



## **DIMENSIONAMENTO DO BORDO LIVRE DA BARRAGEM DE BELO MONTE UTILIZANDO A TÉCNICA DE MODELAGEM PARAMÉTRICA BIDIMENSIONAL**

Nayla Maria Salvador (PIC), Marcelo Marques (Orientador), e-mail:  
nayla.salvador@gmail.com

Universidade Estadual de Maringá / CAU-CTC /Umuarama, PR.

**Área:** Engenharias / **Subárea:** Grande Área

**Palavras-chave:** Bordo livre, barragem, *fetch*

### **Resumo**

O dimensionamento do bordo livre de uma barragem é condicionado por elementos como o comprimento do fetch, a intensidade do vento, a altura da onda que galga o barramento e a amplitude do seiche formado.

Pelo presente trabalho são comparadas as dimensões do bordo livre da barragem da futura usina de Belo Monte através da aplicação de duas técnicas distintas. Uma adotada pela companhia Eletrobrás e outra recentemente desenvolvida denominada técnica de modelagem Paramétrica Bidimensional (MPB).

### **Introdução**

Estudos sobre reservatórios mostram que importantes impactos ocorrem devido à ação do vento, sendo este a força de maior influência na formação de ondas. Assim, para o dimensionamento do bordo livre de Belo Monte, ocorreu avaliação das alturas de onda que poderão ser formadas no reservatório.

A técnica adotada pela companhia Eletrobrás (2001) para o dimensionamento foi a de Saville et al. (1954), que propôs um método para determinar o fetch, que consiste em traçado de linhas diretamente sobre o mapa, até a margem do lago. Já para cálculo do comprimento de pista efetivo, é desprezado os fenômenos de refração e reflexão, supondo que as ondas são completamente absorvidas pelas margens.

A modelagem paramétrica bidimensional (MPB) desenvolvida por Marques (2013) é uma simulação de campos de ondas que obtém resultados semelhantes aos gerados pelo modelo de básica física SWAN. Através desta técnica, a altura de onda é gerada pela intensidade e direção do vento e pelo comprimento do fetch.



## Materiais e métodos

São comparados dois métodos, o método definido por ELETROBRÁS (2001) e o método MPB.

Pelo método ELETROBRÁS (2001) os cálculos para definição do bordo livre foram efetuados com base em velocidades de ventos estimadas para solo, sendo assim analisados os valores de 10, 15, 20 e 25 m/s

Para a estimativa da altura de onda efetiva, a companhia adotou o método endossado por Linsley e Franzini (1972), de acordo com a seguinte equação:

$$H_s = 0,034V^{1,06} \cdot F^{0,47} \quad (1)$$

Para calcular a amplitude dos seiches, que são ondas estacionárias, será utilizada a fórmula empírica desenvolvida para a represa de Zuider Zee, na Holanda:

$$S = \frac{V^2 \cdot F}{1400 D} \quad (2)$$

O método de obtenção dos valores do galgamento não foi informado pela companhia.

Pelo método MPB, faz-se necessária utilização de um sistema automatizado para simulação de campo de ondas em águas continentais, ONDACAD.

Para traçado dos mapas de simulação de altura de ondas, o software utiliza uma equação paramétrica, na qual apresenta termos adimensionais de fetch e altura de onda, conforme seguinte estrutura:

$$\left(\frac{gH}{U^2}\right) = \alpha \left(\frac{gF}{U^2}\right)^\beta \quad (3)$$

Pelo presente trabalho é adotado o método JONSWAP, para o qual para  $\alpha = xx$  e  $\beta = yy$  o qual permitirá a conversão dos campos de fetch em campos de ondas.

Para o galgamento, foi utilizado uma equação em função da energia cinética do vento:

$$R = \frac{U^2}{2g} \times 1,5Hd \quad (4)$$

## Resultados e Discussão

Os mapas de fetch e altura de ondas foram determinados pelo modelo ONDACAD e os resultados referentes à direção leste são mostrados de modo ilustrativo pela Figura 1.

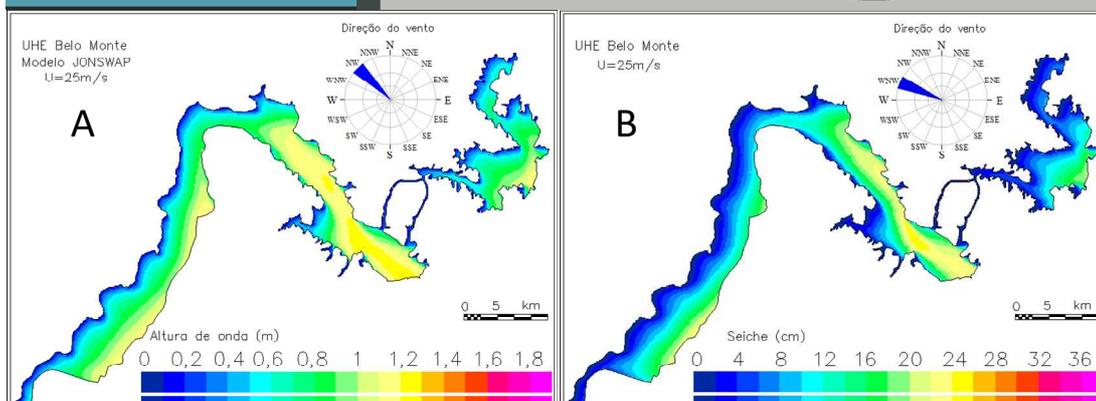
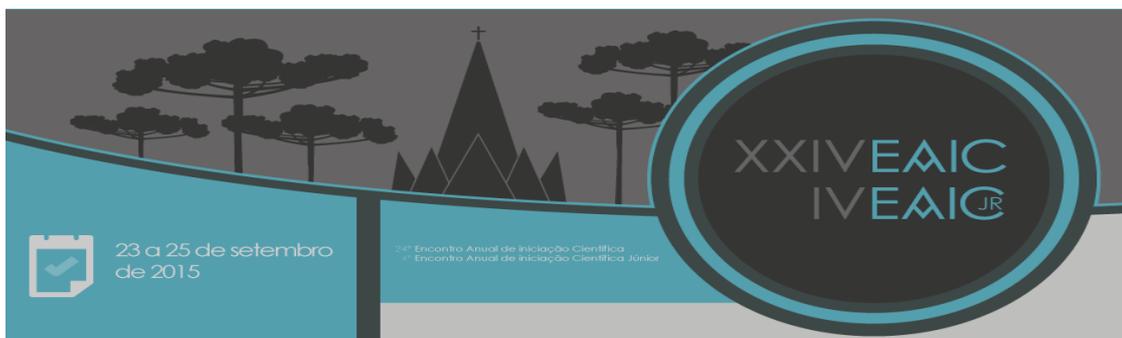


Figura 1 – Exemplo de campo de ondas (A) e campo de seiche (B) para ventos de  $25\text{m/s}^{-1}$

### Método ELETROBRÁS

Conforme ELETROBRÁS (2001) foram obtidos os resultados representados pela Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados obtidos por Eletrobrás (2001)

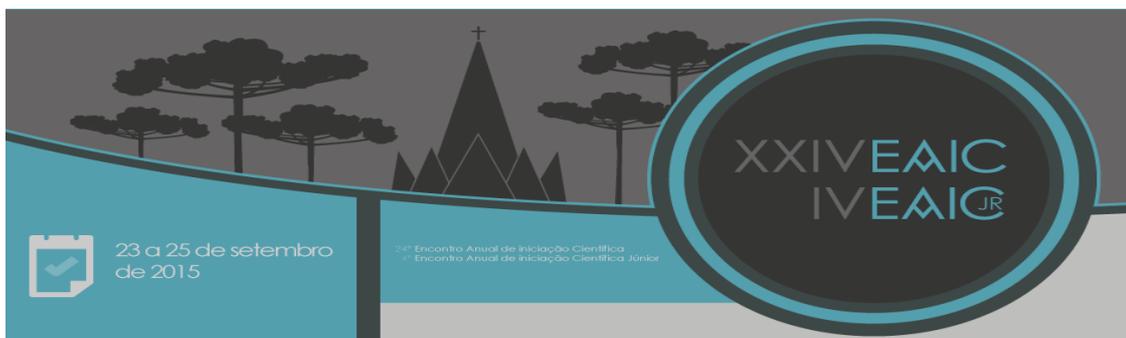
	Ilha do Canteiro (1:2)				Dique 19			
Velocidade (m/s)	10	15	20	25	10	15	20	25
Altura de Onda (m)	0,99	1,52	2,07	2,62	0,59	0,91	1,23	1,56
Seiches (m)	0,03	0,07	0,12	0,19	0,02	0,03	0,06	0,10
Galgamento (m)	0,10	0,11	0,14	0,18	0,23	0,36	0,48	0,61
Bordo Livre (m)	1,12	1,70	2,34	3,00	0,84	1,3	1,77	2,27

### Método MPB

Tabela 2 – Resultados obtidos pelo método MPB

	Ilha do Canteiro (1:2)				Dique 19			
Velocidade (m/s)	10	15	20	25	10	15	20	25
Altura de Onda (m)	0,46	0,70	0,93	1,16	0,36	0,54	0,73	0,90
Seiches (m)	0,11	0,25	0,45	0,70	0,07	0,15	0,27	0,43
Galgamento (m)	5,36	18,37	43,38	84,54	4,20	14,17	34,05	65,59
Bordo Livre (m)	5,93	19,32	44,76	86,40	4,63	14,68	35,05	66,92

Com base na Tabela 2 o elemento que elevou substancialmente a altura do bordo livre foi o componente de galgamento da onda. Investigou-se possível erro de impressão da equação, aplicação incorreta de unidades e ordem de grandeza dos resultados pelo uso de planilha eletrônica, não sendo encontrados indícios de erros. Deste modo, pelos resultados obtidos, o método ELETROBRÁS se mostrou mais adequado para o dimensionamento de bordo livre da barragem de Belo Monte.



### **Conclusões**

Pelos resultados obtidos, o método ELETROBRÁS se mostrou mais adequado para o dimensionamento de bordo livre da barragem de Belo Monte.

### **Agradecimentos**

A Universidade Estadual de Maringá e ao Núcleo de Pesquisa em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (NUPEHIDRO).

### **Referências**

Eletrobrás (2001). **Complexo hidroelétrico Belo Monte – Estudo de viabilidade**. Novembro 2001

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