



## DESENVOLVIMENTO DE UMA TÉCNICA DE IMPEDÂNCIA MECÂNICA PARA TESTES DE TRANSDUTORES HIDROACÚSTICOS EM ALTA POTÊNCIA NO AR

**Orlando de J. Ribeiro Afonso**

**Fernando L. de Magalhães**

Instituto de Pesquisas da Marinha, Grupo de Sonar  
21931-090 - Rio de Janeiro, RJ, Brasil

**Resumo.** *O objetivo do trabalho é apresentar o desenvolvimento de uma técnica para a realização de testes, no ar, de transdutores piezoelétricos hidroacústicos em alta potência. A fim de simular o comportamento dinâmico do meio hidroacústico, é acoplado sobre a face emissora do transdutor em teste um outro transdutor piezoelétrico, denominado Dumiload ("Dummy Mechanical Impedance Load"), com características mecânicas e eletroacústicas especiais. Neste sentido, através da utilização de um circuito elétrico associado aos terminais do Dumiload, carregamentos dinâmicos de diferentes naturezas podem ser impostos à face ativa do transdutor em teste, gerando padrões de resposta similares às encontradas pelo transdutor quando mergulhado na água. Ilustra o desenvolvimento da técnica, sua aplicação a transdutores piezoelétricos do tipo Tonpilz, comparando-se os resultados obtidos no ar através do Dumiload com os determinados pelas técnicas convencionais de calibração em ambientes hidroacústicos.*

**Palavras-chave:** *Acústica, Piezoeletricidade, Transdutores hidroacústicos*

### 1. INTRODUÇÃO

De uma maneira geral, a realização de testes hidroacústicos em transdutores sonar implica na utilização de tanques de água de dimensões avantajadas ou conduz a operações em mar aberto. Especialmente em testes de laboratório com transdutores projetores que operem em alta potência, pode ser necessário o emprego de vasos de pressão hidrostática visando evitar a cavitação nas faces de transmissão acústica. Contudo, testes hidroacústicos em tais ambientes são particularmente onerosos e demorados, principalmente quando aplicados a uma linha seriada de produção de transdutores. Além disto, ao longo das diversas etapas de projeto de um transdutor hidroacústico piezoelétrico, é comum ser necessário que sejam obtidos, nos componentes dinâmicos internos, os valores de parâmetros de desempenho do conjunto de transdução, tais como os perfis de distribuição de temperatura e de deslocamento modal. A fim de solucionar tais restrições, foi desenvolvida uma técnica denominada Dumiload ("Dummy Mechanical Impedance Load"), para testes de transdutores piezoelétricos no ar. Por esta técnica, a face irradiante do transdutor a ser testado é acoplada mecanicamente a um meio com propriedades elásticas e dinâmicas similares

às propriedades da água, na profundidade compatível às condições reais de operação.

Constam da literatura ostensiva três tipos básicos de Dumiload (Afonso, 1999). Não obstante estes sejam empregados com a mesma finalidade, a aplicação específica de cada tipo é definida a partir de diversos parâmetros intrínsecos ao transdutor a ser testado e ao sistema de testes como um todo. Neste sentido, Woollett (1968) descreve um primeiro tipo de Dumiload, denominado “Vaso com Transdutor de Terminação”, cujo sistema de teste é formado por um vaso cilíndrico, cheio de água, com um transdutor de terminação e o transdutor a ser testado instalados em extremidades opostas. Embora ambos sejam excitados eletricamente, o transdutor de terminação tem o sinal elétrico controlado em amplitude e fase até que haja a formação de um sistema de ondas estacionárias que imponha, na face do transdutor em teste, a impedância acústica desejada. Este modelo é utilizado para transdutores que não tenham uma face irradiante acústica plana ou do tipo pistão, necessitando de um meio líquido para realizar o acoplamento com o sistema de carga. Para que tais transdutores possam ser testados com potências elevadas, deverá o vaso ser pressurizado a um nível hidrostático superior à pressão acústica gerada na face dos transdutores. Além deste inconveniente, dependendo da estrutura do transdutor em teste o acesso ao seu interior poderá ser dificultado.

Como segundo tipo de Dumiload, cabe citar o que utiliza como carga mecânica um transdutor de características similares ao transdutor a ser testado (Auyer & Miller, 1976). Neste caso, os transdutores são mantidos acoplados em suas faces frontais através da aplicação de uma força estática compressiva, com magnitude suficiente para manter as superfícies, no mínimo, sob o valor de pressão equivalente à profundidade necessária para testar o transdutor na água. Nos terminais do conjunto cerâmico do transdutor de carga, é conectado um circuito elétrico composto por componentes passivos que, em uma configuração específica, permite a simulação da impedância desejada. A potência elétrica aplicada, após convertida em energia mecânica (acústica) pelo transdutor em teste e em energia elétrica pelo transdutor de carga, é dissipada na forma de calor pelos componentes do circuito elétrico conectados em seus terminais. Tal modelo de Dumiload é especialmente adequado para realização de testes em transdutores do tipo *tonpilz*, utilizados em grande escala em *arrays* de sonares ativos.

Mais recentemente, foi desenvolvido por Dunn (1987) um sistema Dumiload do tipo “Haste de Acoplamento”, derivado das técnicas de acoplamento mecânico aplicadas a transdutores de ultrassom. Este tipo de sistema utiliza uma haste acoplada à face irradiante do transdutor em teste, com pelo menos duas seções de diâmetros diferentes e confeccionada em um material capaz de absorver ou dissipar a energia acústica. Em função do valor de impedância mecânica a ser simulado (representado por um número complexo composto pela contribuição da primeira seção na formação da parte reativa e da segunda seção - a mais longa - na formação da parte resistiva), são definidos o material da haste, o comprimento e o diâmetro das seções. Convém notar que este tipo de Dumiload mostra-se mais adequado a transdutores cuja face irradiante seja plana e rígida, incluindo-se transdutores do tipo *tonpilz*. Além disto, embora a carga do tipo “Haste de Acoplamento” se caracterize por sua simplicidade de implementação, sua utilização deve ser avaliada com relação à potência de transmissão, duração do sinal de transmissão e frequência de teste.

A partir das restrições que caracterizam cada um dos tipos básicos de Dumiload, o presente trabalho objetiva delinear o desenvolvimento de uma técnica para a realização de testes, no ar, de transdutores piezoelétricos hidroacústicos em alta potência. Dentro deste escopo, a técnica de Dumiload aqui proposta teve como requisitos fundamentais ser de implementação simples e econômica, permitir o acesso ao interior do transdutor em teste para a realização de medidas diversas nos componentes dinâmicos internos e não apresentar restrições quanto ao nível de potência do teste, podendo, inclusive, operar com sinais de teste contínuos. A título de análise de desempe-

no, são indicados os principais estudos teóricos realizados para o modelamento do comportamento dinâmico do Dumiload e apresentados os resultados dos testes iniciais com um modelo de transdutor do tipo tonpiz, empregado em um sonar ativo de médio alcance. Como objetivo complementar, procura-se divulgar o desenvolvimento analítico e a aplicação prática de uma técnica de grande utilidade na avaliação e teste de transdutores hidroacústicos piezoelétricos do tipo tonpiz, ou similar, cuja discussão tem permanecido restrita a relatórios internos de organizações de cunho militar ou comercial, normalmente de acesso restrito.

## 2. CONFIGURAÇÃO DO DUMILOAD

Para definição de um tipo de Dumiload, visando aplicá-lo a um modelo específico de transdutor piezoelétrico, devem ser considerados aspectos referentes ao transdutor (incluindo-se os parâmetros elétricos e acústicos que o caracterizam, suas dimensões físicas, geometria e configuração mecânica), referentes aos requisitos de teste (tipo de sinal de teste, contínuo ou pulsado e respectivo nível de potência, faixa de frequências de operação, etc.), ao arranjo mecânico necessário à implementação do modelo e aos equipamentos auxiliares a serem utilizados na execução dos testes. No que concerne ao transdutor a ser testado, optou-se por um transdutor do tipo tonpiz, uma vez ser este o tipo mais usual de elemento empregado em sonares. Este tipo de transdutor (Magalhães & Afonso, 1998), em seu interior ou conjunto de transdução, é constituído basicamente de uma pilha cerâmica piezoelétrica polarizada longitudinalmente, comprimida através de um parafuso central entre duas massas. A massa de menor inércia age como elemento de recepção durante a operação do sonar no modo passivo, ou de projeção durante os intervalos de transmissão acústica. A massa maior tem como função dinâmica atuar como elemento de inércia para que a energia de vibração se concentre na massa frontal. A face ativa de um transdutor tonpiz apresenta uma seção circular plana e, para faixa de frequências de operação que o caracteriza, comporta-se como um pistão rígido. A pilha piezoelétrica é composta por anéis cerâmicos colados entre si e intermediados por eletrodos metálicos na forma de telas ou chapas perfuradas, em uma associação mecânica em série e eletricamente em paralelo. O conjunto de transdução é protegido através de uma carcaça ou vaso metálico estanque, ficando apenas a face ativa da massa frontal em contato com a água.

Em relação à resposta eletroacústica do transdutor a ser testado, os principais parâmetros de influência para a definição do tipo de Dumiload são: frequência mínima de operação (11 kHz), frequência nominal de operação (11,5 kHz), frequência de ressonância principal ( $11,5 \pm 0,3$  kHz), frequência máxima de operação (12 kHz), tensão nominal de operação a 11,5 kHz (235 Vrms), potência nominal de operação a 11,5 kHz (20 W), profundidade nominal de operação ( $\geq 4$  m), máxima largura de pulso de transmissão (30 ms). Um outro requisito para a definição do tipo de Dumiload foi que a técnica e o sistema de testes adotados permitissem o acesso ao interior do transdutor em teste.

A partir de tais características e em função das restrições pertinentes a cada um dos tipos básicos de Dumiload, optou-se por desenvolver um sistema de testes que utilize como carga mecânica um transdutor de características similares ao transdutor a ser testado. Cabe ressaltar que, além de ser de implementação complexa e por normalmente não proporcionar acesso ao interior do transdutor em teste, o modelo que utiliza um vaso com transdutor de terminação não é indicado para testar transdutores do tipo tonpiz. Por sua vez, embora o tipo de Dumiload que é constituído de uma haste de acoplamento seja o de maior simplicidade de implementação, não foi adotado visto que a sua aplicação torna-se extremamente específica a cada modelo de transdutor e dependente das condições de teste. A título de exemplo, de acordo com as características funcio-

nais do transdutor a ser testado, a menor frequência de teste deve ser de, pelo menos, 11 kHz e a duração do sinal de teste de, pelo menos, 30 ms, correspondente a um total 330 ciclos de 11 kHz. Nestas condições, o comprimento mínimo da haste, no caso de ser confeccionada de uma resina epoxi, seria de 52,5 metros, inviabilizando a sua utilização para a aplicação pretendida.

O modelo que utiliza um transdutor de carga, representado esquematicamente na Figura 1, por ser adequado ao tipo de transdutor a ser testado e não apresentar restrições em relação às condições do teste (faixa de frequências, nível de potência, tipo de sinal de transmissão, etc.) foi o escolhido para ser desenvolvido no presente trabalho.

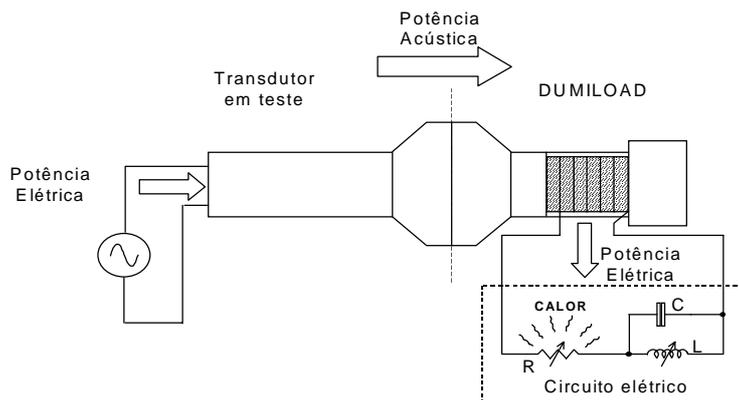


Figura 1 - Diagrama esquemático do DUMILOAD tipo "transdutor de carga".

Neste sentido, o modelo proposto utiliza um segundo transdutor, o transdutor Dumiload, acoplado ao transdutor em teste por contato físico face a face. O circuito elétrico de carga, conectado aos terminais do transdutor de carga, é ajustado para que o transdutor em teste apresente, na maior faixa de frequências possível, um valor de admitância de entrada em conformidade com o obtido com o transdutor na água e em condições normais de operação (pressão ambiente, temperatura, profundidade, etc.), medida diretamente nos seus terminais elétricos. Nestas condições, o transdutor em teste pode, então, ser excitado por um sinal contínuo ou pulsado e todas as medidas pertinentes serem realizadas, como, por exemplo, a obtenção do valor do nível de transmissão através da potência elétrica dissipada sobre o componente resistivo do circuito elétrico de carga. Além disto, por ser permitido o acesso ao interior do transdutor, podem ser realizadas medidas de deslocamento modal e do perfil de distribuição da temperatura dos componentes internos. Note-se que, por ser realizado em um ambiente de laboratório, facilmente podem ser variadas as condições ambientais, tais como temperatura e umidade, submetendo o transdutor em teste a condições múltiplas de operação, extremamente difíceis de serem simuladas em condições normais de teste em grandes tanques de água ou mesmo em câmaras hidrostáticas.

### 3. MODELAGEM DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DO CONJUNTO TRANSDUTOR/DUMILOAD

#### 3.1 Desenvolvimento do modelo analítico

Sabe-se que os modelos de circuitos equivalentes a parâmetros distribuídos, com base em analogia por linhas de transmissão, são de especial acurácia à análise de transdutores cujas estruturas mecânicas apresentem, para a mesma direção de vibração, mais de um modo de ressonância na faixa de frequências de análise. No entanto, ao se analisar as curvas de admitância do trans-

ductor a ser testado, verificou-se que o mesmo apresentou uma única e bem definida frequência de ressonância na faixa de frequências de interesse. Rosenthal & Mikuteit (1959) mostram que, para os transdutores do tipo tonpilz com tal característica, são desprezíveis as diferenças nos resultados das análises realizadas através da aplicação de modelos a parâmetros concentrados ou distribuídos. Acrescente-se também que, em um caso particular onde o transdutor a ser analisado já esteja construído e apresente um único e bem definido modo de ressonância, na faixa de frequências de interesse, Stansfield (1991) constata que os resultados da análise são mais precisos quando o transdutor é representado por um modelo analítico com parâmetros eletroacústicos previamente definidos através da medida direta da admitância em seus terminais. Cabe observar que, dentro dos objetivos deste trabalho, é um item de fundamental importância a acurácia do modelo utilizado para a representação do conjunto transdutor em teste/Dumiload, sem, no entanto, desprezarem-se as facilidades de implementação e resolução. Como resultado, apresenta-se na Figura 2 o diagrama esquemático do circuito eletromecânico equivalente do sistema de testes, por associação do circuito equivalente do transdutor em teste, com o circuito equivalente do transdutor Dumiload e com circuito elétrico de carga.

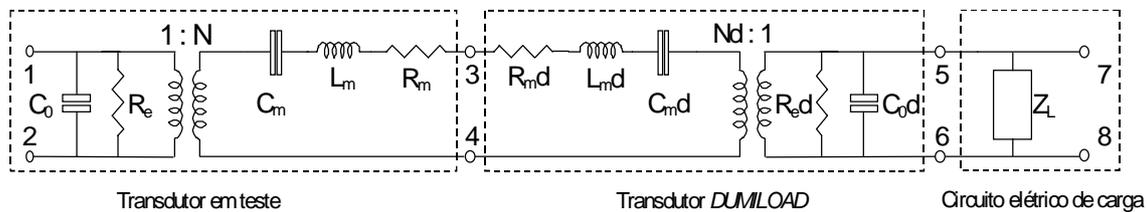


Figura 2 - Circuito eletromecânico equivalente do conjunto de teste.

No circuito indicado na Fig. 2, os componentes  $C_0$  e  $C_{0d}$  correspondem, respectivamente, ao valor da capacitância de bloqueio do transdutor em teste e do transdutor Dumiload (valor da capacitância que seria obtido se o transdutor pudesse ser totalmente bloqueado),  $R_e$  e  $R_{ed}$  correspondem ao fator de perdas dielétricas do conjunto cerâmico,  $C_m$  e  $C_{md}$  correspondem à associação dos valores de compliância das cerâmicas, adesivo, eletrodos, parafuso central e de eventuais elementos elásticos do conjunto de transdução,  $L_m$  e  $L_{md}$  correspondem ao valor da massa efetiva,  $N$  e  $Nd$  correspondem aos fatores de conversão eletromecânica e  $Z_L$  representa a impedância elétrica do circuito de carga.

O valor da impedância  $Z_L$  deve ser tal que leve o conjunto transdutor Dumiload/circuito elétrico de carga a reproduzir, para o transdutor em teste em sua face irradiante, um valor de impedância mecânica igual ao da impedância de irradiação imposta pelo meio hidroacústico, na maior faixa de frequências possível em torno da frequência fundamental de ressonância longitudinal. Assim sendo, através da representação matemática da impedância de irradiação de um transdutor do tipo pistão instalado em uma anteparo de dimensões infinitas, representada pela expressão  $R_R + jX_R$  (Kinsler & Frey, 1962), podem ser determinados os valores de  $Z_L$  avaliando-se a seguinte equação:

$$Z_L = \frac{1}{\frac{Nd^2}{R_R + jX_R - Nd^2 j\omega L_{1d} - \frac{Nd^2}{j\omega C_{1d}} - Nd^2 R_{1d}} - j\omega C_{0d} - \frac{1}{R_{ed}}} \quad (1)$$

Para a definição da Eq. (1), os valores dos parâmetros mecânicos do transdutor Dumiload, ou

seja,  $C_{md}$ ,  $L_{md}$  e  $R_{md}$ , foram substituídos pelos correspondentes equivalentes elétricos, conforme as relações:  $C_{md}=C_{1d}/Nd^2$ ,  $L_{md}=L_{1d} \times Nd^2$  e  $R_{md}=R_{1d} \times Nd^2$ .

O circuito eletromecânico resultante para o conjunto transdutor em teste/transdutor Dumiload/circuito elétrico de carga está representado na Figura 3.

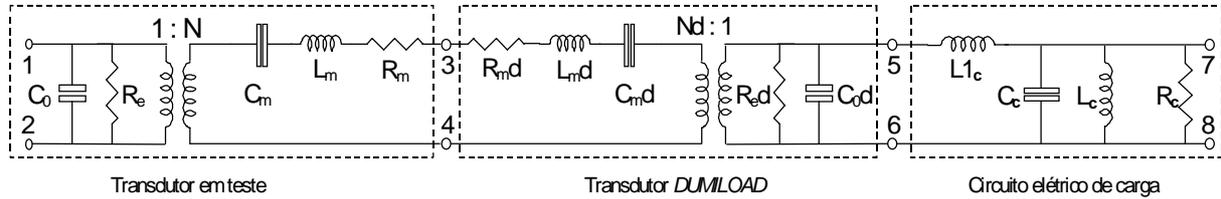


Figura 3 - Circuito eletromecânico equivalente do conjunto transdutor em teste + transdutor DUMILOAD + circuito elétrico de carga.

Convém ressaltar que, na Fig. 3, os terminais 1 e 2 correspondem aos terminais elétricos do transdutor em teste, os terminais 3 e 4 correspondem à interface de acoplamento entre as faces dos dois transdutores, os terminais 5 e 6 correspondem aos terminais elétricos do transdutor Dumiload e, finalmente, os terminais 7 e 8 correspondem à saída do circuito elétrico de carga.

### 3.2 Desenho teórico do DUMILOAD

Como uma primeira etapa do projeto de um transdutor Dumiload, com base nas afirmações de Woollett (1968) e de Auyer & Miller (1976), referentes à condição de similaridade entre o transdutor em teste e o transdutor Dumiload, optou-se por desenvolver um modelo de Dumiload (denominado tipo 0) utilizando, como transdutor de carga, um transdutor idêntico ao transdutor a ser testado. Os resultados analíticos obtidos mostraram-se satisfatórios, porém, limitando a utilização do conjunto a uma reduzida faixa de frequências de teste, cerca de 2,2% do valor da frequência fundamental de ressonância, no modo longitudinal, do transdutor em teste. Dados práticos permitem afirmar que tal valor para a banda de frequências de teste é incompatível com a variação normalmente encontrada nas linhas de produção, mesmo para transdutores de um mesmo lote de fabricação.

Em consequência, a partir da análise dos resultados obtidos com o modelo de Dumiload tipo 0, foi desenvolvido o projeto de um segundo transdutor de carga (denominado tipo 1), também do tipo tonpizl e compatível dimensional e geometricamente com o transdutor em teste, mas com características especiais, principalmente nos aspectos que envolvem o valor do fator de qualidade mecânico e da frequência fundamental de ressonância no modo longitudinal. Também neste caso, os resultados analíticos obtidos mantiveram requisitos adequados de acurácia, porém, em uma faixa de frequências que se estendeu a cerca de 7% do valor da frequência fundamental de ressonância do transdutor em teste. Este valor é totalmente compatível com a variação encontrada nas linhas de produção, normalmente em até 5% (Magalhães & Afonso, 1998).

A título de ilustração, apresenta-se na Figura 4 o gráfico comparativo dos valores de condutância e susceptância do transdutor em teste, medidos com o transdutor na água, com os valores teóricos obtidos considerando-se o modelo analítico do transdutor acoplado ao Dumiload tipo 1. A escala de frequências das curvas corresponde à faixa mínima de trabalho prevista para a operação do Dumiload quando acoplado ao transdutor em teste, cuja frequência fundamental de ressonância, no modo longitudinal, é de 11380 Hz. Conforme pode ser observado, as curvas teóricas e experimentais apresentam significativa concordância.

Na Figura 5, estão representadas a curva de resposta de transmissão, obtida com o transdutor em teste na água e a curva teórica de transmissão definida a partir do cálculo da potência dissipada sobre o resistor  $R_c$  do circuito elétrico de carga.

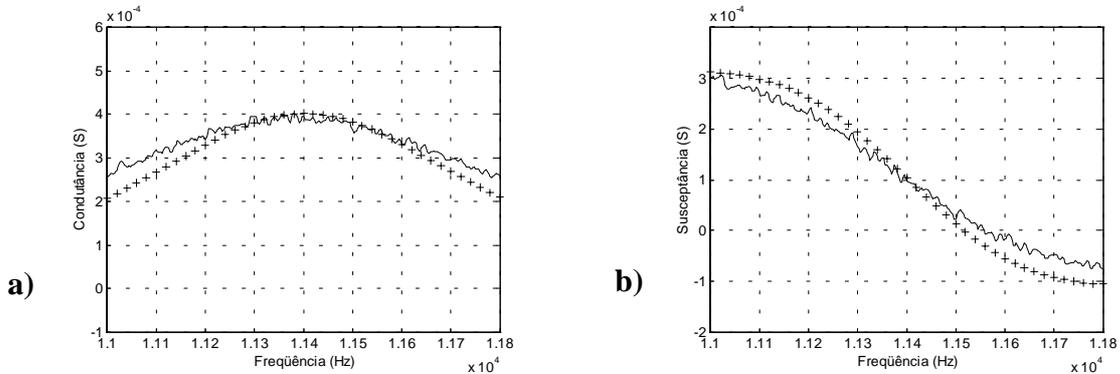


Figura 4 - Gráfico comparativo entre os valores de admitância medidos com o transdutor na água (—) e os valores teóricos obtidos com transdutor acoplado ao Dumiload tipo 1 (++) .a) Detalhe da curva de condutância. b) Detalhe da curva de susceptância.

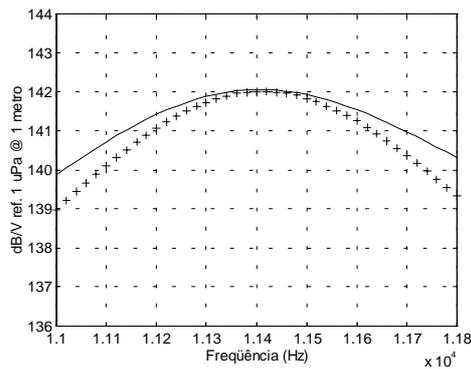


Figura 5 - Gráfico comparativo da curva de resposta de transmissão, obtida com o transdutor em teste na água (-) e a curva teórica definida no circuito elétrico de carga (++) , para o Dumiload tipo 1.

Convém atentar que a redução de cerca de 1 dB no nível de transmissão, verificada nos limites da faixa de frequências de operação (11 kHz e 11,8 kHz) conforme indica a Fig. 5, mostra-se em concordância com as diferenças apresentadas, nesses mesmos pontos, pela curva de condutância, Fig. 4 a.

#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Durante os testes, os transdutores foram submetidos a uma força compressiva estática superior ao valor de pico da força dinâmica gerada nos ciclos de expansão da pilha piezoelétrica, logo, capaz de manter as faces acústicas das massas frontais permanentemente em contato. A forma encontrada para gerar um estado longitudinal de tensões compressivas nos componentes dos transdutores, sem originar vínculos ou solicitações que interferissem significativamente no comportamento dinâmico do conjunto, foi colocá-los na vertical, com o transdutor Dumiload na posição inferior e instalando o conjunto dentro de uma prensa hidráulica. Conforme ilustra a Figura 6,

o dispositivo de testes é composto dos seguintes elementos: (1) transdutor a ser testado, (2) transdutor Dumiload, (3) estrutura da prensa hidráulica, (4) cilindro hidráulico, (5) cabeçote da prensa, (6) manômetro indicativo da pressão interna do cilindro hidráulico e (7) material para desacoplamento acústico.

A força de compressão exercida pela prensa foi ajustada em 1470 N, que corresponde a 53 % do limite de ruptura do material desacoplador acústico. Os experimentos com o Dumiload foram conduzidos com um nível de excitação do transdutor similar ao empregado em condições reais de operação: 100 Vrms e 30 ms de largura de pulso de transmissão. Para os testes realizados no transdutor submerso em um tanque de água doce, foi adotada uma profundidade em torno de 4 metros. A partir de tais condições de teste, várias medições foram realizadas obtendo-se valores de resposta eletroacústica, para diversas unidades do transdutor do tipo testado, com excelente repetibilidade. Neste sentido, a Figura 7 apresenta um gráfico comparativo entre a curva de admitância calculada analiticamente, com uma curva típica experimental obtida através do Dumiload e uma curva de admitância obtida para o transdutor na água. O elevado grau de concordância entre as curvas teórica e experimentais indica validade e a acurácia dos modelos analíticos desenvolvidos.

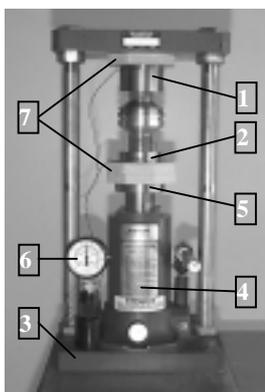


Figura 6 - Dispositivo mecânico de teste do DUMILOAD.

Na Figura 8, são apresentadas a curva de resposta de transmissão, obtida para o transdutor em teste na água, a curva calculada a partir do modelo analítico e a curva de transmissão obtida a partir do cálculo da potência dissipada sobre o resistor  $R_c$  do circuito elétrico de carga, no Dumiload. Da mesma forma que para os valores de admitância, as curvas de resposta de transmissão teórica e experimentais (com o transdutor na água e com o Dumiload) apresentam valores significativamente concordantes para a faixa de frequências de interesse.

Em relação às curvas da Fig. 7, cabe ainda observar que os valores de admitância obtidos no experimento estão em melhor concordância com os valores medidos com o transdutor na água, quando comparados com os valores calculados analiticamente. Tal comportamento reflete, no mínimo, a presença de componentes adicionais de dissipação de energia, não considerados nos modelos analíticos. Assim sendo, as curvas obtidas experimentalmente com o Dumiload, quando analisadas sob o ponto de vista de um filtro passa-banda, apresentam uma variação mais suave com a frequência. Este comportamento, corresponde a um fator de qualidade mecânica mais baixo e, em consequência, a um conjunto mecânico com perdas internas mais elevadas. Conjectura-se que tais fatores de perda sejam decorrentes possivelmente por atrito entre as interfaces das cerâmicas, nas roscas do parafuso central e, principalmente na interface de acoplamento dos transdutores. Este mesmo efeito pode ser confirmado no comportamento da curva de resposta de

transmissão obtida experimentalmente com o Dumiload, conforme indica a Fig. 8.

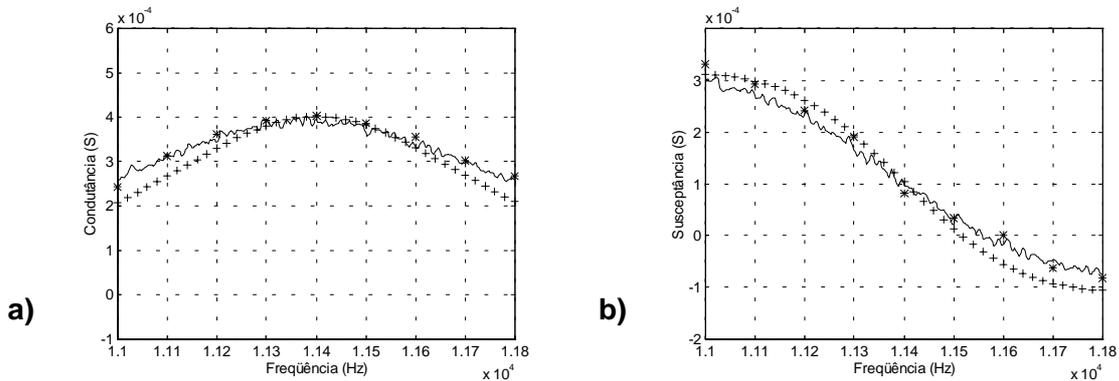


Figura 7 - Gráfico comparativo entre a curva de admitância calculada analiticamente (++), uma curva típica experimental obtida através do Dumiload (\*\*), e uma curva de admitância obtida para o transdutor na água (-). a) Condutância. b) Susceptância.

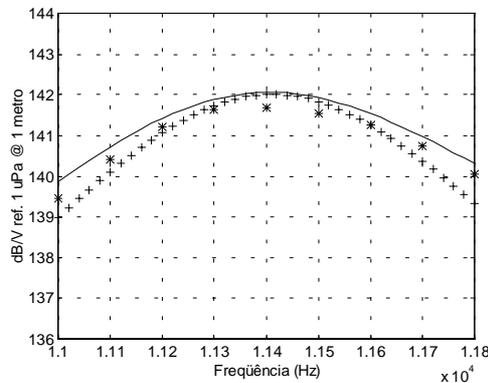


Figura 8 - Gráficos comparativos entre a curva de resposta de transmissão, calculada para o transdutor em teste na água (-), calculada a partir do modelo analítico (++) e a curva obtida no experimento (\*\*).

## 5. CONCLUSÕES

Os bons resultados obtidos no presente trabalho indicam que a técnica de simulação de um meio hidroacústico, através de um dispositivo eletromecânico composto por um transdutor piezoelétrico (transdutor Dumiload) associado a um circuito elétrico de carga, atende aos critérios de acurácia, repetibilidade e praticidade adequados à calibração no ar de transdutores hidroacústicos do tipo tonpiliz, em alta potência, inclusive visando-se aplicações industriais.

Com base nos resultados de experimentos em um modelo de Dumiload onde o transdutor em teste e o transdutor de carga são idênticos, é proposto o projeto de um segundo transdutor Dumiload, também do tipo tonpiliz, compatível dimensional e geometricamente com o transdutor analisado, mas com características de resposta dinâmica especiais. Neste sentido, a banda de frequências de testes, tanto no que concerne às curvas de impedância ou admitância eletroacústica como de transmissão, ficam em cerca de 7% do valor da frequência fundamental de ressonância, no modo longitudinal, do transdutor em teste. Este valor é compatível com a variação encontrada nas linhas de produção, normalmente de até 5%.

Em relação aos modelos analíticos adotados, estes resultaram em valores de excelente con-

cordância com os valores experimentais obtidos com o transdutor Dumiload e com os determinados através de medidas em um tanque de água doce. Tais resultados indicam que o modelamento de transdutores tonpiliz a parâmetros concentrados e a transformação de seus parâmetros mecânicos em análogos elétricos, através da teoria de circuitos equivalentes, fornecem dados teóricos confiáveis para o modelamento de um sistema de testes da natureza do desenvolvido neste estudo.

Por fim, cabe observar que os desvios encontrados entre os valores analíticos e os resultados experimentais, provavelmente, são decorrentes do fato da modelagem não prever determinadas condições de contorno do dispositivo de teste e por não ter sido possível definir-se, com exatidão, os valores dos parâmetros que estabelecem o comportamento dinâmico dos transdutores. Assim, novos estudos deverão ser realizados para verificar se os modelos teóricos e as técnicas experimentais desenvolvidas, no presente trabalho, aplicam-se com a mesma acurácia a transdutores tonpiliz de diferentes potências e faixas de frequência assim como a outros tipos de transdutores hidroacústicos piezoelétricos do tipo pistão rígido.

## REFERÊNCIAS

- Afonso, O. J. R., 1999, Técnica de *Dumiload* para avaliação do desempenho de transdutores hidroacústicos tipo *tonpiliz* no ar, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Auyer, S. E. & Miller, W. A., 1976, Development of a high-power transducer dumiload, The Journal of Acoustical Society of America, v. 60, n. 3, pp 734-740.
- Dunn, J. R., 1987, Transducer element and array measurements by loading rod techniques, Internal Report, School of Electronic and Electrical Engineering, University of Birmingham, Birmingham.
- Magalhães, F. L. & Afonso, O. J. R., 1998, Nacionalização dos transdutores dos sonares EDO 610E e AN/SQS-26BX: projetos e resultados do lote piloto nacional, Pesquisa Naval, n. 11, pp. 215-234.
- Rosenthal, F. & Mikuteit, V. D., 1959, Transducer comparison methods based on electromechanical equivalent circuits, IRE International Convention Record, v. 9, pt. 6, pp. 252-265.
- Stansfield, D., 1991, Underwater electroacoustic transducers, Bath, Bath University Press and Institute of Acoustics.
- Woollett, R. S., 1968, Power limitations of sonic transducers, IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, v. SU-15, n. 4, pp. 218-229.

## DEVELOPMENT OF A MECHANICAL IMPEDANCE TECHNIQUE FOR HIGH POWER PERFORMANCE TESTS OF HYDROACOUSTIC TRANSDUCERS IN AIR

**Abstract.** *This work presents the development of a technique for high power performance tests of piezoelectric hydroacoustic transducers in air, in which a specialized piezoelectric transducer, named Dumiload (“Dummy Mechanical Impedance Load”), is mechanically coupled to the transducer to be tested. By varying the electrical impedance placed across the Dumiload’s electrical terminals, the mechanical load presented to the transducer being tested is adjusted, until matching the water mechanical impedance. By applying the technique to tonpiliz transducers, the Dumiload performance is compared with results obtained from a classical underwater calibration method and with analytical results previewed by the theoretical models here proposed.*

**Keywords:** *Acoustic, Piezoelectricity, Hydroacoustic transducers*