

## Monitoramento telemétrico de ondas geradas por ventos em lagos de barragens para segurança hidroviária e transposição de barragens

Gustavo Barbosa de Lima <sup>1</sup>

Eduardo Bois Oliveira <sup>1</sup>

Luiz Roberto Trovati <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Elétrica

<sup>2</sup>Professor Assistente Doutor

UNESP/FEIS – Campus de Ilha Solteira

Laboratório de Hidrologia e Hidrometria

Caixa Avenida Brasil, 56 - Centro

15385-000 Ilha Solteira – SP

gu\_barbosa@yahoo.com.br

eduardo.boisa@gmail.com

trovati@dfq.feis.unesp.br

**Abstract.** This article demonstrates the application of Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP-waves) in the measurement of wind waves on dam lakes. The motivation of this analysis is based on the need for greater security in the transposition of vessels in the dams and navigation in shallow waters. In addition to monitoring with ADCP's, the variables of wind will also be measured, because this is what causes the waves. The conditions of application of this method are very peculiar because of where this data must be acquired (the lake). Another factor is that the profiler was originally developed to measure ocean waves. This becomes a problem, since the device parameters must be adapted to this application. The telemetry of wave and wind conditions must provide these data in real time, because in future it is planned to create a system to alert mariners of the waterway.

**Palavras-chave:** waterway, ADCP, wind waves, telemetry, hidrovia, ADCP, ondas geradas por vento,

### 1. Introdução

A atual necessidade logística do país tem produzido crescente interesse na exploração do potencial hidroviário, seja por parte de iniciativas públicas ou privadas, portanto há uma demanda por melhorias nas condições de segurança deste modal. A ocorrência de acidentes em hidrovias é relativamente comum. Por exemplo, na Hidrovia Tietê-Paraná o abalroamento de comboios de transporte de grãos em pontes, eclusas e outras estruturas hidroviárias já produziram significativos prejuízos. Com a previsão de início de transporte hidroviário de cargas perigosas, como o etanol, se torna relevante um melhor entendimento das condições ambientais adversas (vento e ondas) visando mitigar uma fração considerável desses acidentes. O objetivo deste trabalho é descrever o sistema de monitoramento telemétrico de parâmetros hidrometeorológicos, em especial, altura e período de ondas, e, direção e velocidade de vento cujo propósito é prover dados para estudos das relações vento x ondas em águas rasas, para um sistema de suporte e alerta de segurança da navegação na hidrovia.

### 2. Metodologia

O sistema de monitoramento telemétrico foi implantado no lago da UHE de Ilha Solteira, Latitude 20°20'20.99"S, Longitude 51°18'7.44"O distando aproximadamente 10 km da crista da barragem. O local escolhido privilegiou a ausência de barreiras geográficas e edificações que pudessem interferir na qualidade dos parâmetros hidrometeorológicos amostrados, assegurando pistas com comprimento de *fetch* suficiente para o desenvolvimento das ondas produzidas pelo vento.

Para atender tais requisitos, foi utilizada uma árvore parcialmente submersa localizada a aproximadamente 50m da margem, como suporte para uma torre que serviu como base para instalação da instrumentação, conforme ilustra a figura 1.

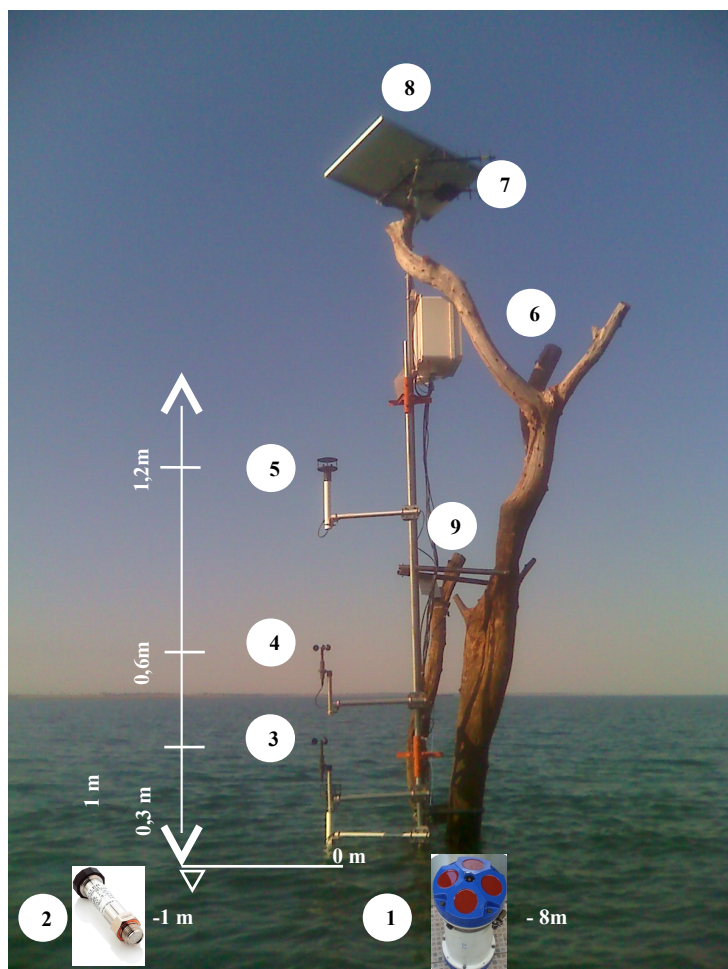


Figura 1 – Vista da instalação da instrumentação e telemetria  
A arquitetura de instalação destes equipamentos é a seguinte:

ADCP – WAVES (1): fundeado em conjunto com suporte nivelador a 8 m de profundidade, 20 m de distância da base da árvore e conectado via cabo ao rádio localizado na caixa de instrumentação

Transdutor de pressão (Druck) (2): submerso a 1m de profundidade do nível d'água e conectada ao conjunto *datalogger*/rádio, localizado na caixa de instrumentação;

Anemômetro convencional tipo concha (3 e 4): dispostos em perfil logarítmico e fixados a haste presa à árvore;

Anemômetro sônico 2D (5): dispostos em perfil logarítmico e fixados a haste presa à árvore;

Caixa de instrumentação (6): contendo rádios, *dataloggers*, baterias, etc..

Antenas (7): transmissão de dados para base repetidora.

Painel solar (8): alimentação do sistema, 80 w.

Câmera filmadora (9): alta resolução e baixo consumo, focada em régua indicadora de nível para visualização de ondas em tempo real, pesquisa de desenvolvimento de ondógrafo óptico.

A programação do *Datalogger* responsável pela aquisição dos dados de vento e pressão é flexível e pode ser readequada de acordo com as necessidades do usuário. Com relação aos dados de ondas, a programação é mais complexa, tendo em vista a necessidade de adequar os parâmetros do feixe sonoro emitido pelo ADCP para medir as ondas no lago. Foram utilizados softwares dos fabricantes para programação e visualização dos dados fornecidos pelo datalogger e ADCP-WAVES.

Os dados foram coletados periodicamente e transferidos por telemetria a uma estação repetidora situada a 3 km do ponto de coleta sobre uma torre de 30m (Farol de São Martinho) e daí retransmitidos para a estação base, distante 15 km, localizada no Laboratório de Hidrologia e Hidrometria da UNESP- Ilha Solteira, conforme mostra a figura 2.

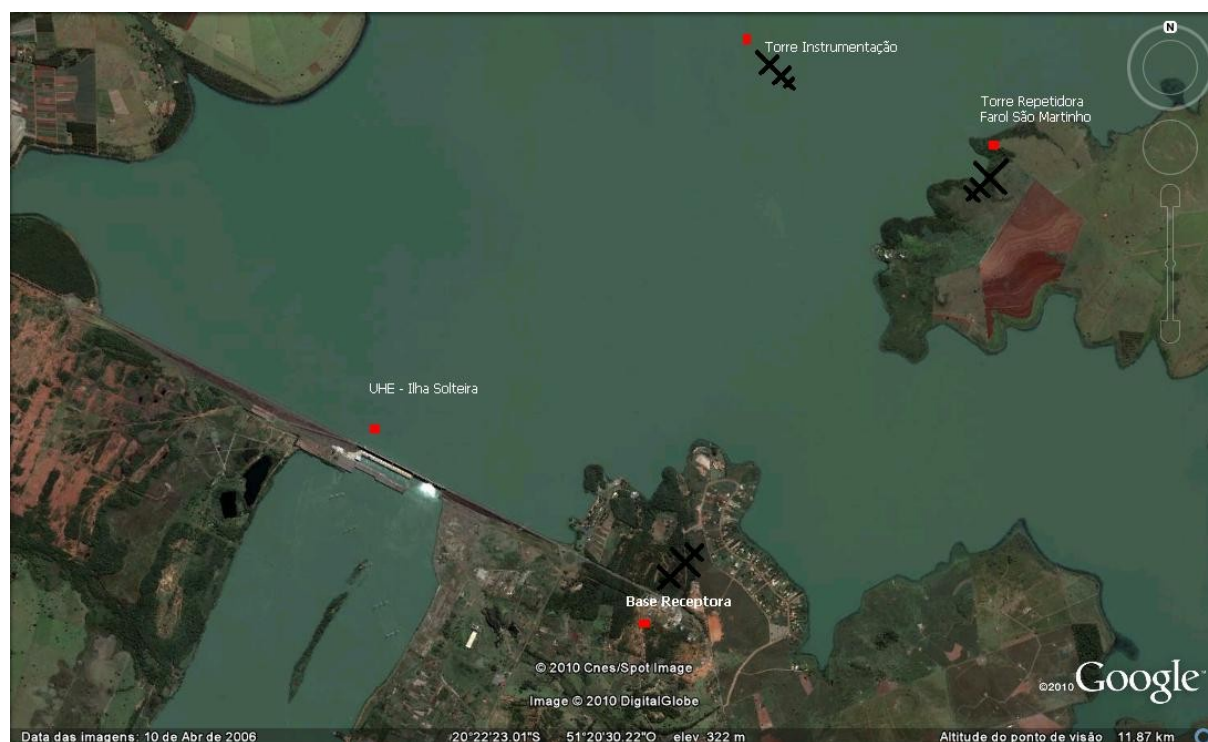


Figura 2 – Representação do link de transmissão via rádio VHF

Considerando que o arranjo da instrumentação permite medir e estimar o espectro de altura e período de ondas por três filosofias distintas, (campo de velocidades orbitais da corrente - ADCP-WAVES; campo de pressão - Druck, energia transferida pelo vento - anemômetros), os dados foram individualmente utilizados para compor os respectivos espectros de altura de ondas e posteriormente comparados com produtos de modelagem numérica dedicada.

### 3. Resultados

A comunicação dos dados realizada, ininterruptamente, com rádios de espectro VHF de 900 MHz a uma taxa de transmissão de 115,2 kbytes mostrou-se eficiente em qualquer condição de tempo. Não foi observado nenhum efeito de refração atmosférica no processo de transmissão e recepção dos dados, em que pese o link atravessar uma de superfície d'água sobre o lago. No entanto, foi observado que, quando se pretendia interrogar remotamente o ADCP - waves para uma solicitação de interrupção, nem sempre possível obter resposta do instrumento, ou seja, havia um problema intermitente na telemetria. A origem deste problema não causada especificamente pelo link entre os rádios, e sim pelo link físico do cabo de

comunicação submerso entre a arquitetura de ligação do ADCP (1) e o rádio localizado na caixa de instrumentação (6), conforme apresentado na figura 1. A ocorrência deste problema intermitente sugere um efeito de eco de sinal gerado possivelmente pelo comprimento (100 m) do cabo associado à conexão com o rádio. De fato, o instrumento ADCP-waves possui, especificamente nesta condição, limitação no tempo de interrogação, o qual não pode ser realizado na fase de aquisição dos dados, mas somente após o período estabelecido, via software, para aquisição dos pacotes de dados, ou seja, no período de inatividade para transmissão.

As figuras 3 e 4 apresentam, respectivamente, exemplos dos dados de altura e frequência de ondas medidos pelo ADCP-WAVES, obtidos em uma campanha no período de 04/05 a 20/05 de 2010, no lago de Ilha Solteira. A série temporal a seguir caracteriza três eventos significativos de ondas geradas pelo vento.

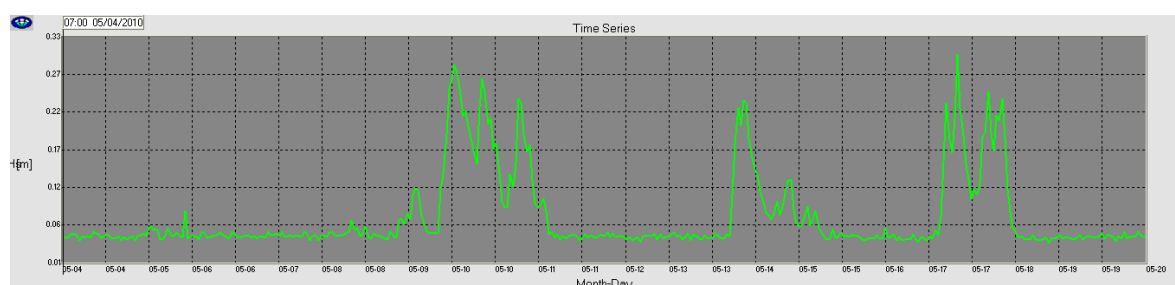


Figura 3 – Espectro de altura de ondas (m)

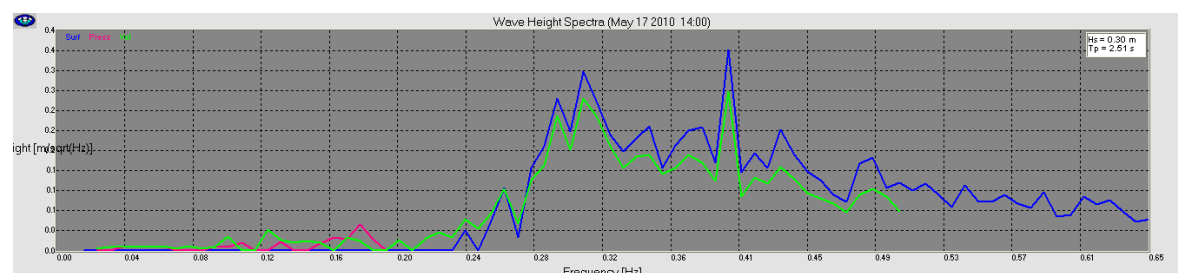


Figura 4 - Distribuição da frequência de ondas (Hz) para o evento do dia 17/05

Os dados de ondas medidos pelo ADCP-waves quando comparados com os resultados previstos pelo modelo proposto pelo United States Department of the Interior – Bureau of Reclamation, (U.S. ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER 1973) apresentado na equação 1,

$$H_{1/3} = \left\{ 0.283 \tanh \left[ 0.0125 \left( \frac{gF}{u^2} \right)^{0.42} \right] \right\} \frac{u^2}{g} \quad (1)$$

sendo,  $H_{1/3}$  a altura de ondas significativas conforme definido por Bretschneider (1964),  $g$  a aceleração da gravidade,  $F$  o fetch e  $u$  a velocidade do vento, produziram o resultado mostrado na figura 5.

Para exemplificar a questão de um sistema de suporte e alerta para segurança da navegação na hidroviária, através de relações entre vento e ondas em águas rasas, conforme foi elencado no preâmbulo deste trabalho, apresentamos na figura 5 um exemplo para um outro estudo similar, realizado por Cunha et. all, 2010, no lago da UHE de Promissão. Nela pode-se verificar o campo de resposta da altura de ondas significativas medidas com a ADCP-

waves e também a resposta calculada a partir do modelo da equação 1, em função da variação temporal da velocidade média horária do vento.

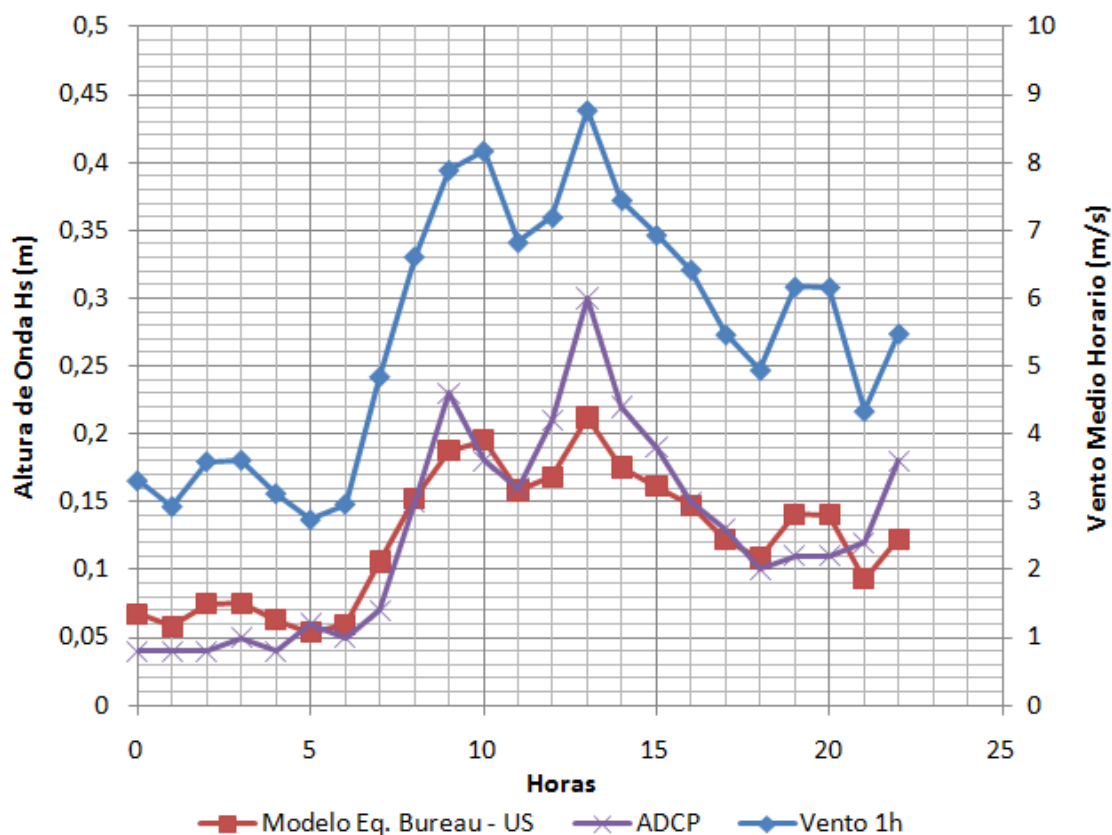


Figura 5 - Velocidade do vento a 10 m, altura das ondas medidas com o ADCP e calculadas pelo modelo Bureau of Reclamation

#### 4. Conclusões

A telemetria foi eficaz permitindo, não só a recepção dos dados em tempo quase real, mas, sobretudo o gerenciamento das condições operacionais de funcionamento da instrumentação, permitindo acompanhar o nível de tensão de baterias, o funcionamento individual de cada instrumento, eventuais ações de vandalismo, dentre outras. Isso resultou na diminuição do número de campanhas de visitas de inspeção em campo e conseqüentemente, otimizando tempo e recursos financeiros.

Futuramente, está previsto numa nova fase do projeto a comunicação da instrumentação subaquática através de modems acústicos, que poderá permitir maior grau de liberdade para o posicionamento e transmissão da amostragem de ondas em outras regiões da hidrovia.

A medição de altura e período de ondas em lagos de águas rasas realizadas pelo grupo de pesquisa da UNESP - Ilha Solteira com as técnicas apresentadas é pioneira no Brasil e mostraram, pela comparação entre os resultados medidos diretamente e estimados por modelagem, uma boa concordância. Em geral, as pesquisas de modelagem e medições de onda são realizadas para mar aberto, admitindo-se *fetchs* de grande magnitude, diferindo, portanto das condições de contorno aplicadas em águas rasas

Especialmente, o período das ondas medidas em lagos é relativamente pequeno, da ordem de 2,5 segundos (0,4 Hertz) sendo que a altura de ondas nos eventos amostrados no Lago de Promissão atingiu  $H_s = 0,3$  m, que corresponde a altura de pico  $H = 0,6$  m.

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa concedida e a FINEP pelo apoio financeiro ao projeto ONDISA5, processo institucional CT-AQUA – FINEP 01.07.0784.00.

## 6. Referências Bibliográficas

Maciel, G. F. ; Trovati, L. R.; Dall’aglio Sobrinho, M. ; Neves, C. F.; Cunha, E. F.; Morais, V. S., (2009), “Alerta de ventos e ondas para a segurança da navegação.” **In: 6º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior**. Rio de Janeiro – RJ: **Anais do 6º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior**, p.8-16.

U.S. Army Coastal Engineering Research Center - **Shore Protection Manual**, Third Edition, Volumes 1. Washington, D.C.: Department of the Army Corps of Engineers, 1973

Bretschneider ,C. L. - Wave Generation by Wind, Deep and Shallow Water. **Ippen,Journal of Coastal Research**, Special Issue /No/. 4, p.41-64, 1966.

Cunha, E. F. et. all. - Verificação de modelo de ondas com dados de ADCP-Waves no Lago de Promissão - SP **in: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 13 e 17 de setembro de 2010, Belém-PA. **Anais**. Disponível em: <<http://www.cbmet2010.com/anais/4.htm>>