

Caracterização das Alturas de Onda no Atlântico Sul Ocidental Através da Altimetria TOPEX/POSEIDON

ALEXANDRE BRAGA COLI
MAURICIO MAGALHÃES MATA

FURG - Fundação Universidade do Rio Grande
Laboratório de Oceanografia Física - Departamento de Física
Caixa Postal 474, 96201-900 Rio Grande, RS, Brasil
{braga,mauricio}@calvin.ocfis.furg.br

Abstract: The TOPEX/POSEIDON altimeter data obtained during 1993 were used to investigate the spatial distribution of Significant Wave Height (SWH) in the Southwestern Atlantic Ocean. Only data from NASA altimeter Ku band (13.6 Ghz) were used due to better reliability of this instrument compared to CNES solid state altimeter (POSEIDON). The original data were verified and filtered in order to construct seasonal charts of SWH, which showed several mesoscale patterns. The small amplitude waves dominated the inshore, although the isolines of SWH were not parallel to the coast line. The larger ones were found offshore mainly in the southeastern portion of the study region, probably related to the Brazil-Malvinas Confluence. The highest values of SWH occurred during autumn and winter, reaching 3.6 m, while the lowest values were found during spring and summer (1.4 - 2.8 m).

Keywords: Significant Wave Height, Satellite Altimetry, TOPEX/POSEIDON, Southwestern Atlantic.

I. Introdução

Um dos aspectos mais interessantes da superfície do mar é a grande diversidade de formas e tamanhos das ondas. As ondas podem ser geradas localmente (vagas) ou advir de tempestades longínquas e assumir um aspecto mais ordenado e rítmico (ondulações ou *swell*). Neste caso, podem ocorrer mesmo quando não há vento suficiente para transferir a energia requerida para formá-las.

Os estudos relativos às ondas oceânicas possuem dois grandes enfoques básicos: incluindo a própria física do campo de ondas ou caracterizando o clima de ondas de uma região. Atualmente, estudos do clima de ondas são economicamente mais importantes, pois são requisitados na engenharia oceânica, no gerenciamento costeiro e nas operações marítimas. Os mapas de altura de onda são, provavelmente, os primeiros produtos que mostram as condições dinâmicas em regiões de interesse dos oceanos [Webb,1983]. No desenvolvimento de estruturas oceânicas, Guymer [1990] ressalta o grande valor de mapas de altura de onda baseados em larga escala temporal, pois um metro de incremento na média estimada implica em, por exemplo, um acréscimo cerca de 2 milhões de dólares no custo de uma plataforma *off-shore*.

Os métodos clássicos de medição de grandezas oceanográficas têm utilizado navios e outras plataformas ancoradas para realizar as observações *in*

situ. No entanto, somente nos últimos 40 anos que instrumentos capazes de obter estas medições têm sido usados. A continuidade temporal destes métodos e a habilidade em solucionar problemas sobre regiões localizadas são as grandes vantagens na sua utilização. Por outro lado, não permitem observações em conjunto ou simultâneas de áreas muito extensas, característica das medições remotas, sugerindo que as aplicações de dados de satélites são tão úteis e diversas como os obtidos por navios.

Para a oceanografia através do espaço, aspectos dinâmicos como altura de onda, elevação da superfície do mar e velocidade/direção do vento somente são possíveis através de sensores ativos de microondas, destacando-se o radar altimétrico, o escatômetro e o radar de abertura sintética (SAR). Na metade dos anos 60, a NASA (National Aeronautics and Space Administration) sugeriu pela primeira vez a altimetria a partir do espaço, mas somente com o lançamento da estação espacial Skylab, em 1973, é que o primeiro altímetro foi testado no espaço, porém não obteve estimativas úteis de alturas de onda. A primeira missão altimétrica foi do GEOS-3 (1975 a 1978), onde foi possível retirar as alturas de onda e comparar os resultados com dados medidos *in situ*. Lançado em 1978, o SEASAT foi o primeiro satélite realmente dedicado a estudos oceanográficos, comprovando a altimetria através do espaço pela quantidade de trabalhos publicados diante de tão pouca duração da missão -105 dias. O lançamento do GEOSAT em 1985,

marcou uma nova era na altimetria por satélites pois foi o primeiro satélite a obter dados globais e pluri-aneais, de 1986 a 1989.

Em 1992, o satélite altimétrico TOPEX/POSEIDON foi lançado com o objetivo principal de acompanhar, a partir do espaço, os padrões de circulação oceânica global. O satélite realiza 127 revoluções ao redor da Terra a 1335 km de altitude, no período de dez dias. As medições são realizadas aproximadamente a cada 6 Km ao longo da trajetória e o espaçamento equatorial entre as passadas é próximo de 315 km. Possui dois altímetros a bordo, um da NASA que opera nas bandas C (3.90 - 6.20 Ghz) e Ku (10.9 - 18.0 Ghz) e outro da CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), experimental, operando apenas na banda Ku. Como eles dividem a mesma antena e não podem operar simultaneamente, seguem um plano de partilha da antena com o intuito de obter a máxima cobertura requerida [AVISO, 1992].

Uma vez que a zona costeira e oceânica do Brasil assume grande extensão e decerto ainda não está completamente explorada, estudos através de sensoriamento remoto produzem boas estimativas dos aspectos dinâmicos regionais sem que necessariamente implique em extensos esforços amostrais. A fim de explorar a potencialidade dos dados altimétricos com relação à altura de onda, este trabalho analisa sazonalmente a distribuição espacial das alturas significativas de onda, obtidas pelo altímetro do TOPEX/POSEIDON em 1993, na porção sul do Atlântico Sul Ocidental.

II . Área de Estudo

Este trabalho compreende a província oceânica do Atlântico Sul Ocidental (acima da isóbata de 50 m), ao largo de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Uruguai, entre as latitudes de 25°S (Canaanéia-SP) e 45°S (Baía Camarones-Argentina), com longitude variando desde 30°W a 66°W (figura 1).

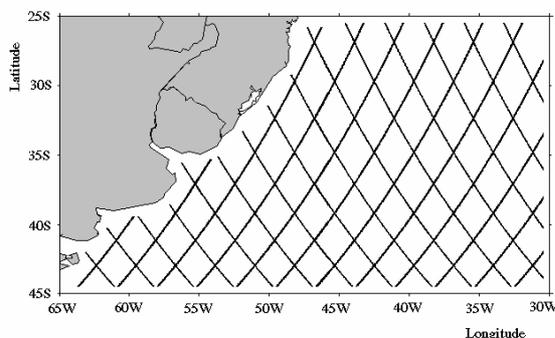


Figura 1. Área de estudo identificando o traçado do TOPEX/POSEIDON em um ciclo completo.

A oceanografia regional da porção oeste do Atlântico Sul é dominada pela atuação de dois sistemas de correntes: a Corrente do Brasil e a Corrente das Malvinas. A Corrente do Brasil representa o segmento oeste do giro anticiclônico do Atlântico Sul, rumando no sentido NE-SW segundo a linha da costa brasileira, transportando águas quentes e halinas resultantes da divisão da Corrente Sul-Equatorial nas proximidades do Cabo de São Roque (PB). A Corrente das Malvinas é um segmento da Corrente Circumpolar Antártica, formada após o estreito de Drake, carregando águas de origem subantártica, mais frias e com menor salinidade, rumando para norte paralelamente à costa argentina. O encontro destas duas massas d'água distintas gera uma região marcada por gradientes oceanográficos, como temperatura, salinidade, nutrientes e altura dinâmica, que é denominada Convergência Sub-Tropical. Nesta região as Correntes do Brasil e Malvinas desviam-se e adquirem um fluxo para leste, constituindo o ramo sul do grande giro do Atlântico Sul.

Durante o ano, dentre as direções predominantes de onda, sempre aparecem as ondas provenientes de NE e S. Na primavera e inverno, as ondas de E e SE atingem as frequências de ocorrência das NE e S, enquanto no outono e inverno são as ondas de N, W e SW que se magnificam. Os valores mais expressivos de altura média de onda pertencem às SO, S, O e N [Coli, 1994]. As marés astronômicas são mínimas na área de estudo, cuja amplitude média fica em torno de 0,5 m. Devido a este aspecto, somado às características climáticas da região, as variações do nível do mar produzidas por condições atmosféricas (marés meteorológicas), podem assumir grande importância e predominar sobre as componentes astronômicas.

Com relação à meteorologia, a região sofre influência do Anticiclone do Atlântico Sul, de caráter quase-permanente e semi-estacionário. Centrado aproximadamente em 25°S e 20°W, este cinturão de alta pressão possui variações ao longo das estações do ano, deslocando-se entre 30° de latitude e 10° de longitude, com maior vigor na costa americana quanto mais próximo do inverno [Tchernia,1980]. Considerando a região oceânica do Atlântico Sul, a porção sul do Anticiclone Sub-Tropical é a responsável pelos ventos de noroeste e oeste, os quais reforçam o fluxo oeste-leste entre 38°S e 50°S do grande giro do Atlântico Sul. A região mais costeira, no entanto, sofre influências do cinturão subtropical de tempestades, próximo ao Oceano Austral. Trata-se de uma área conflitiva entre massas de ar tropicais e polares, onde são gerados centros de baixa pressão que se desprendem desta região e tomam um caráter migratório em direção às latitudes mais baixas. O padrão de deslocamento destes centros, por vezes, causam gradientes de pressão e

formam as típicas frentes frias da região de estudo. A frequência média mensal das frentes frias que se formam na costa sul-brasileira, segundo Homsí [1978], é maior no inverno, com cinco frentes por mês de duração média de três dias, decrescendo para duas durante o verão com uma média de duração de cinco dias.

III. Metodologia

A altura significativa de onda é uma definição estatística que corresponde à média das maiores ondas, sendo estas um terço do total de ondas observadas. Há uma relação empírica entre a altura significativa de onda e o estado do mar. O altímetro possui a capacidade de reconhecer o estado do mar através da forma, amplitude e intensidade que o pulso é retroespalhado. Auxiliado por modelos matemáticos baseados na física óptica, o altímetro realiza medições telemétricas e converte-as nas alturas significativas de onda diretamente, não sendo necessário seu cálculo pelos métodos clássicos.

Os dados altimétricos do TOPEX/POSEIDON foram fornecidos pela AVISO (Archivage, Validation et Interprétation de données des Sattélites Océanographiques) na forma de *compact discs* contendo, cada unidade, dois ciclos de 10 dias de observações com todas as medições de ambos os altímetros em um formato comum. Os registros apresentam a posição geográfica, o tempo cronológico, correções ambientais e instrumentais e as medições dos sensores a bordo. Os registros já estão reduzidos em quantidades geofísicas, como a altura significativa de onda e o desvio padrão de sua estimação. As medições do TOPEX/POSEIDON possuem uma frequência de 10 Hz, com resolução de 2 a 7 Km (dependendo do estado do mar) e, para o caso das alturas significativas de onda, uma acurácia da ordem de centímetros.

Utilizou-se somente as medições realizadas pelo altímetro TOPEX, pois se mostraram mais abundantes e confiáveis que os dados provenientes do POSEIDON, devido ao próprio aspecto experimental do altímetro francês. As alturas significativas de onda foram retiradas dos CD's para a região oeste do Atlântico Sul (30°W a 66°W, 25°S a 45°S), no ano de 1993. A altura significativa de onda estimada através da banda **Ku** foi a escolhida para as análises pois as médias obtidas pela banda **C** apresentaram um maior desvio padrão, comparativamente com as mesmas da banda **Ku**.

O processamento dos dados para a confecção dos mapas de altura significativa seguiu a técnica sugerida por Nerem et al. [1994], que objetiva a redução da quantidade de dados a uma grade regular e a remoção

de ruídos indesejáveis segundo uma função de interpolação gaussiana. A função trabalha como uma média ponderada, considerando pontos adjacentes ao que se deseja estimar dentro de um determinado raio de procura, determinado para este trabalho o raio de 4,0 graus, com peso de 50% em 2,0 graus. Todos estes procedimentos utilizaram programas computacionais desenvolvidos especificamente para este estudo.

IV. Resultados e Discussão

Em geral, as ondas apresentam menores alturas quanto mais próximas da costa, com as maiores ondas situando-se geralmente na região ao norte do Rio Grande do Sul. Identifica-se pelos mapas que as ondas oceânicas não são distribuídas paralelamente à linha de costa e esta característica parece estar mais relacionada com a porção norte dos mapas e a porção próxima ao estuário do Rio de la Plata (figuras 2 e 3).

Dentre as alturas significativas de onda verificadas ao ano, os maiores valores médios ocorreram no outono e inverno, ultrapassando 3,6 m, cujos limites variaram entre 1,8 a 3,8 m. Segundo a distribuição global das médias de altura significativa de onda encontradas por Chelton *et al.* [1981], com dados do SEASAT no inverno de 1978, as alturas situaram-se entre 2 e 3 m. Distintamente, as menores ondas abrangem uma área maior no verão, com médias máximas de 3,0 m, mas com semelhante variação das alturas significativas, em torno de um metro (1,4 a 2,8 m). Utilizando o GEOSAT, Challenor *et al.* [1989] realizaram a distribuição global para o verão, encontrando para a região de estudo valores entre 1,5 e 2,5 m.

Baseado na uniformidade do campo de ondas, podemos dizer que o outono e primavera apresentaram uma dinâmica superficial comparativamente mais estável que o verão e inverno. A primavera foi a estação com o campo médio de ondas mais uniforme, que apresentou menores gradientes espaciais entre altas e baixas ondas, contrário do inverno, que apresentou uma dinâmica superficial bem mais instável. Estes padrões sazonais também foram encontrados a partir de mapas de altura média de ondas, realizados a partir de dados históricos de navios de 1946 a 1979 [Coli, 1994].

Uma feição bem evidenciada nos mapas altimétricos é que, tomadas as linhas de mesma altura de onda encontradas ao largo da Argentina, à medida que se caminha para as menores latitudes elas se distanciam mais e mais da costa. Este fato está relacionado com as regiões de menores ondas presentes na porção norte de Santa Catarina e ao aumento das alturas de onda na direção sudeste dos mapas. Esta característica parece estar associada à influência dos ventos locais e também à influência da Convergência Subtropical. Segundo

Robinson [1985], se um trem de ondas superficiais se move em direção a uma corrente oposta, sua progressão absoluta é diminuída, concentrando a energia de onda e resultando num aumento de amplitude do trem de ondas. Esta modificação no trem de ondas é mais notável no verão e inverno, estações onde a Corrente do Brasil e das Malvinas mais se intensificam, respectivamente. Townsend et al.[1981] demonstraram que o aumento máximo das alturas das ondas ao longo de um traçado do SEASAT, indo de encontro à Corrente do Golfo (Atlântico Norte), estava relacionado com a região onde ocorreram as maiores velocidades de corrente.

V. Conclusões

Os mapas derivados das observações altimétricas foram considerados como uma caracterização da dinâmica de ondas presente em 1993.

As ondas no inverno foram maiores que no verão, entretanto obteve-se maior amplitude de variação no verão. Os valores médios de alturas significativas mínimas e máximas foram 1,4 a 2,8 m no verão e 1,8 a 3,8 m no inverno.

Os gradientes espaciais entre as maiores e menores ondas foram mais acentuados no inverno e verão, indicando o aspecto transicional da primavera e outono tanto para as alturas de onda como para a uniformidade do campo médio de ondas.

O aumento das alturas na porção oceânica sudeste dos mapas parece estar relacionada tanto com a influência dos ventos locais como da interação entre a Convergência Sub-Tropical e os trens de onda.

A resolução temporal do TOPEX/POSEIDON, idealizada para os objetivos de acompanhar a circulação global, causa certos contratemplos nos estudos sobre ondas, pois a dinâmica do campo de ondas varia em escalas menores que os dez dias de repetição da órbita. Este aspecto impossibilita análises em áreas localizadas a partir de mapas de altura de onda, a menos que se tome cada traçado do satélite em particular. Por outro lado, a confecção de mapas de altura significativa de onda verificam a tendência média dos dados e identificam padrões de mesoescala, que podem vir a ser objeto de estudos mais detalhados. Desse modo, o altímetro demonstrou grande utilidade em regiões onde inexistem estudos específicos sobre o campo oceânico de ondas.

VI. Referências

- AVISO [1992]. AVISO Users Handbook: Merged TOPEX/POSEIDON Products, AVI-NT-02-101-CN, Edition 2, 200 pp. France.
- Challenor P.G., Foale S. & Webb D.J. [1989]. Seasonal Changes in Global Wave Climate Measured by GEOSAT Altimeter. *Int. J. Rem. Sens.*, vol. 11, pp. 2205-2213.
- Chelton D.B., Hussey K.J. & Parke M.E. [1981]. Global Satellite Measurements of Water Vapour, Wind Speed and Wave Height. *Nature*, 294, pp. 529-532.
- Coli, A.B. [1994]. Análise das Alturas de Onda ao Largo do Rio Grande do Sul (Dados Históricos e Altimétricos). *Monografia de Graduação para o Curso de Oceanologia*, 58 pp, Universidade do Rio Grande, R.S.
- Guymer T.H. [1990]. Measuring Ocean Waves With Altimeters and Synthetic Aperture Radars. pp. 65-97. *in Microwave Remote Sensing for Oceanographic and Marine Weather-Forecast Models*. Edited by R. A. Vaughan. 323 pp. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Homsí A. [1978]. Wave Climate in Some Zones Off the Brazilian Coast. *Coastal Engineering*, pp.117-133.
- Nerem R.S., Schrama E.J., Koblinsky C.J. & Beckley B.D. [1994]. A Preliminary Evaluation of Ocean Topography from the TOPEX/POSEIDON Mission. *J. Geophys. Res.*, 99 (C12), 24565-24583.
- Robinson I.S. [1985]. *Satellite Oceanography*. 1 ed. Edited by T. D. Allan. Ellis Horwood Series in Marine Science, 455 pp. Ellis Horwood Limited, U.K.
- Tchernia P. [1980]. *Descriptive Regional Oceanography*. 1 ed. *Pergamon Marine Series*, vol. 3, 254 pp. Pergamon Press, U.K.
- Townsend W.F., McGoogan J.T. & Walsh E.J. [1981]. Satellite Radar Altimeters - Present and Future Oceanographic Capabilities. pp. 625-636. *in Oceanography from Space*, edited by J.F.R. Gower, 978 pp. Plenum Press, U.S.A.
- Webb D.J. [1983] Wave Measurement with the SEASAT Radar Altimeter - a Review. pp. 419-424. *in Satellite Microwave Remote Sensing*. 1 ed. Edited by T. D. Allan. Ellis Horwood Series in Marine Science, 526 pp. Ellis Horwood Limited, U.K.

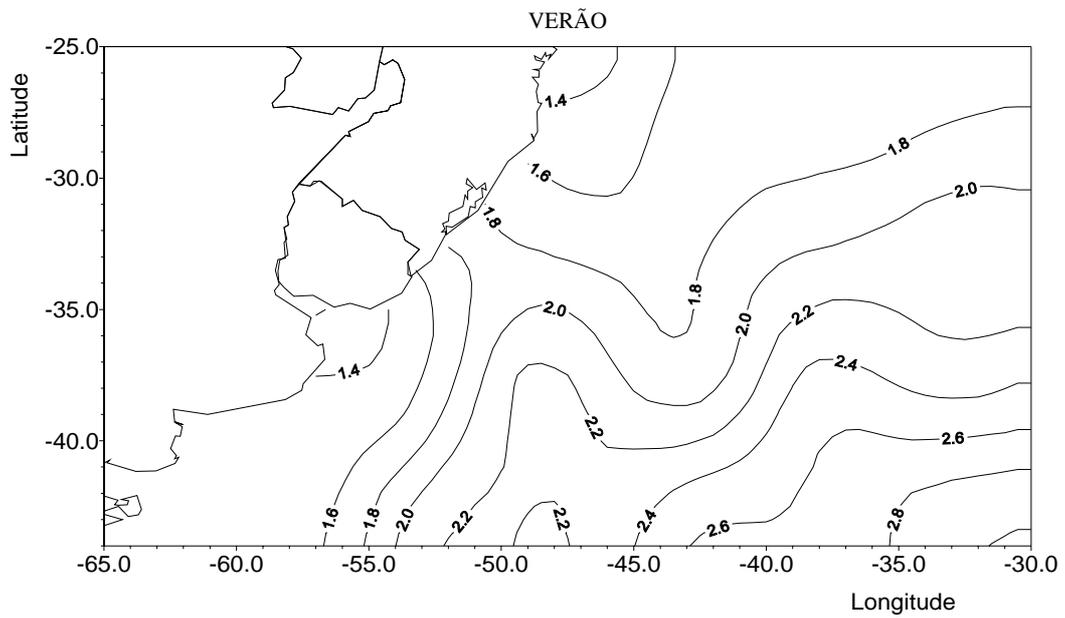
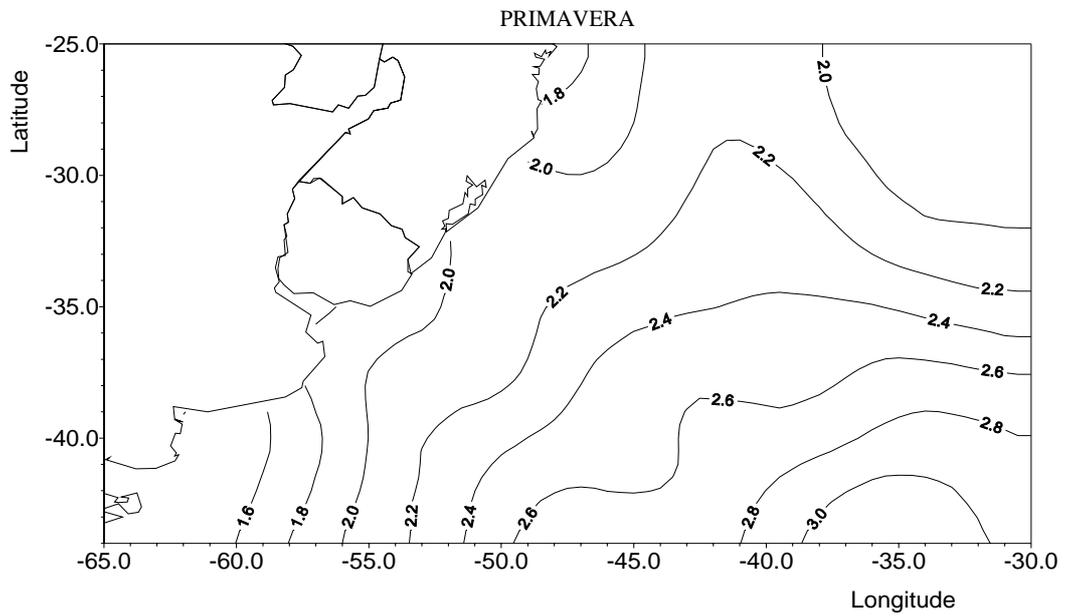


Figura 2. Mapas de altura significativa de onda para a primavera e verão de 1993. O intervalo entre os contornos é de 20 cm.

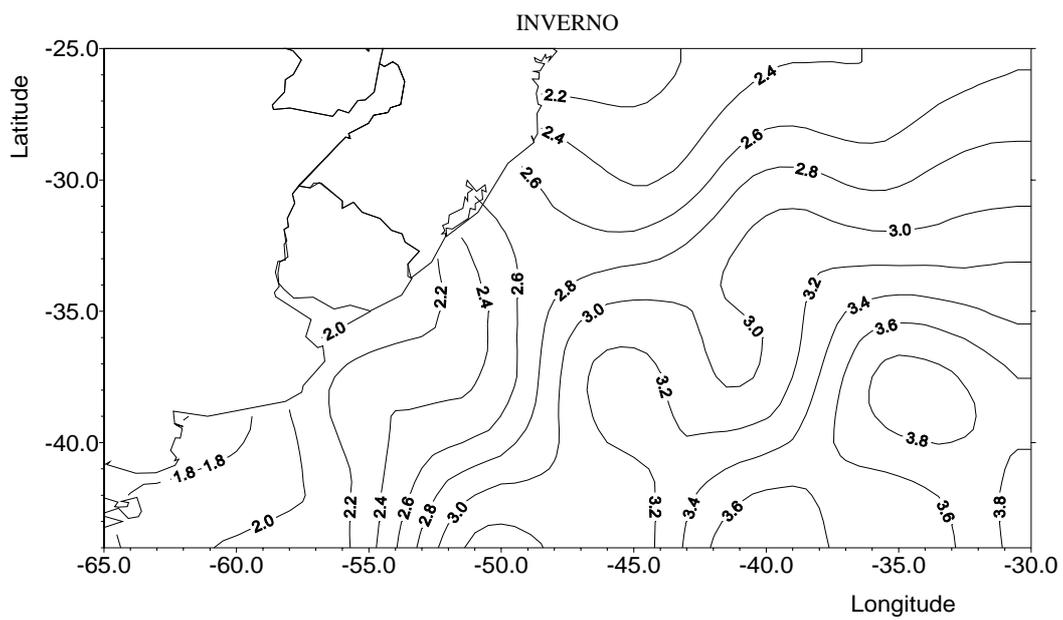
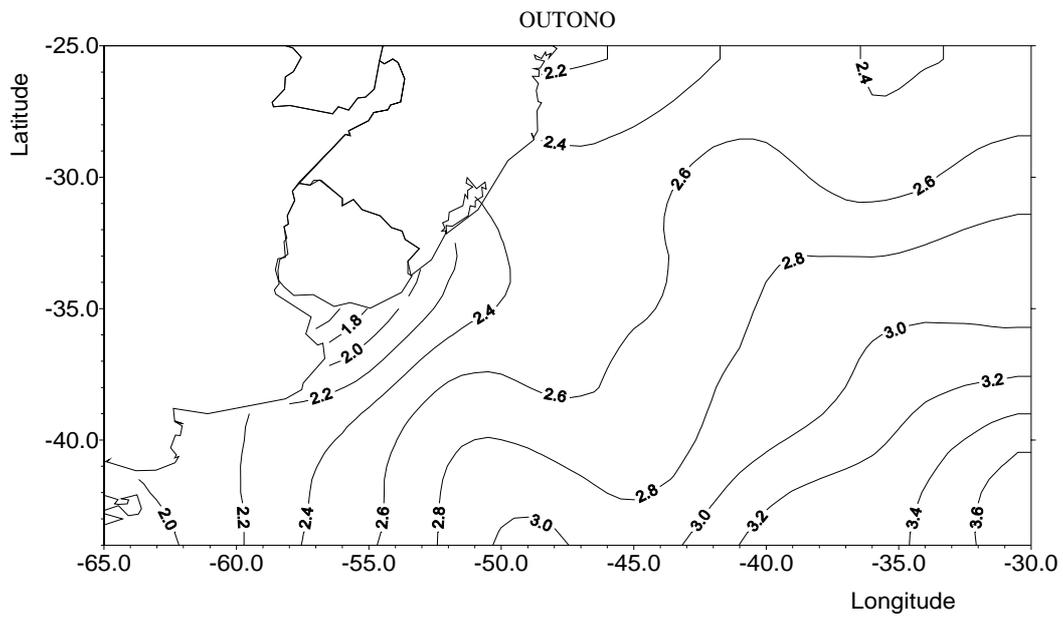


Figura 3. Mapas de altura significativa de onda para o outono e inverno de 1993. O intervalo entre os contornos é de 20 cm.