

Climatologia da Energia de Ondas para o Atlântico Sul entre os anos de 1960 a 2000

Philipp Edson Dias da Silva¹, Valdir Innocentini²

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – São José dos Campos - SP – Brasil

philipp.edson@inpe.br¹, valdir.innocentini@cptec.inpe.br²

RESUMO: Este trabalho mostra a distribuição da energia proveniente das ondas a partir da reanálise do ECMWF ERA-40 sobre o Atlântico Sul (AS) entre 1960 a 2000. Durante o Inverno no Hemisfério Sul (JJA) o potencial energético é maior ao largo do litoral brasileiro, mostrando os maiores valores sobre as Regiões Sul e Sudeste. Já no período de verão (DJF), os valores são mais expressivos sobre os litorais norte e nordeste do Brasil. Os resultados também mostram uma menor variabilidade da energia das ondas sobre o litoral norte e nordeste, sendo os litorais sul e sudeste mais variáveis devido à passagem de sistemas ciclônicos nas latitudes médias. O resultado desse estudo viabiliza um maior entendimento sobre o clima de energia das ondas, assim, sendo possível identificar as áreas com potencial energético para a geração de energia limpa a partir das ondas marítimas.

ABSTRACT: This work shows the distribution of energy from the waves from the ECMWF reanalysis ERA-40 over the South Atlantic (SA) between 1960 to 2000. During the Southern Hemisphere winter (JJA) the potential energy is higher off the Brazilian coast, showing the highest values on the South and Southeast. Already in summer (DJF), the values are more significant on the north and northeast coasts of Brazil. The results also show a lower variability of wave energy on the coast north and northeast, and the southern and southeastern more variable due to the passage of cyclonic systems in middle latitudes. The results of this study enables a better understanding of the climate of wave energy, thus making it possible to identify areas with potential for power generation of clean energy from sea waves.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, 85 % da emissão de gases componentes do efeito estufa no mundo são originados do setor energético (IEA, 2004). Como o uso da energia ainda se baseia principalmente nos combustíveis fósseis, principalmente o petróleo, que contribuem para o aumento de gases na atmosfera, cada vez mais é preciso conciliar o desenvolvimento com o uso racional dos recursos naturais. Dentre as fontes de energia renovável, as mais tradicionais são a energia solar, eólica e hidrelétrica, que possuem um alto nível tecnológico e são utilizadas em larga escala ao redor do mundo.

O enorme potencial energético dos oceanos é cada vez mais importante na busca por fontes energéticas renováveis e não poluentes. A estimativa global de recursos de energia extraída das

ondas é de 80.000 TWH/Ano (IEA-IOS, 2006), sendo a produção atual de energia elétrica mundial próxima a 18.000 TWH/Ano (IEA, 2004).

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é estimar a intensidade da energia das ondas e sua variação temporal, através de uma climatologia, cuja qual é de suma importância para identificar regiões com potencial energético ao largo do litoral brasileiro, da mesma forma como foi realizada por países como Portugal (RUSU; SOARES, 2009), Suécia (WATERS et al., 2009) e outros.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foi utilizado os dados da reanálise do ECMWF ERA-40 para ondas, com resolução espacial de 1,5 graus, resolução temporal de 6 horas, durante o período de 40 anos, de 1960 a 2000. Para o estudo, foram extraídas as variáveis de altura significativa (H), dada em metros, e período de pico (T), dado em segundos. Devido a baixa resolução espacial e as limitações do modelo, as regiões mais próximas não são apresentadas nesse estudo.

Para fins de climatologia, foi realizada a média horária (entre 00Z e 18Z) de todos os dias durante o período de análise, conforme a equação 1, onde x são os termos somados e n o número de termos. Logo após, foram separados todos os dias de cada ano e agrupados durante todos os anos, de maneira que, por exemplo, todos os dias 1 de janeiro de todos os anos fossem agrupados, e assim, respectivamente, para todos os outros dias. Assim, foi feito uma média desses grupos, com o intuito de representar melhor cada dia. Dos anos bissextos foi excluído o dia 29 de fevereiro, pois assim não representaria bem a série com a mesma relação temporal dos outros dias do ano.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Equação 1 – Média.

O cálculo da energia de ondas foi realizado através da fórmula de HOLTHUIJSEN (2007), conforme a equação 2 abaixo.

$$EO = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 \bar{T}$$

Equação 2 – Energia das ondas.

Onde: $\rho = 1,027 \frac{kg}{m^3}$ = densidade da água.

$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$ = aceleração da gravidade

$\pi = 3,1415$

Substituindo as constantes, temos a equação 3, onde a energia das ondas (EO) é aproximadamente igual a 0,5 multiplicado pela altura significativa ao quadrado (H_s^2) e pelo período de pico médio (\bar{T}), assim, tem-se a relação da energia total (cinemática e potencial) por unidade de área, representado por kW/m.

$$EO \approx 0,5 H_s^2 \bar{T}$$

Equação 3 – Energia das ondas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As ondas de gravidade são consequência da energia solar, uma vez que parte da energia recebida do sol pelo planeta é convertida em energia eólica pela diferença de aquecimento entre os pólos e o equador, e parte desta energia é transferida para o oceano. A quantidade de energia produzida pelas ondas depende de como ocorre esta transferência, ou seja, a intensidade dos ventos incidentes, a dimensão da área sobre a qual os ventos estão incidindo (pista) e a duração (CARVALHO, J. T, 2010). Alguns fenômenos meteorológicos são responsáveis por esta transferência, principalmente pela variação sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), ventos alísios na região equatorial, o anticiclone semi-estacionário do Atlântico Sul (ASAS) e a passagem dos ciclones em médias e altas latitudes.

Na figura 1, se observa a distribuição da energia das ondas em kW/m durante as estações do ano. Nos meses de verão (DJF), fig. 1.a, os valores mais significativos estão sobre o litoral da Região Norte e Nordeste do Brasil. Nesses meses, os sistemas frontais que penetram pela Região Sul do Brasil estão menos intensos, afetando o clima de ondas nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil, como mostra a fig. 2.a. Nos meses de outono (MAM), os valores decaem no litoral da Região Norte e os ciclones de latitudes médias já contribuem para o aumento da EO sobre o litoral da Região Sul, Sudeste e parte sul da Nordeste devido a maior frequência. O campo de altura significativa (fig.2.b) está em fase com o campo de EO.

Nos meses de inverno (JJA), fig. 1.c, o padrão visto anteriormente é bem diferente. Sobre o litoral da Região Sul e Sudeste os valores de EO se intensificam muito, chegando próximo a 18 kW/m. Esse padrão também pode ser notado principalmente sobre o litoral dos estados da Bahia, Sergipe e Alagoas, no entanto com menos intensidade. Durante esse período do ano os sistemas frontais, conseqüentemente os ciclones, estão mais intensos, e devido à grande pista sobre o AS, intensificam o regime de ondas, como pode ser visto na fig. 2.c. Sobre o litoral da Região Norte e os estados Ceará, Piauí e Maranhão continuam diminuindo, atingindo valores abaixo de 9 kW/m. Isso pode ser explicado pela menor contribuição dos ventos alísios provenientes do hemisfério norte, diminuindo também a altura significativa das ondas, que variam entre 0,9 e 1,2 metros. Nesses meses a ZCIT também se encontra mais deslocada para norte. Sobre o litoral a leste da Região Nordeste do Brasil, a EO apresenta pouca atenuação se comparado com os meses de verão. A altura significativa apresenta um aumento significativo

sobre essa região, variando ao redor de 1 metro entre os meses de DJF e JJA. Esse fato também pode ser explicado pela maior contribuição dos ventos alísios provenientes do hemisfério sul e pela intensificação do ASAS, que durante esses meses está mais deslocado para norte.

Durante a primavera (SON), figura 1.d, o padrão de EO é similar ao observado no outono, com a ressalva que a passagem dos ciclones sobre o AS, que começam a se deslocar mais para sul, ainda afetam o regime de EO sobre o litoral das Regiões Sul e Sudeste principalmente. Na figura 2.d, a altura significativa diminui um pouco sobre essas regiões, no entanto no litoral da Região Norte e os estados do Ceará e Piauí, o padrão observado é inverso, tendo um aumento ao redor de 0,5 metros quando comparado com os meses de JJA.

5. CONCLUSÕES

No litoral da Região Sul, Sudeste e o estado da Bahia, o regime de EO apresenta grande variabilidade durante os meses de inverno e verão. Durante o inverno e a primavera, o clima de EO apresenta valores mais significativos quando comparado com o litoral da Região Nordeste do Brasil.

O litoral da Região Nordeste apresenta um clima de EO favorável a implantação de usinas de geração de energia a partir das ondas, pois apresenta pouca variabilidade ao longo do ano e a plataforma continental é mais estreita. Esses resultados também foram observados por CARVALHO, J. T, 2010. Nessa região, o clima de energia das ondas não pode ser explicado pela altura significativa, pois existe uma grande variação entre o verão e o inverno, conseqüentemente não sendo suficiente para explicar a pouca variabilidade da EO. Logo, a altura significativa das ondas não pode ser usada como base para um estudo de EO, pois como foi visto nesse estudo, ter uma maior altura significativa não significa ter valores mais expressivos de EO, pois ela também é dependente do período de pico médio, que varia de acordo com o tamanho da pista.

6. AGRADECIMENTOS

Ao ECMWF pelos dados disponibilizados para a viabilização desse estudo. A Pós-Graduação do INPE pelos recursos financeiros.

7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, J. T. Simulação da distribuição de energia de ondas oceânicas ao largo do litoral brasileiro. 169 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - INPE, S.J. Campos, 2010.
- GAN, M. A.; RAO, V. B. Surface cyclogenesis over south america. *Monthly Weather Review*, v. 119, p. 1293–1302, 1991.
- HOLTHUIJSEN, H. *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Great Britain: Cambridge University Press, 2007. 387 p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Ocean Energy Systems. France,2011. Ocean Energy Poster. Disponível em: <http://www.iea-oceans.org/>

RUSU, E.; SOARES, C. G. Numerical modelling to estimate the spatial distribution of the wave energy in the portuguese nearshore. *Renewable Energy*, v. 34, n. 6, p. 1501–1510, 2009.

Uppala, S.M., Kållberg, P.W., Simmons, A.J., Andrae, U., da Costa Bechtold, V., Fiorino, M., Gibson, J.K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G.A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R.P., Andersson, E., Arpe, K., Balsaseda, M.A., Beljaars, A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., Hólm, E., Hoskins, B.J., Isaksen, L., Janssen, P.A.E.M., Jenne, R., McNally, A.P., Mahfouf, J.-F., Morcrette, J.-J., Rayner, N.A., Saunders, R.W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K.E., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P., and Woollen, J. 2005: The ERA-40 re-analysis. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 131, 2961-3012.doi:10.1256/qj.04.176

WATERS, R.; ENGSTROM, J.; ISBERG, J.; LEIJON, M. Wave climate off the swedish west coast. *Renewable Energy*, v. 34, p. 1600–1606, 2009.

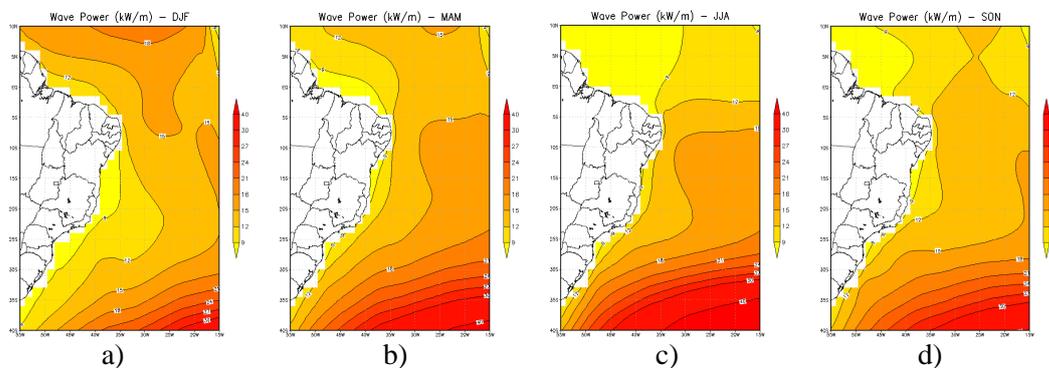


Figura 1 – Climatologia da distribuição da energia das ondas sobre o AS. a) Verão (DJF); b) Outono (MAM); c) Inverno (JJA) e d) Primavera (SON).

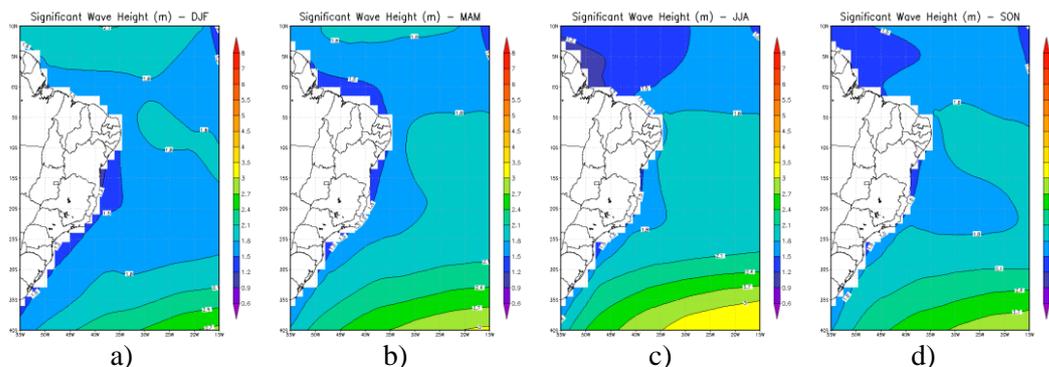


Figure 2 – Climatologia da altura significativa das ondas sobre o AS. a) Verão (DJF); b) Outono (MAM); c) Inverno (JJA) e d) Primavera (SON).