



## **SIMULAÇÃO DOS CAMPOS DE ENERGIA GERADOS PELO VENTO NA USINA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE**

Thays Mitsuko Tsuji (PIBIC/Fundação Araucária/UEM), Marcelo Marques (Orientador), e-mail: thaysmitsuko@hotmail.com

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia/Umuarama, PR.

**Área:** Ciências Ambientais / **Subárea:** Mecânica dos Fluidos Ambiental

**Palavras-chave:** Belo Monte, energia, vento

### **Resumo:**

A simulação da distribuição espacial da energia das ondas geradas pela ação de ventos severos sobre o futuro reservatório de Belo Monte constitui-se no objetivo desse trabalho. Os campos de energia das ondas foram simulados pela técnica denominada Paramétrica Bidimensional pela qual a energia da onda é condicionada exclusivamente por informações de vento (intensidade e direção) e o comprimento do fetch no ponto de interesse. A técnica de modelagem foi aplicada pelo modelo ONDACAD. As maiores quantidades de energia de onda resultaram de ventos provenientes da direção NNE, de energia correspondente a  $82 \text{ J/m}^2$  ( $U=5\text{ms}^{-1}$ );  $375 \text{ J/m}^2$  ( $U=10\text{ms}^{-1}$ );  $1020 \text{ J/m}^2$  ( $U=15\text{ms}^{-1}$ ) e  $1610 \text{ J/m}^2$  ( $U=20\text{ms}^{-1}$ ).

### **Introdução**

A usina hidrelétrica de Belo Monte está localizada no rio Xingu a cerca de 40 km a jusante da cidade de Altamira, no estado do Pará. Terá capacidade total instalada de 11233,1 MW, será a terceira maior do mundo, atrás das usinas hidrelétricas de Três Gargantas e Itaipu. O reservatório terá uma área de aproximadamente  $386 \text{ km}^2$ .

As ondas progressivas geradas na superfície do reservatório são provocadas pelo vento, o qual transfere parte da sua energia para as ondas ao exercer uma força resultante de diferenças de pressão, provocadas por flutuações na velocidade do vento próximo à interface ar-água. A superfície perturbada é restabelecida por ação da gravidade. A interação cíclica entre a força de pressão exercida pelo vento e a força da gravidade, faz com que as ondas se propaguem, se distanciando progressivamente de sua zona de geração (Marques, 2013). A simulação dos campos de energia das ondas é possível pela combinação de duas equações: 1) a equação paramétrica



JONSWAP a qual permite a simulação dos campos de altura de ondas e 2) a equação que exprime a energia da onda em função de sua altura significativa. A combinação das duas equações resulta na equação 1:

$$E = 0,00032FU^2 \quad (1)$$

sendo que a energia (E) é apresentada em unidades de J/m<sup>2</sup> a qual é condicionada pelo fetch (F) e pela intensidade do vento (U).

## Materiais e métodos

A técnica de modelagem MPB, desenvolvida por Marques (2013), é aplicável a águas continentais de grande superfície como lagos, reservatórios, baías e estuários e promove a conversão de um campo de fetch em um campo de energia de ondas por meio de uma equação de transformação, gerando resultados semelhantes aos produzidos pelo SWAN, módulo de ondas do modelo numérico de base física Delft3D.

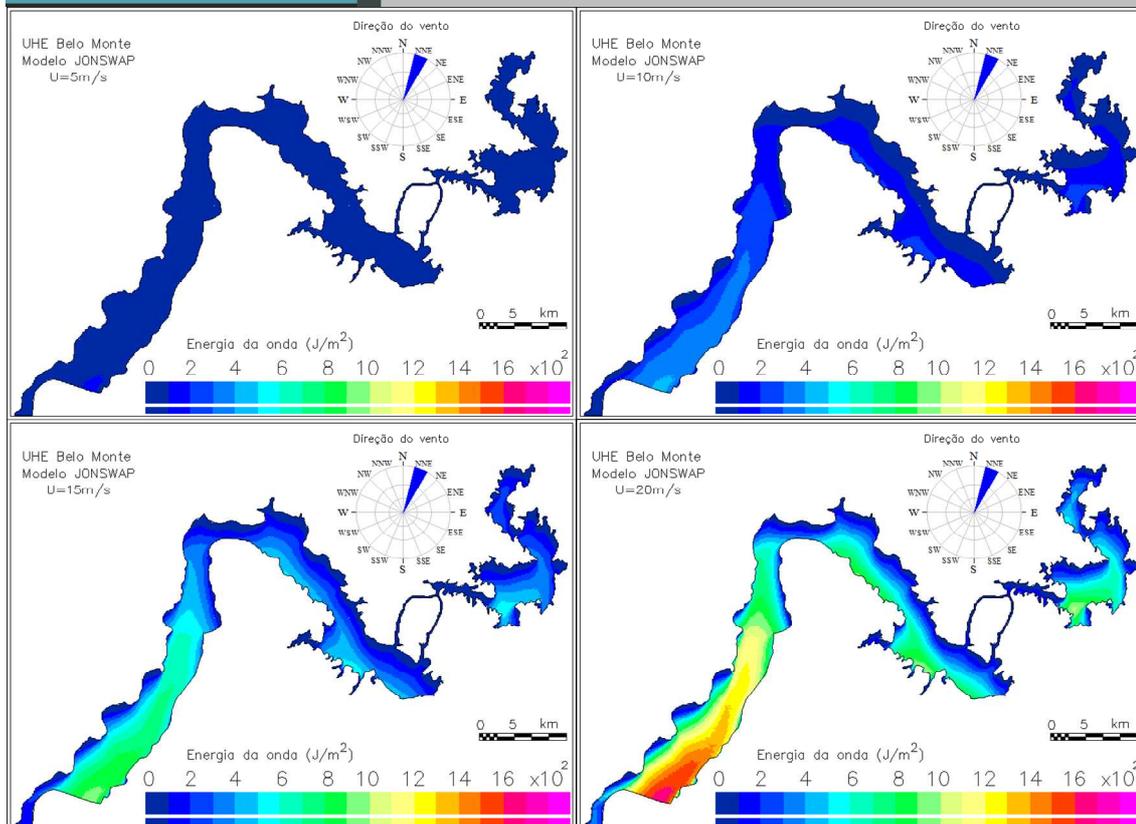
A técnica MPB será aplicada pelo modelo ONDACAD, validado por Marques (2013). Os mapas são gerados por um processo de discretização da superfície do reservatório através da geração de uma malha com resolução de 15 mil nós pela qual os campos de fetch são transformados em campos de energia das ondas pela aplicação de uma equação paramétrica.

Os campos de vento são considerados uniformes e de longa duração. Prescinde-se de dados referentes à batimetria do reservatório pois considera-se por hipótese que os campos de ondas são gerados em águas profundas.

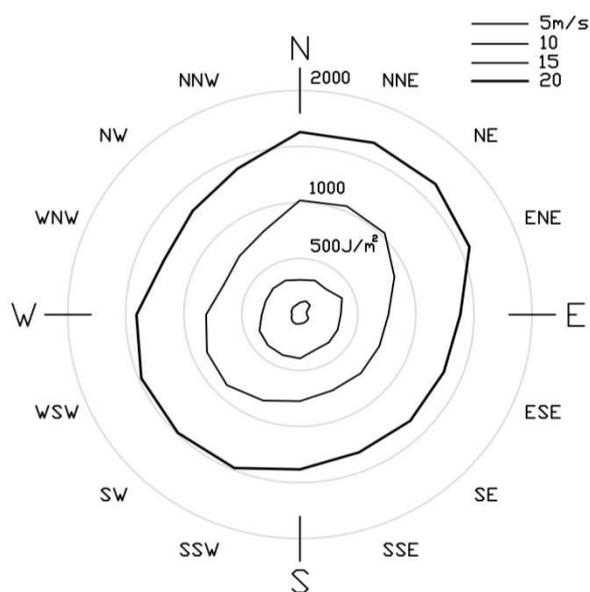
O traçado das margens do futuro reservatório é obtido com base em mapa digital do terreno considerando a cota máxima de projeto, devido à hidrelétrica ainda estar em construção. A representação geométrica da margem como uma poligonal constituindo uma polilinha é utilizada como elemento de contorno na aplicação do modelo ONDACAD, concebido em linguagem computacional LISP.

## Resultados e Discussão

Pela aplicação do modelo ONDACAD, foram gerados 16 mapas de campo de energia das ondas para cada intensidade do vento (5, 10, 15 e 20 m/s), totalizando 64 mapas. Na direção nor-nordeste é verificada a ocorrência das maiores quantidades de energia de onda. Os quatro mapas de campo de energia de onda para a direção NNE são apresentados de modo ilustrativo na Figura 1 e as maiores quantidades de energia mostradas pela Figura 2.



**Figura 1-** Exemplo de mapas de campos de energia das ondas gerados por ventos de 5, 10, 15 e 20  $\text{ms}^{-1}$  e para a direção nor-nordeste



**Figura 2 -** Diagrama da energia máxima das ondas por direção e intensidade do vento



Nota-se uma discreta tendência das maiores quantidades de energia de onda acompanharem a direção da maior porção do reservatório em estudo.

Essa peculiaridade pode favorecer o desenvolvimento de métodos de estimativa da energia máxima da onda em função da magnitude do reservatório.

## Conclusões

Apesar do aspecto irregular do contorno do futuro reservatório de Belo Monte e da maior porção do reservatório tender a voltar-se para a direção dos quadrantes ímpares trigonométricos, verifica-se que as maiores quantidade de energia de onda para certa intensidade do vento mostraram uma fraca dependência com a direção do vento.

Assim, comprova-se a viabilidade de representação da energia das ondas como um campo, pelo emprego da técnica de modelagem Paramétrica Bidimensional.

A generalização dessas conclusões e a validação do modelo JONSWAP, para o propósito de simulação de energia das ondas, demandam estudos complementares, mas demonstra a importância que pode assumir a utilização da técnica de modelagem paramétrica bidimensional na análise de fenômenos gerados pela ação do vento em águas continentais.

## Agradecimentos

Agradeço aos órgãos de fomento, à secretaria de educação do estado do Paraná, à fundação Araucária pela bolsa concedida, à Universidade Estadual de Maringá, ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Marques, pela dedicação e auxílio, e aos meus familiares pelo apoio.

## Referências

LAING, A. K. (1998). **An Introduction to Ocean Waves In: Guide to Wave Analysis and Forecasting**. Geneva: Suíça. Cap. 1, p. 1-14.

MARQUES, M. (2013). **Modelagem paramétrica bidimensional para simulação de ondas em águas continentais**. Tese de doutorado pelo Programa de Pós-Graduação Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.