

# COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DAS TAXAS DE VARIAÇÃO DA ALTURA DE MARÉ

Alex Maurício Araújo<sup>1</sup>; José Ramon Barros Cantalice<sup>2</sup>; André Luiz de A. Maranhão<sup>1</sup> & Ruann Paulo Rapôso do R. M. Gonçalves<sup>1</sup>

**RESUMO** – Conhecimento da rapidez com que as águas do mar sobem ou descem em regiões estuarinas e costeiras é assunto de interesse tanto do ponto de vista dos estudos físico-ambientais e ecológicos dessas regiões, como da segurança nas suas atividades de navegação, pesca e lazer. Este trabalho objetiva avaliar o desempenho de métodos alternativos, de simulação e experimental, para se estimar a rapidez da elevação ou descida do nível das marés em praias ou bancos de areia.

**Palavras-Chave:** Elevação de maré, estimativas de alturas e horários, banco de areia.

**ABSTRACT** – Knowledge of the speed which the sea water rises or falls in estuarine and coastal regions is a matter of interest both in studies of physical, environmental and ecological regions such as the safety of its navigation activities, fishing and leisure. This study aims to evaluate the alternative simulation and experimental methods performance to estimate the speed of tides lifting or lowering level on beaches or sandbanks.

**Keywords:** Tide rising or falling speed, time and height evaluating, sandbanks.

## 1 – INTRODUÇÃO

Previsões das alturas e horários das marés são divulgadas anualmente pela DHN (2008) para os principais portos da costa brasileira. Os valores das previsões das horas e das alturas máximas e mínimas alcançadas pelas águas do mar são informados em base diária para o ano inteiro.

Aspectos geomorfológicos da região costeira e de sua batimetria local podem alterar de modo significativo as alturas alcançadas pela propagação da onda de maré bem como os seus horários. Portanto, a aplicação direta dos dados da DHN, ao local em estudo, sem nenhum controle ou verificação, pode conduzir a diferenças acentuadas nas estimativas dos instantes e alturas alcançadas pela maré. Um exemplo desse problema ocorre com certa frequência na praia do Atalaia no município de Salinópolis-PA, onde prejuízos vultosos ocorrem com certa frequência durante as

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia e Geociências - Campus do Recife, CEP: 50740-530 – F. (81) 2126-8983 – Cidade Universitária – Recife - PE.

<sup>2</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia, Centro de Pesquisa de Solos - Campus do Recife, CEP: 52071-900 – F. (81) 33206232 – Dois Irmãos – Recife - PE.

E-mail: [ama@ufpe.br](mailto:ama@ufpe.br); [cantalic@terra.com.br](mailto:cantalic@terra.com.br); [alamaranhao@gmail.com](mailto:alamaranhao@gmail.com); [rprimgoncalves@gmail.com](mailto:rprimgoncalves@gmail.com);

férias de verão, no período próximo ao conhecido fenômeno “lanço” (O LIBERAL, 2006) ou maré equinocial, por descuido ou falta de informação técnica sobre a rapidez desse processo natural.

### **1.1 – Objetivo**

Este trabalho objetiva avaliar o desempenho de métodos alternativos, de simulação e experimental, para se estimar a rapidez da elevação ou descida do nível das marés em praias ou bancos de areia.

## **2 – MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 – Localização e Caracterização da Área de Estudo**

Os experimentos foram realizados em escala real, num banco de areia situado próximo ao estuário do Rio Timbó e pontal da praia de Maria Farinha, localizado no município de Paulista-PE, pertencente à Região Metropolitana do Recife com coordenadas 7°50’S e 34°50’W.



Figura 1. Localização do sítio dos experimentos de campo.

### **2.2 – Métodos Utilizados**

#### **2.2.1 – Método de Interpolação Espacial dos Dados de Maré**

Os dados de previsão de maré são disponibilizados anualmente na DHN (2008) para os vários portos brasileiros. Nela, os valores das previsões das horas e das alturas máximas e mínimas alcançadas pelas águas do mar são informados em base diária para o ano inteiro. O sítio

experimental escolhido situado na praia de Maria Farinha (figura 1) localiza-se entre os portos do Recife-PE e de Cabedelo-PB, portanto torna-se necessário a utilização de um procedimento de interpolação dos dados de previsão fornecidos pela DHN. Este procedimento foi desenvolvido na UFPE por Formigoni e Araújo (2005) e se baseia numa interpolação entre valores numéricos das alturas em (m) e horários em (min.) relativos aos portos mais próximos, usando-se um modelo de ponderação inversa com as suas distâncias, medidas seguindo um mesmo meridiano.

$$ALT_{MF} = (ALT_{CAB} \cdot D_{PR} + ALT_{REC} \cdot D_{PC}) / (D_{PR} + D_{PC}) \quad (1)$$

Onde:

$ALT_{MF}$  = altura da maré em Maria Farinha (m);

$ALT_{CAB}$  = altura da maré no Porto de Cabedelo (m);

$ALT_{REC}$  = altura da maré no Porto de Recife (m);

$D_{PR}$  = distância do Porto de Recife ao Pontal de Maria Farinha segundo um mesmo meridiano ( $\approx 21$  km);

$D_{PC}$  = distância do Porto de Cabedelo ao Pontal de Maria Farinha segundo um mesmo meridiano ( $\approx 102$  km);

O mesmo procedimento é adotado para a determinação dos horários, alterando-se apenas as variáveis correspondentes à altura pelos horários respectivos.

Apesar das previsões das marés serem realizadas via combinação de certo número de harmônicas específicas de cada local (longitude, latitude, fuso, ano e nível médio), conforme DHN (2008), o procedimento indicado poderá produzir resultados bastante aproximados, em face da proximidade geográfica dos locais considerados Recife e Cabedelo.

### 2.2.2 – Método Experimental de Campo

A superfície livre da água do mar sofre efeitos externos de energias de ventos e de ondas, causando oscilações nas alturas a serem medidas. Para atenuar esses efeitos as medidas poderiam ser realizadas em um banco de areia ou na praia, com o monitoramento do nível do freático.

O procedimento experimental de campo consistiu numa cuidadosa escavação de um pequeno poço de observação em forma cilíndrica efetuado diretamente na superfície do banco de areia até se alcançar o nível da água subterrânea (água do mar). Utilizou-se para tal, ferramentas auxiliares como pás, balde, nível de bolha, e um tubo de PVC com 75 mm de diâmetro usado como molde para a forma do poço.

Com o auxílio do nível de bolha usa-se a trena milimetrada para se medir a altura da água no freático até a superfície do banco de areia no instante inicial do processo de sucessivas medições, obtendo-se assim uma tabela de valores associando o instante com o nível da água no poço experimental, suposto ser o mesmo nível da água do mar próximo.

As velocidades de subida ou descida das águas do mar são obtidas através das razões entre variações sucessivas de alturas com os respectivos intervalos de tempo.

### 2.2.3 – Método Matemático Simplificado para Aproximar a Curva do Ciclo de Maré

Obtida a aproximação do sinal de maré para o local do experimento, conforme indicado em 2.2.1, o próximo passo deverá ser sua discretização temporal.

Para um semiciclo de maré em torno de seis horas, o sinal local pode ser representado em primeira aproximação, por uma função senoidal (figura 2) que interpola vinte valores partindo de um ponto crítico, máximo ou mínimo local da função. Esta implementação pode ser efetuada utilizando-se os recursos do software Excel 2007. Outro exemplo de ferramenta que poderia ser utilizada para obtenção de aproximações de pontos intermediários do sinal é o software CALGRAFMARE desenvolvido por Araújo (2001).

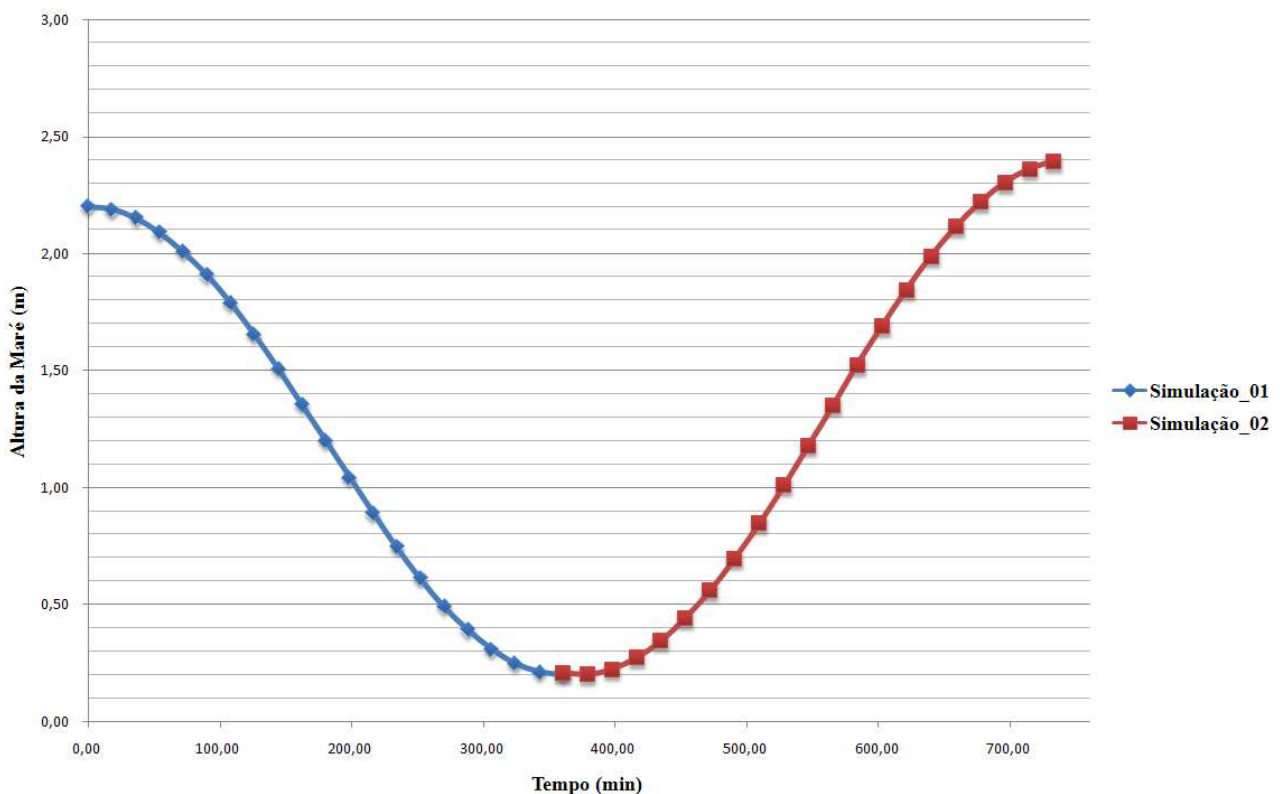


Figura 2. Exemplo do método de interpolação usado.

Tomando-se o pico antecedente desta maré como ponto de partida da simulação ( $t = 0$  minuto), calcula-se o semiperíodo do primeiro ramo da curva em minutos (simulação\_01) e dividindo pelo número de pontos desejados da aproximação obtêm-se o passo em minutos do cálculo de interpolação.

Calcula-se a amplitude da função, a partir dos dados do sinal de maré aproximado para o local, e o valor da altura da maré correspondente ao instante da metade do semiperíodo, amplitude somada à altura mínima, para se obter os parâmetros da equação do modelo matemático de

simulação. A curva simulação\_02 é desenvolvida de modo análogo sendo que sua condição inicial é a final da simulação\_01, alterando-se apenas o semiperíodo e, conseqüentemente, o seu passo. A equação de cálculo da interpolação das alturas intermediárias é dada por:

$$ALT = A.\cos (\omega.t) + B \quad (2)$$

Onde:

A = Amplitude da função = (altura máxima - altura mínima) / 2;

$\omega$  = frequência da função =  $\pi$  / (semiperíodo);

B = valor da altura da maré correspondente ao instante da metade do semiperíodo, amplitude somada à altura mínima;

t = tempo em minutos, a partir do horário referenciado zero para o experimento;

Com a função que modela o nível da maré versus tempo é possível se encontrar as taxas de variação das alturas da água para qualquer intervalo de tempo, via um processo de aproximação da tangente à curva por uma secante pré-estabelecida. Para tal, os respectivos instantes de tempo devem corresponder aos do levantamento obtidos em campo e quanto menor for o intervalo de tempo, mais próximo será o valor da estimativa à taxa instantânea.

## **2.2.4 – Principais Fontes de Erro**

### **2.2.4.1 – Método Matemático**

Os dados primários usados pelos métodos de interpolação deste trabalho são resultantes de modelos de simulação ou de previsão, portanto já trazem erros implícitos a esse processo de geração de dados e, assim, são de difícil quantificação ou mesmo estimativa por parte do usuário final. Durante a fase de processamento dos dados primários pelos modelos deste trabalho haverá inevitáveis propagações daqueles erros.

Os erros inerentes às hipóteses dos modelos aqui propostos basicamente são relativos à uniformidade geomorfológica e batimétrica da plataforma continental, que justificaria a ponderação pelas distâncias envolvidas, e a consideração de comportamento senoidal simples para o sinal das marés local.

### **2.2.4.2 – Método Experimental**

As principais fontes de erro do método experimental proposto são originárias da natureza do processo de medição e podem ser identificadas como de posicionamento e escala do instrumento de medição, paralaxe, menisco formado com a água do mar, estabilidade das paredes do poço durante a medida e cronometragem do tempo.

### 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o desenvolvimento do Projeto NOVTECGINF – Novas Técnicas Geradoras de Informação para o Diagnóstico, Avaliação de Impacto e Monitoramento Ambiental do Meio Físico dos Estuários Rasos, foram realizados três experimentos em campo nos dias 13/03/08, 10/04/08 e 10/06/08. Os resultados de interesse deste artigo estão sintetizados nos gráficos apresentado na figura 3.

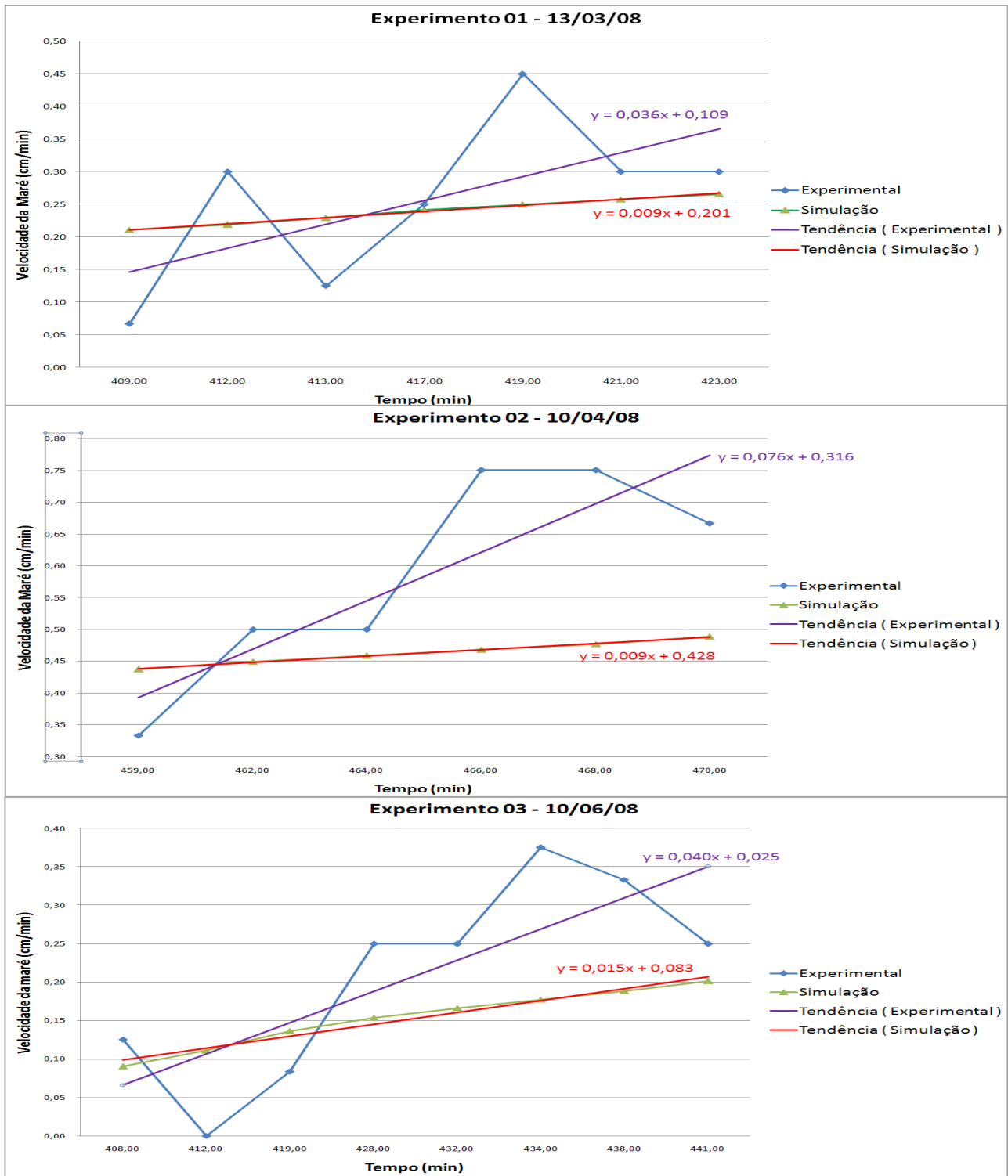


Figura 3. Comparação de resultados e tendências de experimentos e modelos

Da observação dos gráficos (Figura 3) podem-se extrair as seguintes informações: a) as taxas de variação obtidas com os modelos são muito menores e mais regulares no tempo que as experimentais; b) as taxas de variação da altura de maré obtidas experimentalmente são muito instáveis, apresentando discrepâncias em relação ao processo físico que se deseja medir, acelerando em certos intervalos de tempo e desacelerando em outros.

Entre as possíveis explicações para as características dos resultados obtidos se poderiam alinhar: a) atuação de forçantes extra processo como, por exemplo, desmoronamento das paredes internas do poço de observação; b) tempo de resposta na permeabilidade da água do mar para o material (sedimentos) do banco de areia; c) erros experimentais nas medições das alturas e dos tempos.

#### **4 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

As tendências dos resultados experimentais apresentados neste trabalho indicaram concordância qualitativa com o fenômeno natural observado na praia do Atalaia no município de Salinópolis – PA, ou seja, as taxas de elevação da maré medidas são maiores que as previstas com auxílio das Tábuas das Maré. Constataram-se diferenças acentuadas entre as taxas de variação das alturas das águas do mar previstas com o método de simulação e o arranjo experimental usado neste trabalho.

Entre as mais importantes causas de discrepâncias encontradas nos resultados estão o processo executivo do poço de observação e os erros associados principalmente nas medidas das alturas e também dos tempos. Como tentativa de atenuação destes componentes de erro, recomenda-se outro procedimento de execução do poço de observação em que se minimize o efeito nos resultados do desmoronamento das suas paredes, acredita-se que desse modo pode-se diminuir as instabilidades observadas e melhorar a confiabilidade do sistema experimental de medição das alturas.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem pelo auxílio do CNPq ao projeto NOVTECGINF – Proc. 471702/2006-4 aprovado no Edital CT-Petro/MCT/CNPq – 2006 – Universal, que viabilizou a execução deste trabalho.

## 5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DHN, 2008. Tábuas das Marés, DHN-CHM-BNDO. Ministério da Defesa, Marinha do Brasil.  
[www.mar.mil.br](http://www.mar.mil.br)

O LIBERAL, 2006. Prejuízos podem passar de R\$90 mil. Edição: Ano LX n.31252.  
[www.orm.com.br/oliberal](http://www.orm.com.br/oliberal)

ARAÚJO, A.M.,2001. Síntese de Maregramas a Partir de Previsões de Maré, XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa - XIV SBRH e V SILUSBA - Aracajú – SE, (Anais em CD-ROM).  
[www.ufpe.br/gmfa](http://www.ufpe.br/gmfa)

FORMIGONI, J. A., Araújo, A. M., 2005. Um procedimento para a previsão das alturas e horários das marés nos estuários dos rios Jaboatão e Timbó - RMR / PE, XIII Congresso de Iniciação Científica, UFPE - Recife.