

# PROJETO, IMPLANTAÇÃO E ANÁLISE DE UM GERADOR DE ONDAS

Carlos Alberto G. Freire de Souza  
Escola Politécnica da universidade de São Paulo - Brasil  
\*cafsouza@usp.br

Helio Mitio Morishita  
Escola Politécnica da universidade de São Paulo - Brasil

## RESUMO

Na área de engenharia naval e oceânica é bastante comum e até necessário a utilização de recursos experimentais realizados em tanques de provas com modelos reduzidos. Essa necessidade resulta da dificuldade em obter-se analiticamente os movimentos e esforços que incidem sobre estruturas e sistemas flutuantes sob os efeitos das condições ambientais encontradas no mar. Para reproduzir em escala reduzida as condições ambientais, em especial as ondas oceânicas, é imprescindível a utilização de um sistema confiável e adequado para geração de ondas em laboratório. Neste trabalho é apresentado um procedimento para projetar um gerador de ondas do tipo placa basculante. Este procedimento foi aplicado para o gerador de ondas instalado no tanque de provas do Laboratório de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Inicialmente são discutidas as características dos principais tipos de geradores de ondas e posteriormente selecionou-se o do tipo placa basculante fundamentado no procedimento proposto. É apresentado o modelo matemático do sistema e para avaliar seu desempenho foram efetuados ensaios com o gerador de ondas medindo-se as principais variáveis do processo. A análise é efetuada através da comparação entre as alturas de onda medidas e a requeridas para diversas frequências e também através das funções de transferência obtidas por meio da teoria linear e por medidas experimentais. Os resultados indicaram uma boa aproximação entre os valores esperados teoricamente e os medidos. Por fim é efetuada uma análise crítica dos procedimentos adotados no projeto com sugestões para o aperfeiçoamento do equipamento.

## INTRODUÇÃO

Com uma região costeira bastante extensa e somando ainda a área respectiva das 200 milhas náuticas referente a zona de exploração econômica exclusiva, o Brasil deverá desenvolver pesquisas relacionadas a esta imensa região costeira e oceânica para conseguir utilizar os vários recursos provenientes do mar. Assim como hoje, onde a tecnologia de extração de petróleo em lâminas d'água profundas só foi conseguida através de muitas pesquisas e ensaios realizados em laboratórios, novas tecnologias para utilização dos recursos do mar também dependerão do estudo e pesquisa do comportamento desse ambiente.

Para o êxito dessas futuras pesquisas, é necessário que novos engenheiros e pesquisadores sejam formados e treinados pelas escolas de engenharia, através de uma constante evolução na didática e completando com laboratórios de ensino e pesquisa bem equipados.

Ciente desta realidade o Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo sentiu a necessidade de expandir a capacitação laboratorial para a realização de experimentos didáticos e de pesquisas exploratórias no campo de estudo de ondas e comportamento de estruturas submetidas a essas. Assim decidiu-se investir na adaptação e desenvolvimento de um tanque de testes cuja instalação civil já era existente, faltando a instalação de um gerador de ondas, um absorvedor de ondas e uma plataforma para acesso à área de testes.

Dentre estes equipamentos o gerador de ondas é o mais complexo, tanto no sentido de seu funcionamento quanto no da especificação necessária para fornecimento de componentes, fabricação e montagem. Por ser um equipamento de emprego reduzido, é notório a dificuldade de encontrar empresas fornecedoras de equipamentos dessa natureza, mesmo no âmbito internacional. As empresas estrangeiras consultadas, enviaram propostas em que a complexidade e qualidade dos equipamentos tornavam os custos excessivamente altos para uma instalação pretendida simples.

Em vista do exposto acima, foi decidido que a implantação do equipamento seria realizada pelo próprio Departamento, onde o projeto do gerador de ondas, compra de componentes, contratação de fabricação e coordenação de montagem e instalação foram realizados aproveitando alguma experiência do grupo que assumiu o trabalho. Através de um projeto infra-estrutura de pesquisa financiado pela FAPESP - Fundação de

Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, foram instalados um gerador de ondas, um absorvedor de ondas e uma plataforma móvel para acesso à área de teste no tanque de provas do laboratório. Ainda no mesmo projeto foram adquiridos sensores e condicionadores de sinais para medição e um sistema de aquisição de dados.

Este artigo é uma síntese do trabalho de pesquisa da dissertação de mestrado de Souza, (2002). Neste trabalho são inicialmente explicitados um procedimento para o projeto de um gerador de ondas do tipo placa basculante (“flap type”). Posteriormente é efetuada uma análise de desempenho do gerador de ondas por meio da comparação dos resultados teóricos com dados experimentais obtidos por meio de ensaios. Finalmente é analisado criticamente o procedimento adotado para o projeto do gerador de ondas.

## ARRANJOS DE GERADORES DE ONDAS

São descritos e comentados a seguir aspectos sobre diferentes tipos de geradores de ondas e seus componentes. Essas informações compõem a relação de dados necessários para a construção de subsídios para o projeto.

### Principais requisitos hidrodinâmicos de geradores de ondas

A função do gerador de ondas é de reproduzir as ondas encontradas no meio ambiente marítimo. Os valores de altura e os períodos das ondas encontradas na região do mar em que se está interessado em reproduzir num tanque de ondas deverão ser convertidos numa escala apropriada. Quando essa onda gerada no tanque é a fonte de excitação nos testes com modelos de embarcações ou de outro tipo de estrutura, o fator de escala para a onda deve ser o mesmo do modelo. Assim o gerador de ondas deve ser capaz de alcançar as alturas de ondas e frequências requeridas. Além disso a direção das ondas em relação ao posicionamento do modelo deve ser controlada. Portanto um gerador de ondas deve basicamente reproduzir no tanque a altura, o período (ou frequência) e a direção da onda de interesse, sem que nenhum outro tipo de perturbação apareça na água proveniente do gerador.

A seguir são mostrados os diferentes tipos de atuadores, sistemas de acionamento, controle e absorvedores, que combinados convenientemente formam os vários tipos de geradores de ondas.

### Tipos de geradores de ondas

Os vários modelos de geradores tem geralmente suas denominações relacionadas com o tipo do atuador utilizado. Ao elemento mecânico em contato direto com a água dá-se o nome de atuador. Em geral, apenas quatro tipos de atuadores são comumente usados nos laboratórios (Bhattacharyya, 1978):

- a) – Placa basculante (“flap type”)                      b) – Cunha (“plunger type”)
- c) – Pneumático    d) – Pistão (“piston type”)

Os tipos de atuadores mencionados acima, são mostrados na Figura 1 extraída de (Bhattacharyya, 1978).

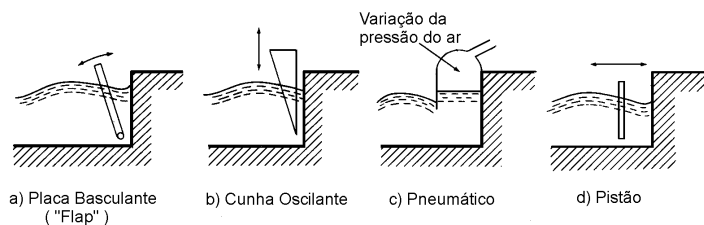


Figura 1 – Tipos atuadores mais utilizados nos laboratórios

O uso desses atuadores pode ser simples, ou seja, um único atuador colocado no tanque gerando ondas em uma única direção, ou o uso múltiplo, em que vários deles são dispostos lado a lado e que controlados de maneira adequada produzem ondas oblíquas em relação a frente do gerador. Esses últimos são chamados de geradores tipo segmentado (“snake-type”).

O atuador mecânico tipo placa basculante (flap type), ou placa articulada, consiste de uma estrutura na forma de um chapa lisa e plana, estruturalmente rígida, colocada dentro do tanque em contato com a água. Essa placa é apoiada em mancal ou outro dispositivo que permita o movimento de basculação do atuador. A placa basculante pode ser instalada no fundo ou a uma profundidade convenientemente adotada. A geração de ondas dá-se pela oscilação dessa placa em torno do ponto de pivotamento. A Figura 1 a) mostra a concepção esquemática da placa basculante. Nota-se o movimento de giro e a trajetória em arco de circunferência no topo da placa descrita pelo movimento.

O atuador tipo pistão (“Piston Type”) tem o princípio de funcionamento análogo do ao atuador de placa basculante, sendo a diferença o movimento horizontal puro dado pela placa do atuador tipo pistão na geração de ondas. A Figura 1 d) mostra a concepção esquemática de um atuador tipo pistão.

Com o atuador tipo cunha ( "plunger type") a onda é gerada pela imersão de um corpo na superfície da água por um movimento oscilatório vertical (Figura 1 b). Geralmente esse corpo tem a forma de uma cunha (daí o nome como é conhecido no Brasil), cujo perfil define sua eficiência. Os perfis mais utilizados são os prismáticos e parabólicos, sendo estes últimos mais eficientes. A resposta ao sinal de entrada tem maior amplificação em altas frequências. O perfil parabólico melhora a resposta nas faixas de frequências mais baixas, conseguindo dessa maneira gerar os espectros de alturas de ondas requeridos para uma razoável faixa de escalas. A elevada inércia desse atuador leva a instalação de potências maiores (Battacharyya, 1978).

Já no uso do atuador tipo pneumático a onda é formada pela variação alternada da pressão do ar dentro de uma câmara na forma de um domo, que é apenas parcialmente imerso na água. A representação esquemática desse atuador pode ser vista na Figura 1 c). O gerador pneumático não é adequado para frequências altas. A válvula que controla a passagem do ar, não tem capacidade para grandes volumes de ar em frequências acima de 1 Hz.

### **Tipos de sistema de acionamento**

Existem vários tipos de acionadores que combinados com mecanismos de movimento podem gerar várias soluções de acionamento. Os mais conhecidos e utilizados são os sistemas hidráulicos e os eletromecânicos.

O sistema de acionamento hidráulico consiste no acionamento através de servoválvulas, que comandam pistões hidráulicos, controlando os fluxos de fluido que são bombeados por um sistema composto de motor, bomba, reservatório de óleo e outros componentes necessários a essa instalação.

O sistema de acionamento eletromecânico é composto por um motor elétrico acionando um mecanismo, que converte o movimento de rotação do eixo do motor no movimento necessário ao tipo de atuador utilizado

### **Tipos de sistemas de controle**

Quanto ao tipo de controle, o de malha aberta é simples e de menor custo, por não exigir nenhum dispositivo adicional aos módulos de potência e controle no caso do motor elétrico ou ao próprio controle da servo válvula no caso do uso de cilindro hidráulico. Essa configuração entretanto, esta sujeita a alguma imprecisão e confiabilidade inferior em relação ao movimento do atuador.

Já o controle com malha fechada tem características de precisão e confiabilidade melhores, mas a um custo e complexidade do sistema maior.

### **Tipos de absorvedores de ondas .**

No tanque de ondas é importante que as condições de mar aberto sejam simuladas tão exatas quanto possível. A reflexão das ondas incidentes que vem das paredes para a área de teste é um dos fatores que perturbam as ondas geradas e incidem no modelo ensaiado. Mesmo quando o tanque é comprido, o modelo pode vir a experimentar reflexões vindas das paredes, principalmente da parede oposta ao gerador de ondas.

Para que a energia das ondas sejam dissipadas e o problema de reflexão minimizado, absorvedores de ondas são instalados na extremidade oposta à do gerador de ondas.

Os absorvedores de ondas mais utilizados são planos inclinados com declividade constante que se estendem desde perto do fundo do tanque até um pouco mais da lâmina d'água. São construídos de concreto, areia, cascalho ou qualquer outro material. A declividade dessas "praias" devem ser suaves para uma eficiente absorção da energia. As inclinações usuais são de 1:6 à 1:10 segundo Ouellet & Datta, apud (Chakrabarti, 1994).

Esse tipo de estrutura é limitado pelo espaço disponível no tanque. Para as inclinações recomendadas acima, o comprimento dos absorvedores tornam-se bastante grandes em função da profundidade do tanque. Para reduzir o comprimento total requerido, pode-se utilizar praias com inclinação variável ou mesmo com perfil parabólico. Essas praias com declividades variáveis, de perfil parabólico ou algumas em arco de circunferência são algumas vezes utilizadas com superfície rugosa ou porosa. Outro tipo de praia artificial para uso em laboratório são os chamados absorvedores de ondas progressivos segundo Le Méhauté, apud (Chakrabarti, 1994). A idéia de um absorvedor progressivo também chamado de absorvedor de ondas vertical por Jamieson & Mansard, apud (Chakrabarti, 1994), consiste de material cuja porosidade decresce na direção posterior do absorvedor de ondas. A sua construção se dá por meio de painéis construídos com chapas perfuradas enfileirados com a variação da porosidade e espaçamento. Este tipo de absorvedor é também utilizado nas laterais do tanque para absorver ondas refletidas nos modelos ensaiados.

## **PROJETO DO GERADOR DE ONDAS**

Descreve-se a seguir as etapas do projeto do gerador de ondas. Algumas restrições limitaram as soluções para essa implantação. O requisito principal é gerar as ondas regulares com alturas e frequências mostradas mais adiante na Figura 6.

### **Seleção do atuador e do sistema de acionamento.**

Dentre as opções de tipos de atuadores visto anteriormente foi selecionado o tipo placa basculante ("flap-

type”). Essa escolha deve-se a sua função de transferência que atende de maneira satisfatória a faixa de frequências requerida.

Para atender aos requisitos do projeto optou-se pela utilização do sistema de acionamento denominado eletro-mecânico., Uma ilustração desse sistema pode ser vista na Figura 2. Todos os componentes desse conjunto foram projetados e selecionados para atender aos requisitos de velocidade e força exigidos pelo atuador dentro da faixa de frequências solicitada no projeto.

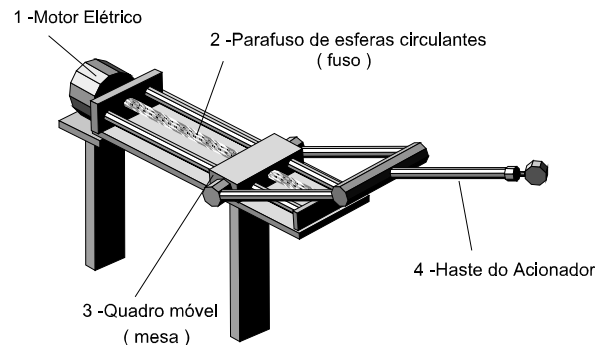


Figura 2 – Sistema de acionamento

O tipo de motor escolhido para o sistema de acionamento do gerador de ondas é um servomotor, que consiste num motor elétrico trifásico com ímãs permanentes e comutação eletrônica. Na Figura 3 mostra-se um esquema ilustrativo do gerador de ondas com os principais componentes: sistema de acionamento, atuador e controle.

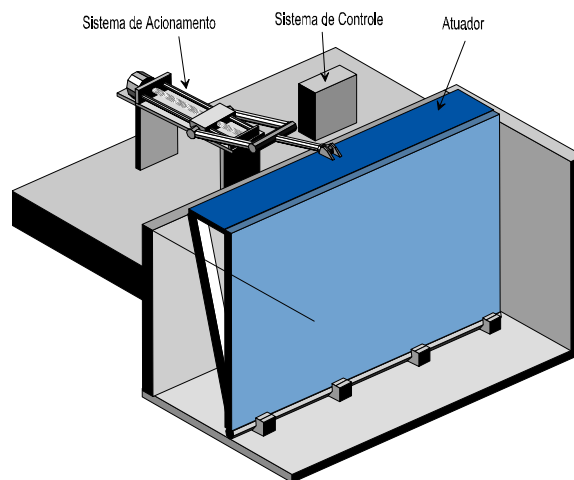


Figura 3 – Esquema ilustrativo do gerador de ondas projetado e construído

### Absorvedor de ondas.

O absorvedor de ondas projetado e instalado na extremidade oposta ao gerador de ondas é do tipo passivo na forma de plano inclinado.

Devido ao restrito comprimento do tanque e a interação com outras atividades, em especial os ensaios de reboque de modelos de embarcações, optou-se pela alteração da inclinação do absorvedor. Assim o absorvedor foi construído em madeira devidamente tratada, com duas rampas inclinadas, cujas declividades são fixas. A superfície é impermeável e rugosa. As dimensões e as declividades do absorvedor instalado no tanque são mostradas na Figura 4.

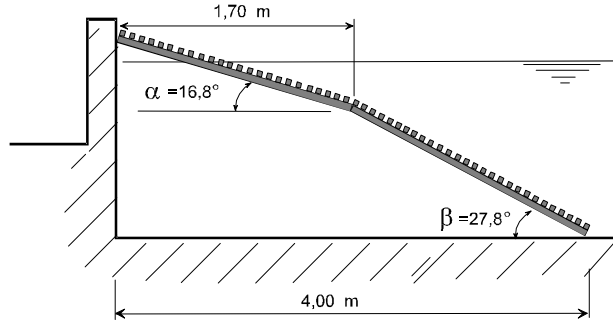


Figura 4 – Absorvedor passivo com dupla rampa inclinada

## MODELO MATEMÁTICO DO GERADOR DE ONDAS

### Modelo do atuador

A teoria do gerador de ondas para ondas planas produzidas por uma placa é baseada na teoria do potencial de velocidade com a hipótese de pequenas amplitudes de movimento do gerador de tal modo que as equações possam ser linearizadas. A relação entre a altura da onda e o deslocamento do atuador do gerador de ondas segundo demonstrado em é dada pela seguinte equação (Dean e Dalrymple, 1984):

$$\frac{H}{S} = 4 \left( \frac{\sinh(k_p h)}{k_p h} \right) \frac{k_p h \sinh(k_p h) - \cosh(k_p h) + 1}{\sinh(2k_p h) + 2k_p h} \quad (1)$$

onde  $H$  é a altura da onda gerada no tanque;  $S$  é o deslocamento horizontal da placa na cota da lâmina d'água;  $h$  é a profundidade do tanque que também é a cota do eixo de pivotação;  $k_p$  é o número de onda ( $2\pi/L$ ), onde  $L$  é o comprimento da onda.

### Força de acionamento

Uma outra relação importante é a força no haste do acionador em função da frequência para estimar a potência necessária do motor elétrico. Esta força depende das reações hidrodinâmicas e inerciais e do momento provocado pelo peso do atuador. Em Souza e Morishita (2003) a força em função da frequência pode ser calculada como:

$$F = \frac{M_h + M_i + M_p}{B} \quad (2)$$

onde  $M_h$ ,  $M_i$  e  $M_p$  são os momentos devidos à reação hidrodinâmica, inércia do atuador e ao peso em relação ao centro dos mancais e  $B$  é a distância entre o centro do mancal e o ponto de conexão da haste no atuador.

O momento devido à reação hidrodinâmica pode ser estimado integrando a pressão ao longo da superfície molhada do atuador. A pressão pode ser obtida através do potencial de velocidade e o momento resultante é:

$$M_h = a_1 \cos(\omega t) + a_2 \sin(\omega t) \quad (3)$$

onde:

$$a_1 = -\frac{2 \omega L \rho A_p}{k_p} \left( h \sin(k_p h) + \frac{1 - \cosh(k_p h)}{k_p} \right) \quad (4)$$

$$a_2 = -2 \omega L \rho \sum_{m=1}^{m_f} C_m(m) \frac{1}{k_s(m)} \left( h \sin[k_s(m)h] + \frac{\cos[k_s(m)h] - 1}{k_s(m)} \right) \quad (5)$$

$$A_p = \frac{S_0 \omega}{2} \frac{1}{k_p^2} \frac{\sinh(k_p h) + \frac{1}{hk_p} [1 - \cosh(k_p h)]}{\frac{\sinh(2k_p h)}{4k_p} + \frac{h}{2}} \quad (6)$$

$$C_m = \frac{S_0 \omega}{2k_s^2(m)} \frac{\frac{\sin[k_s(m)h]}{k_s(m)} + \frac{1}{hk_s(m)} [\cos[k_s(m)h] - 1]}{\frac{\sin[2k_s(m)h]}{4k_s(m)} + \frac{h}{2}} \quad (7)$$

Os parâmetros  $k_p$  and  $k_s$ , que são o número de onda para ondas progressivas e estacionárias respectivamente, são determinadas através das seguintes equações:

$$\omega^2 = gk_p \tanh(k_p h) \quad (8)$$

$$\omega^2 = -gk_s \tan(k_s h) \quad (9)$$

$S_0$  é o deslocamento máximo do atuador na linha d'água.

Admitindo-se que o movimento do atuador seja senoidal o momento de reação inercial é dado por:

$$M_i = I \frac{d^2 \theta}{dt^2} = I \omega^2 \sin \omega t \quad (10)$$

onde  $I$  é a inércia do atuador em torno do eixo longitudinal que passa no centro do mancal. Já a força necessária para contrabalançar o momento provocado pelo peso é:

$$M_w = W x_g \quad (11)$$

onde  $W$  é o peso do atuador e  $x_g$  é a distância entre o centro de gravidade do atuador e o eixo longitudinal que passa no mancal. O centro de gravidade do atuador não está localizado no seu plano de simetria vertical pois na sua parte posterior estão posicionados os reforços estruturais. Desta forma há um momento mesmo para o atuador na posição vertical. Uma maneira simples de expressar este efeito no braço do momento é através de:

$$x_g = x_{g0} + h_g \theta_0 \sin(\omega t) \quad (12)$$

onde  $x_{g0}$  é a distância do centro de gravidade do atuador para  $\theta=0$  e  $h_g$  é a altura do centro de gravidade.

## ANÁLISE DE DESEMPENHO DO GERADOR DE ONDAS

Para verificar o desempenho do sistema de geração de ondas foram efetuadas uma série de medidas experimentais. A partir destes resultados foram efetuadas as análises. As variáveis que interessam diretamente para a análise do desempenho de um gerador de ondas são o deslocamento do atuador e a altura de onda realmente gerada em um determinado ponto para uma dada frequência e uma determinada lâmina d'água. A altura das ondas e o deslocamento do atuador foram medidas, respectivamente, através de um ondômetro resistivo e de um potenciômetro linear. Foram efetuadas também medidas da força total de acionamento. Um esquema geral do arranjo experimental é mostrado na Fig. 5.

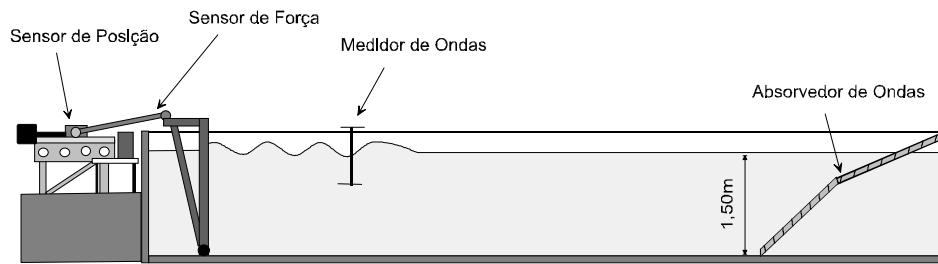


Figura 5 – Diagrama esquemático do arranjo experimental

### Análise dos resultados.

A primeira análise corresponde ao desempenho do gerador de ondas no que diz respeito ao principal requisito de projeto, ou seja a verificação do funcionamento em geral e sua capacidade de atingir as frequências e as alturas de ondas requeridas. Esta análise é mostrada na Figura 6.

Pode-se notar que o gerador de ondas alcança as alturas de ondas requeridas em toda a faixa de frequências. A declividade média das ondas requeridas é de 3,5%.

Além da obtenção de dados para a análise de desempenho, durante os ensaios também foram observados outros aspectos relativos ao funcionamento do sistema de acionamento e de interação entre o gerador e o tanque. Comenta-se a seguir e na próxima seção alguns desses aspectos.

Devido ao curso disponível do atuador, pode-se gerar ondas com alturas maiores, porém a inexistência de um absorvedor na parte posterior do atuador impede a sua realização devido a agitação excessiva da água.

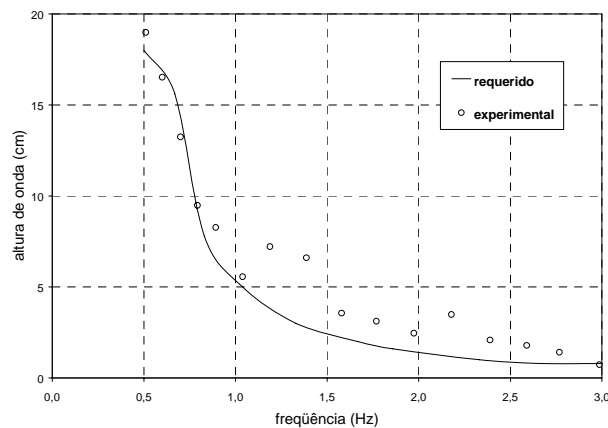


Figura 6 – Comparação das alturas de ondas.

Um outro dado que foi obtido e analisado é a função de transferência do atuador. A Figura 7 compara a função de transferência teórica e a obtida experimentalmente. Em torno da função teórica é delimitada uma faixa de  $\pm 3\%$  de desvio para auxílio da análise dos resultados experimentais. O desvio de 3% foi adotado arbitrariamente, mas engloba os erros experimentais. Ainda para facilitar a análise os pontos experimentais foram divididos em três conjuntos em função da declividade (H/L) da onda gerada.

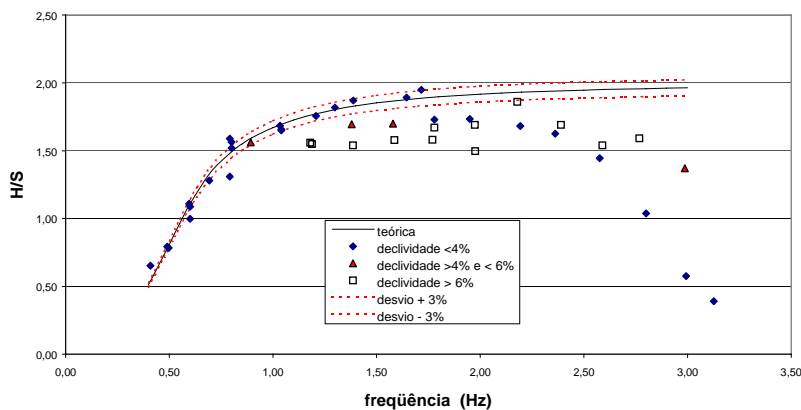


Figura 7 – Comparação da função de transferência teórica e experimental

Pode-se notar no gráfico da Figura 7 que os pontos com declividade menor que 4% ficam dentro da faixa até a frequência de 1,7 Hz. Já os pontos com declividade da onda acima de 4% estão afastados sistematicamente a uma média superior ao desvio adotado de 3%.

Esta constatação é esperada, uma vez que a teoria linear de ondas, na qual a teoria do gerador de ondas foi baseada, assume a hipótese de pequenas amplitudes das ondas. Pode-se notar em algumas frequências que quanto maior a declividade o valor da resposta experimental afasta-se mais da curva teórica.

Mas, constata-se ainda no gráfico da figura 7 que os pontos com declividade baixa situados acima da frequência de 1,7 Hz vão se afastando sistematicamente da curva teórica, chegando a valores de resposta extremamente pequenos. Ficam inclusive abaixo dos pontos com declividades maiores. A justificativa para esta ocorrência, está no fato de que a montagem do atuador no tanque é do tipo molhada, portanto com água na parte posterior do atuador. Como não existe absorvedor atrás do atuador, há a geração de ondas entre a parede e o atuador. Em algumas frequências o fenômeno de ressonância amplifica a amplitude desta onda, fazendo com que apareça um fluxo de água que atravessa a fresta existente entre as extremidades do atuador e as paredes laterais do tanque. Com isso ondas transversais são criadas na frente do atuador. As amplitudes destas ondas transversais são em algumas frequências amplificadas pela ressonância devido as paredes laterais do tanque, vindo a sobrepor às ondas longitudinais, podendo em alguns casos atenuar suas amplitudes. Assim no caso das ondas de pequena declividade acima de 1,7 Hz, onde suas amplitudes são consideravelmente pequenas, essa sobreposição e atenuação leva a resultados de valores afastados do previsto. Nos ensaios onde foram repetidos os mesmos parâmetros de controle do gerador de ondas, notou-se um boa repetibilidade das variáveis medidas.

A terceira análise desenvolvida é a verificação da potência exigida pelo sistema. Para isso, foram utilizadas as medidas experimentais da força total de acionamento comparadas com a curva teórica calculada através da equação (2). Relacionou-se a razão da amplitude máxima da força medida pela amplitude do movimento do atuador em função da frequência, obtendo-se o gráfico mostrado na Fig. 8.

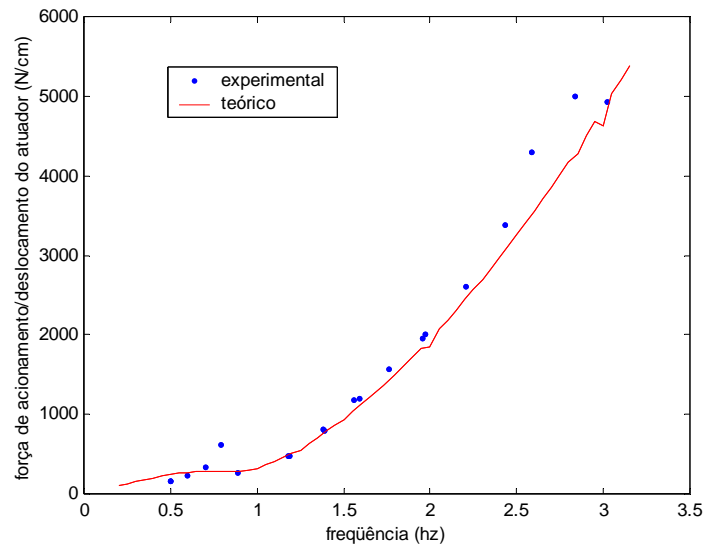


Figura 8 – Variação da razão força de acionamento por deslocamento do atuador

### Análise Crítica do Critério Adotado para o Projeto.

Após as análises dos resultados obtidos e observações visuais durante os ensaios, pode-se avaliar o procedimento e os vários critérios adotados na fase de projeto. Além disso, o conhecimento adquirido com o presente trabalho permite uma análise crítica dos critérios estabelecidos anteriormente.

A sugestão atual, após o término deste trabalho é que se estude a viabilidade de instalar um absorvedor do tipo progressivo ou o estudo de novos ângulos para o atual. Esse estudo do absorvedor do tipo progressivo também pode ser utilizado para a implantação de um absorvedor posicionado atrás do atuador. Também sugere-se a diminuição das frestas laterais do atuador. Outras sugestões são relativas ao modo de acionamento do gerador, propagação das ondas e suas reflexões longitudinais e transversais.

### CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que o gerador projetado e instalado alcançou todos os requisitos de projeto estabelecidos.

Uma comparação entre as curvas teórica e experimental da função de transferência do atuador indicou claramente que a teoria de ondas de pequenas amplitudes é válida somente para declividades baixas. Isto foi constatado para a faixa de 0,5 a 1,7 Hz. Para frequências acima de 1,7 Hz não foi possível observar essa tendência por causa de ondas espúrias que interferiram na altura da onda gerada.

Para a previsão da força de acionamento a teoria do potencial de velocidade linear também mostrou-se precisa quando comparada com os resultados experimentais, conforme mostra a figura 8. Essa previsão é bastante útil na determinação da potência a ser instalada no gerador de ondas.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BHATTACHARYYA, R. **Dynamics of marine vehicles**. New York: John Willey & Sons, 1978.
- CHAKRABARTI, S. K. **Offshore structure modeling**. New Jersey: World Scientific, 1994. (Advanced series on ocean engineering, v. 9)
- CONTI, M. B.de; SOUZA, G. F. M. de; SOUZA, C. A. G. F. de. Proposta de concepção de sistema de geração de ondas para instalações laboratoriais dedicadas ao estudo do comportamento de sistemas oceânicos. In: **Seminário de instrumentação do instituto brasileiro do petróleo**, 8, Rio de Janeiro, 1989.
- DEAN, R. G.; DALRYMPLE, R. A. **Water wave mechanics for engineers and scientists**. 2nd ed. New Jersey: World Scientific, 1991. (Advanced series on ocean engineering, v. 2)
- DIAS, C. A. N. **On wave generator's design: introductory theory and application**. Estudo Técnico nº 280/1981, Escritório Técnico de Construção Naval em São Paulo, Ministério da Marinha, 1981.
- LE MÉHAUTÉ, B.. **An Introduction to hydrodynamics and water waves**. New York: Springer-Verlag, 1976.
- NOHARA, B. T. A survey of generations of ocean waves in a test basin. (em CD-rom). In: **Brazilian congress of mechanical engineering**, 14. Bauru/SP: COBEM, 1997.
- RAHMAN, M., **Water waves: relating modern theory to advanced engineering practice**. Oxford: Clarendon Press, 1995.

SOUZA, C. A. G. F. de; MARTINS, J. A. A.; MORISHITA, H. M.; ANDRADE, B. L. R.; BRINATI, H. L. Desenvolvimento e implantação de um tanque de ondas para ensaios oceânicos. (em CD-Rom). In: **Congresso nacional de transportes marítimos, construção naval e offshore**, 17. Rio de Janeiro: SOBENA, 1998.

SOUZA, C. A. G. F. de. **Implantação e análise de desempenho de um gerador de ondas tipo placa basculante**. 2002. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica, USP, São Paulo.

SOUZA, C. A. G. F. de; MORISHITA, H. M.; Evaluation of a flap type wave generator. Trabalho submetido ao **Brazilian congress of mechanical engineering**, COBEM, 2003.

URSELL, F. et al. Forced small amplitude water waves: a comparison of theory and experiment. **J. of Fluid Mechanics.**, v. 7, parte 1, p. 33-52, 1960.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Depto. de Engenharia Naval e Oceânica da EPUSP e também à Marlei Silveira de Araujo pelas ilustrações e ao João Alcino A. Martins pela colaboração durante os ensaios.