidades intensas é muito marcante. Nota-se ainda na Fig. 2b as ocorrências de velocidades intensas descrevendo trajetórias em direção noroeste, que são as trajetórias das tempestades tropicais e furacões.

A Fig. 3 apresenta as características da evolução mensal da ocorrência de ventos intensos na região. Nesta figura estão plotados valores mensais para um corte latitudinal ao longo da longitude 20°W, entre as latitudes 30°S e 30°N. A Fig. 3a apresenta as médias mensais do decil superior do vento absoluto e a Fig. 3b o valor máximo do vento. Em janeiro o menor valor da média (abaixo de 6,5 m/s) encontra-se na latitude 3°N, e nos meses seguintes o mínimo desloca-se em direção norte. Porém em julho surgem valores próximos a 9 m/s em torno da latitude 10°N interrompendo o deslocamento do valor mínimo em direção norte. Os 2 meses seguintes (agosto e setembro) continuam exibindo valores maiores próximo a esta latitude. Somente a partir de outubro o mínimo (7 m/s) é restabelecido em torno da latitude 9°N, que nos próximos meses desloca-se em direção sul acompanhando o movimento da ZCIT. O gráfico do valor máximo de vento (Fig. 3b) mostra o contorno de 10 m/s sendo superado de junho a novembro entre as latitudes 4°N e 17°N, em particular ultrapassando 17 m/s em agosto.

As perturbações na velocidade detectadas são as ondas africanas de leste, que em muitos casos, origina os ciclones tropicais. A grande diferença entre os valores médios e máximos de velocidade do vento obtida nesta região sugere que os casos extremos são de curta permanência em um determinado ponto, e por esta razão de pequeno impacto na média pontual.

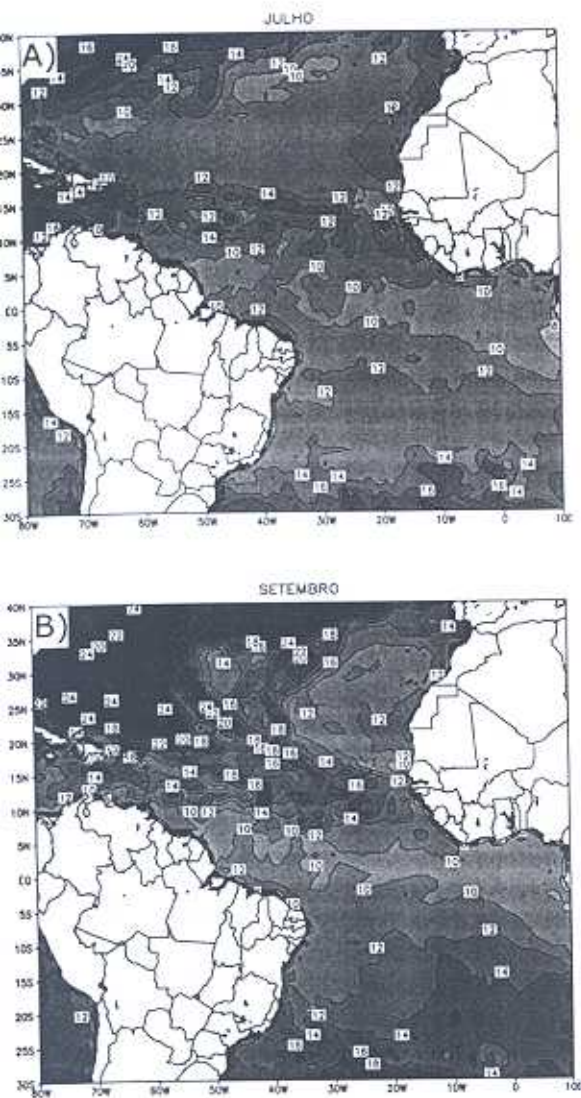


Figura 2: Vento de superfície máxima em cada ponto de grade no período de fevereiro de 1997 a janeiro de 2004, para em a) julho e b) setembro.

A seguir será analisada a formação de agitação marítima que acompanha estes ventos intensos.

4. ANÁLISE DO CAMPO DE ONDAS

A resposta das simulações de NWW3 forçadas pelos campos de vento de superfície está representada na Fig. 4, com a distribuição espacial da altura significativa máxima (HSmax) para os meses de (a) janeiro e (b) agosto no período de fevereiro de 1997 a janeiro de 2004. Em janeiro nota-se a penetração da isolinha de 3 m no Hemisfério Sul, e o deslocamento em direção sul de maiores valores no Hemisfério Norte. A forma das isolinhas, por exemplo a de 4 m, sugere que os valores máximos de HS propagam-se ao largo do setor leste do Atlântico Norte. Este comportamento reflete a agitação marítima gerada pelos ventos de superfície que acompanham os ciclones extratropicais, que são muito intensos nesta época do ano ao largo do sector nordeste do Atlântico Norte. No mês de agosto, con-

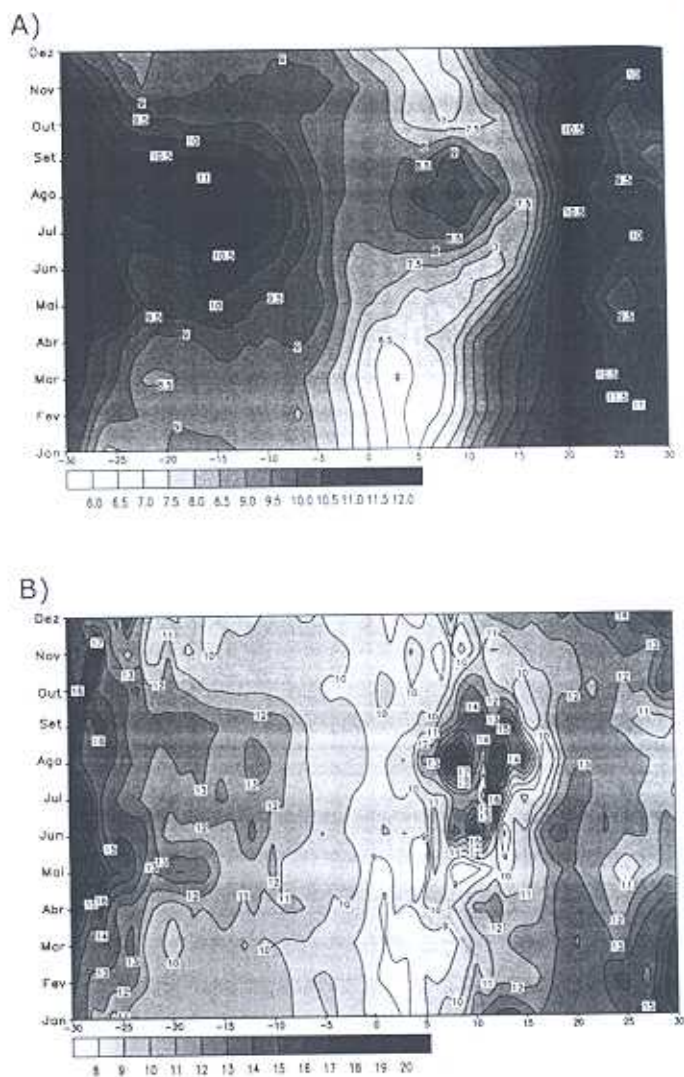


Figura 3: Evolução mensal do vento de superfície absoluto na longitude 20°W, ao longo das latitudes de 30°S a 30°N no período analisado: a) média do decil superior do vento, e b) máximo valor.

forme Fig. 4b, notam-se valores de HSmax acima de 3,5 m ao longo da latitude 10°N ao largo da costa africana, e trajetórias de valores de HSmax acima de 4 m em direção norte ao largo da costa da América do Norte, acompanhando as localizações dos ventos intensos apresentadas na Fig. 2.

A Fig. 5 apresenta HSmax mensal nos mesmos pontos onde foram computados os ventos na Fig. 3, isto é, entre as latitudes 30°S e 30°N, para a longitude 20°W. No período de outubro a maio, notam-se valores acima de 4 m no Hemisfério Norte próximo à linha equatorial em regiões onde os ventos eram fracos. Em particular, a invasão da isolinha de 3 m no Hemisfério Sul nos primeiros meses do ano contrasta com os ventos locais, que são fracos. Este comportamento sugere a presença de agitação marítima gerada nos ciclones extratropicais do Atlântico Norte, muito intensos neste período do ano. Na região e no período do ano onde a análise dos ventos revelou a presença das ondas africanas (isto é, entre 5°N e 20°N nos meses de julho, agosto e setembro),

ocorre HS_{max} acima de 3.5 m, em particular acima de 4 m no mês de agosto.

Estas discussões permitiram concluir que durante os meses de julho, agosto e setembro, os ventos e as ondas de superfície intensificam-se sobre o Atlântico Norte no cinturão de latitude $5^{\circ}N - 20^{\circ}N$. Resta-nos examinar se estes campos oferecem duração, intensidade e extensão suficientes para gerar agitação marítima com ondas propagando-se para a região nordeste do Brasil.

Através do estudo de valores médios de ventos e HS para o litoral do Nordeste torna-se difícil discernir se um determinado evento de ondas origina-se de vórtices extratropicais do Atlântico Norte, de pistas que acompanham os distúrbios africanos de leste, ou de ventos alísios. O uso das variáveis (i) direção de propagação e (ii) frequência de pico é importante na identificação da origem da agitação marítima.

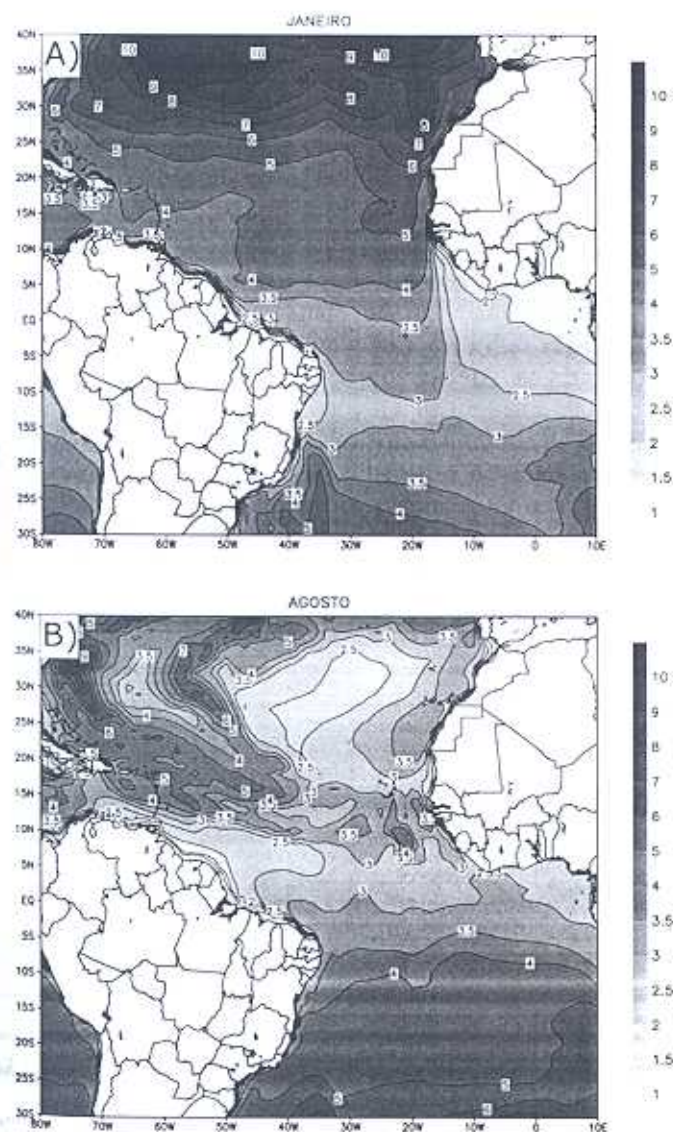


Figura 4: Distribuição espacial da altura significativa máxima em cada ponto de grade no período analisado, para a) janeiro e b) agosto.

A Fig. 6 apresenta a frequência por direção da altura significativa, para os pontos $0-40^{\circ}W$, $5^{\circ}S-30^{\circ}W$, e $17^{\circ}S-34^{\circ}W$, denotados respectivamente por A, B, e C, para os meses de (a) julho, (b) agosto e (c) setembro. Estas localizações foram escolhidas por estarem, cada uma delas, em posição susceptível de receber ondulações dos 3 tipos de eventos citados no parágrafo anterior. As intensidades foram agrupadas em 5 classes de acordo com o valor (em metros): $HS \leq 1$, $1 < HS \leq 2$, $2 < HS \leq 3$, $3 < HS \leq 4$, e $HS > 4$. As direções foram agrupadas em 12 classes, com a convenção de onde a onda se propaga. Por exemplo, ondas que se propagam-se de direções entre 15° à direita e 15° à esquerda da direção norte são classificadas por N.

O ponto que recebe maior quantidade de ondas com HS acima de 3 m é o ponto C, localizado ao largo do extremo sul do litoral nordestino, com direção de propagação variando entre S e E, indicando que foram geradas por eventos no Atlântico Sul. As maiores ondulações geradas no Hemisfério Norte chegam no ponto A propagando-se de NNE no mês de setembro, com HS abaixo de 2 m. O único ponto que registrou HS acima de 4 m foi o ponto C no mês de agosto, com propagação de SE.

A direção apresentada na Fig. 6 foi calculada de ondulações de várias direções distintas. Portanto, refere-se a uma direção média de HS, o que dificulta a identificação do tipo de evento associado. Para obter maior conhecimento, a direção e o valor do período de pico são parâmetros que podem ser considerados. A Fig. 7 apresenta o período de pico e sua respectiva direção de propagação para os mesmos pontos e meses apresentados na Fig. 6. Os pontos B e C recebem ondulações de S nos 3 meses analisados, com períodos acima de 12 segundos, denunciando ondas tipo marulho (swell). O ponto A, devido à sua posição geográfica, não recebe ondulação de S. Os 3 pontos recebem ondas entre NNE e N, sendo notável o mês de setembro, por registrar maior quantidade de períodos de pico com valores acima de 12s propagando-se de norte.

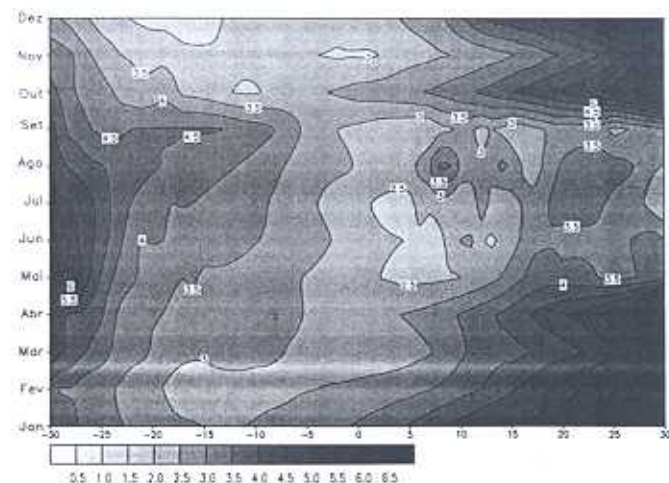


Figura 5: Evolução mensal da altura significativa máxima no período analisado na longitude $20^{\circ}W$, ao longo da latitude $30^{\circ}S$ a $30^{\circ}N$.

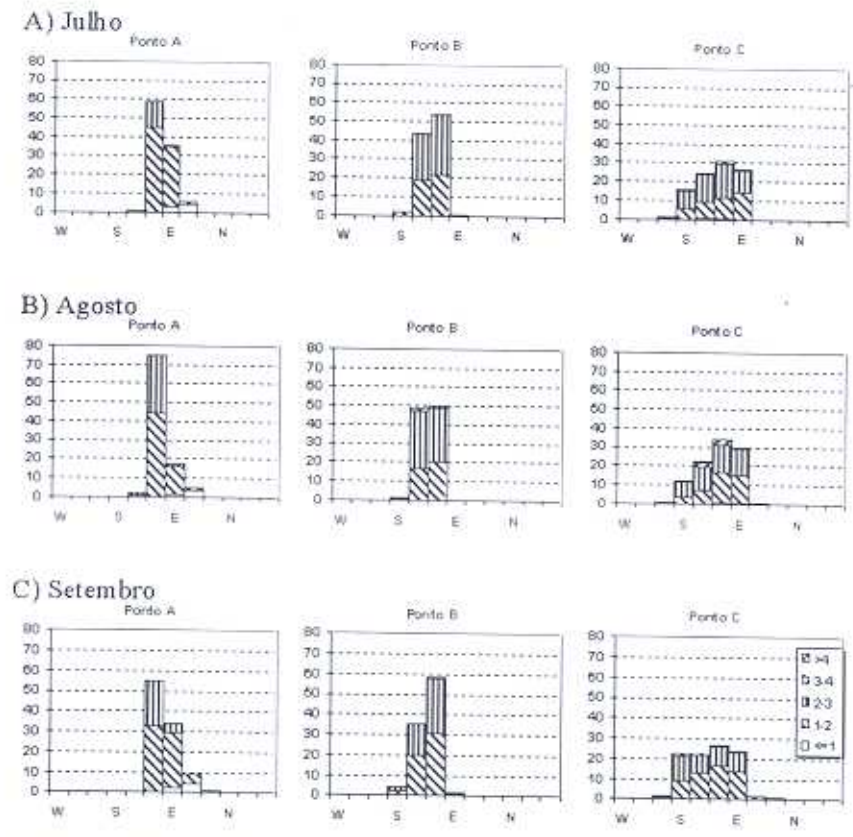


Figura 6: Freqüência por direção da altura significativa para os pontos 0-40°W, 5°S-30°W°, e 17°S-34°W, denotados por A, B, e C, respectivamente, no período analisado, para a) julho, b) agosto, e c) setembro.

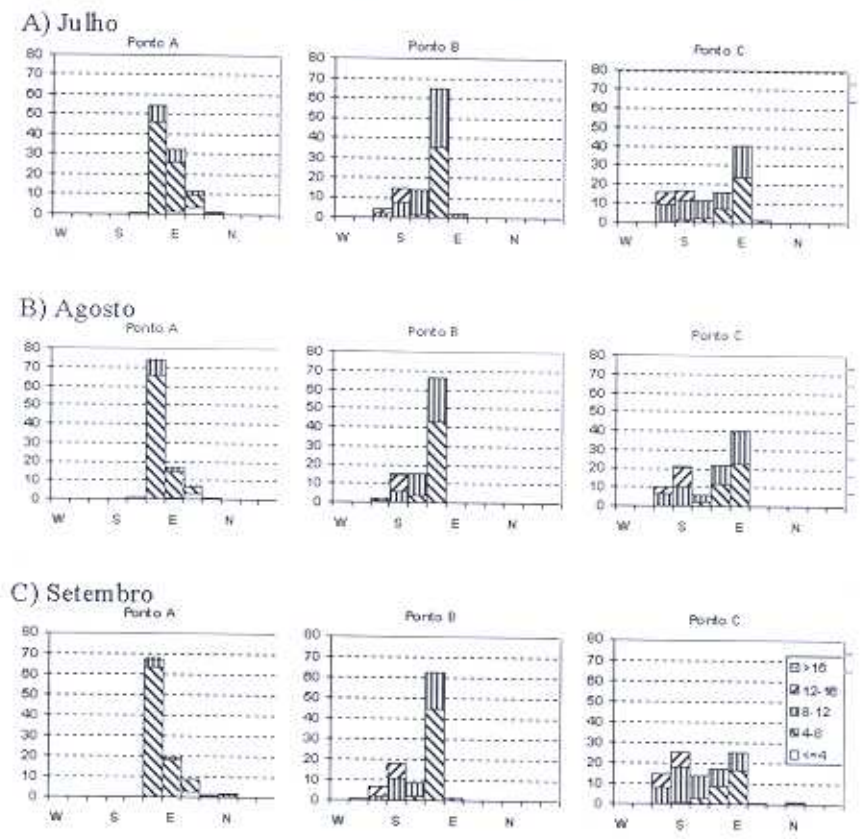


Figura 7: Idem à figura 6, mas para o período de pico.

5. ESTUDO DE CASOS SELECIONADOS

Desta análise torna-se evidente que a propagação de ondas com direção entre NNE e N que atinge o nordeste do Brasil é muito pequena tanto em número de ocorrências, como nos valores de HS. No entanto, deve-se observar que casos isolados e extremos não são facilmente detectados por esta forma de abordagem. Resta então estender o estudo a casos específicos que apresentem maiores ondulações ao longo do cinturão por onde se propagam as ondas africanas, e estudar como dissipam e propagam em direção ao litoral do Nordeste. Foram selecionados dois casos extremos que ocorreram ao longo da região por onde se propagam os distúrbios de leste, que serão analisados a seguir.

5.1. Caso 01 de setembro de 1997

Este caso foi detectado na Fig. 3b, quando os ventos próximos à latitude 8°N superaram 18 m/s no mês de agosto. Em 31 de agosto de 1997 00GMT, surgiu uma pequena depressão próximo a $8^{\circ}\text{N}-28^{\circ}\text{W}$ com ventos de 18 m/s concentrados em uma pequena região, com HS de 3 m (figuras omitidas). No dia 01 de setembro de 1997, a depressão deslocou-se para $12^{\circ}\text{N}-30^{\circ}\text{W}$ com HS apresentando valores acima de 4 m. O campo de vento de superfície para o dia seguinte (02 de setembro) 00GMT, apresentava uma região com intensidades de até 18 m/s próximo a $13^{\circ}\text{N}-34^{\circ}\text{W}$ e HS acima de 4 m sobre uma ampla área. Nos dias seguintes o deslocamento em direção oeste prosseguiu, e as pistas com ventos dirigidos para oeste configuraram uma situação pouco favorável à propagação de ondas para o nordeste do Brasil.

Para acompanhar a propagação de energia foram plotados os espectros em vários pontos entre a região dos ventos máximos e o litoral nordeste do Brasil. O espectro para o ponto $4^{\circ}\text{S} - 35^{\circ}\text{W}$ em 04 de setembro de 1997 às 06 GMT, representado na Fig. 8, ilustra o instante em este ponto foi atingido por máxima energia. A convenção de direção

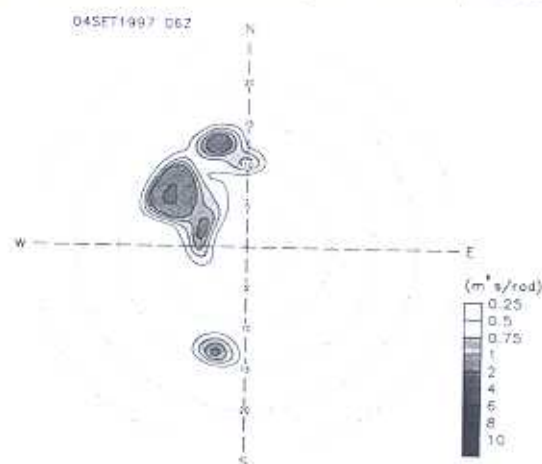


Figura 8: Espectro de energia no ponto $4^{\circ}\text{S}-35^{\circ}\text{W}$ para o dia 04 de setembro de 1997 06 GMT. Os círculos indicam o período em segundos. A convenção para a direção de propagação é das bordas para o centro.

adotada neste gráfico é do centro para as bordas. Assim, examinando a figura, o período de pico é de 11 s propagando-se de SE. Nota-se uma agitação marítima bem definida com período de 13 s chegando de direção entre N e NNW, proveniente dos distúrbios africanos é bem pequena quando comparada à energia de outras direções (de SE e ESE).

5.2. Caso setembro de 1998

No mês de setembro de 1998, vários perturbações ou tempestades tropicais surgiram uma após a outra ao longo do cinturão dos distúrbios de leste. Foram observadas nas seguintes datas: 12/set, 18/set, 24/set, 29/set, e 03/out (figuras omitidas). Todas apresentaram valores de HS acima de 3 m concentrados em pequenas regiões. A Fig. 9 ilustra HS para o dia 19 de setembro 00 GMT. Note que além da região com HS acima de 3 m em $15^{\circ}\text{N}-42^{\circ}\text{W}$ provocada pelas ondas africanas, há uma agitação marítima provocada por ciclones extratropicais muito intensa em altas latitudes propagando-se com direção entre S e SE, margeando o litoral norte do continente africano.

A partir do dia 17 o espectro para o ponto $4^{\circ}\text{S} - 35^{\circ}\text{W}$ mostra alguma propagação com período próximo a 11 s de norte (figura omitida). No dia 25 de setembro, conforme Fig. 10, o período de pico é de 15 s com propagação de norte. Entretanto, uma análise da distribuição espacial do período de pico a partir do dia 15 de setembro para todo Atlântico Norte, revelou que a energia propagando-se de N com período acima de 12 s que atingiu este ponto originou-se de ciclones extratropicais que se tornaram muito intensos em latitudes próximo a 50°N nos 15 dias anteriores (figuras omitidas).

Casos de marulhos gerados por ciclones extratropicais no Atlântico Norte atingindo o litoral norte e nordeste do Brasil já foram reportados anteriormente. Por exemplo, Innocentini et al. (2000) estudaram, através de modelos numéricos, um caso de um intenso ciclone extratropical que causou grande impacto com efeitos erosivos em várias regiões do litoral brasileiro, em especial e no arquipélago de São Pedro e São Paulo.

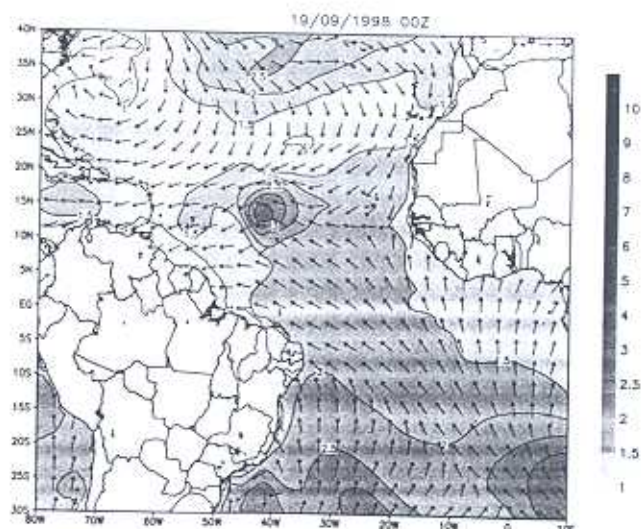


Figura 9: Altura significativa para o dia 19 de setembro 1998 00 GMT.

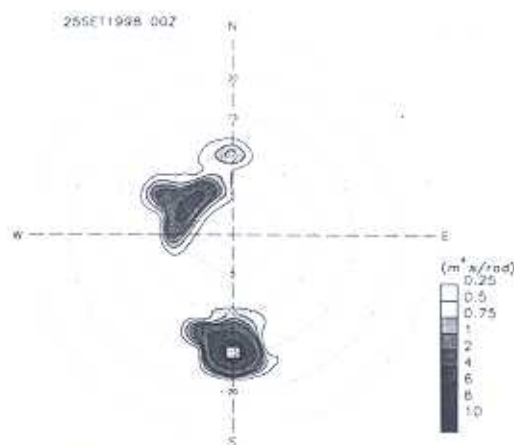


Figura 10: Espectro no ponto 7°S-34°W para o dia 25 de setembro de 1998.

6. CONCLUSÕES

O litoral do nordeste brasileiro localiza-se em latitudes expostas a um regime de ondas de superfície do mar constituído por ondas locais geradas pelos ventos alísios e por marulhos formados por eventos meteorológicos distantes, tais como ciclones extratropicais em ambos hemisférios e ondas atmosféricas africanas de leste.

Os ventos alísios acompanham os anticiclones semi-permanentes do Atlântico Norte e Atlântico Sul, e experimentam um deslocamento meridional de acordo com o ciclo anual do sol, impondo uma variação sazonal no regime de ondas no litoral nordestino. Os ciclones extratropicais no Hemisfério Sul tornam-se mais intensos no inverno austral, gerando agitação marítima intensa que atinge o sul do litoral nordestino. No inverno boreal, os ciclones extratropicais do Hemisfério Norte geram ondas que chegam ao setor do litoral nordestino voltado para o norte.

Embora não seja objeto de estudo deste artigo, deve-se mencionar que o regime de ventos é determinado não apenas pelo deslocamento e migração de eventos meteorológicos, mas também por fatores que contribuem para o fortalecimento e enfraquecimento destes eventos, tais como correntes oceânicas e interações dos alísios com frentes frias provenientes do sul.

As ondas atmosféricas africanas de leste também são responsáveis pela formação de pistas no campo de vento de superfície ao longo do cinturão de latitudes 5°N a 15°N durante os meses de julho, agosto e setembro. Este trabalho enfoca o regime de ondas ao longo deste cinturão e analisa se a agitação marítima gerada incide sobre o nordeste do Brasil. O estudo é realizado através de campos de ventos e de ondas produzidos por modelos numéricos globais para o período de fevereiro de 1997 a janeiro de 2004.

Os ventos no setor leste do cinturão algumas vezes atingem velocidades de 18 m/s gerando ondas com altura significativa acima de 4 m, mas com extensão e duração muito pequenas quando comparados com outros eventos meteorológicos, tais como ciclones e anticiclones extratropicais. No setor oeste do cinturão, os distúrbios muitas vezes originam ciclones tropicais, com ventos muito mais intensos que no setor leste. Ainda há casos em

que ciclones extratropicais no Atlântico Norte são alimentando por ciclones tropicais que se deslocam em direção norte ao longo da costa leste do continente norte-americano, e geram intensa agitação marítima que atravessa todo Atlântico Norte e atinge o seto do litoral nordestino voltado para o Hemisfério Norte.

Na análise conduzida neste trabalho não foi possível detectar alguma influência das ondas de superfície do mar provocadas por distúrbios africanos de leste no regime de ondas do nordeste. Estudo detalhado de casos intensos selecionados revelou que o marulho de norte que atinge o litoral nordestino provenientes dos distúrbios africanos é muito fraco, e não se impõe à ondulação local de leste e sudeste provocada pelos ventos alísios ou pelos vórtices do Atlântico Sul. Um caso de ondulação incidente de norte com período de pico acima de 15 segundos teve intensidade superior à ondulação local, mas uma análise detalhada revelou que esta agitação foi provocada por intensos ciclones extratropicais formados em altas latitudes no Atlântico Norte.

Sugere-se que os resultados obtidos neste artigo com a análise dos ventos AVN e modelo WWATCH sejam confrontados (i) com as observações do espectro colhidas em locais próximos ao litoral do nordeste, e (ii) com os dados de vento de satélites, no cinturão dos distúrbios africanos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AVILA, L. e R. J. PASCH, 1992: Atlantic tropical systems c 1991. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 2688-2696.
- BURPEE, R. W., 1972: The origin and structure of easterly waves in the lower troposphere. *J. Atmos. Sci.*, 29, 77-90.
- INNOCENTINI, V., S. C. S. CUNHA PRADO, C. S. PEREIRA, F. ARANTES, e I. N. BRANDÃO, 2000: Marulhos no litoral norte do Brasil gerados por furacões: caso de 24 de outubro de 1999. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. 1 - 20 de outubro de 2000. Rio de Janeiro.
- KALNAY, E., 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 77, 437-471.
- MARQUES DA CRUZ, L. M., 2004: Estudo comparativo de variações espaciais nas forçantes meteorológicas em um modelo de ondas de terceira geração no Oceano Atlântico Sul. Tese de Mestrado, Engenharia Civil, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 66 p.
- MOLINARI, J., D. KNIGHT, M. DICKINSON, D. VOLLARO, S. SKUBIS: 1997: Potential vorticity, easterly waves, and easterly Pacific tropical cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, 125, 2699-2708.
- TOLMAN, H. L., 2002: User manual and system documentation of WAVEWATCH - III version 2.22. MMAB contribution no. 222, Technical Note, NCEP-NOAA, 133p.
- WAMDI GROUP, 1988: The WAM model - a third generation ocean waves prediction model. *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1775-1810.