

Construção e teste de um sistema para trabalhos de acústica submarina em tanque anecóico

M. Barreto (1), M. Gatta (1,2,3), V. Lobo (1,2,4)

- (1) Escola Naval, miguelbarreto00@gmail.com
- (2) CINAVAL, Centro de Investigação Naval.
- (3) CFCUL, Universidade de Lisboa.
- (4) NOVA IMS.

Resumo: O Arsenal do Alfeite dispõe de um tanque anecóico, usado para a calibração de sonares de navios militares. Neste artigo descrevemos um sistema desenvolvido para ali se realizarem também testes para a caracterização acústica de pequenos objetos sujeitos a servir como alvos de sondagem. Desenvolveu-se um sistema sonar bi-estático usando equipamentos já disponíveis na instalação mas também associando aos sistemas de emissão e recepção, tecnologias digitais como um gerador de sinais, osciloscópio e computador. Construiu-se uma estrutura para suspensão dos transdutores e alvo adaptada às dimensões deste tanque e à ponte móvel que o equipa. É um sistema versátil, possibilitando qualquer geometria experimental que se pretenda implementar em condições de campo-livre até 5 m de diâmetro. O software de processamento de dados e análise de resultados foi desenvolvido em MATLAB. O sistema criado serve o ensino da acústica submarina, bem como a investigação e inovação tecnológica nos seus vários domínios.

Palavras-chave: acústica submarina, caracterização acústica, matlab, *target strength*, SONAR.

1. INTRODUÇÃO

Havia que realizar um estudo para se caracterizar a resposta acústica de pequenos objectos à sondagem por golfinhos (ecolocalização), que - no que será um processo análogo ao exercício da hidrografia, possam ser alvos de busca sonar. Precisava-se por isso de reunir informação relevante para daí se fundamentar a discussão de hipóteses relativas à sua eventual detectabilidade – nomeadamente os valores de *Target Strength* (TS) a várias frequências. Tal, motivou à construção de um sistema sonar que fosse eficaz para a transmissão e recepção de sinais no espectro frequencial explorado por estes animais, cujos cliques de banda larga contêm energia até aos quase 200 KHz. Solicitou-se ao Arsenal do Alfeite, S.A (AA), a permissão para uso do tanque para ensaios de acústica submarina, que por ser uma infra-estrutura concebida para a calibração em ambiente submerso de sistemas de sonar navais, está revestida de protecção anecoica para a supressão de ecos e manutenção de baixos níveis de ruído. Mas também, por possuir e permitir instalar equipamentos como transdutores e demais sistemas essenciais às cadeias de transmissão (TX) e recepção (RX) de sinais sonoros, providenciaria as condições óptimas para a realização dos referidos testes. Afim de se concretizar a geometria experimental desejada, houve que construir uma estrutura para suporte de sensores e alvo adaptada às condições do tanque e ponte móvel que o equipa, e permitisse também o fácil manuseio e regulação individual dos vários componentes. Conjugaram-se então, meios electro-

acústicos disponibilizados pelo AA para as cadeias do TX e RX, meios electrónicos da Escola Naval (EA) para a produção e aquisição de sinais, a par ainda de computador com software dedicado para a sua importação e armazenamento e construídas uma sequência de rotinas MATLAB para processamento dos dados. O conhecimento e a exploração dos oceanos são hoje prioridades da humanidade, tendo aliás a UNESCO designado o período 2021-2030 como a Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável, e em linha com este objectivo surge também o projecto de cooperação internacional SEABED2030 para que ainda neste prazo, se concretize o mapeamento total dos fundos submarinos do planeta. A acústica submarina (AS) que é uma ferramenta fulcral para as ciências e operações em meio oceânico, seja para a hidrografia, para a Defesa, para a monitorização e conservação ambiental marinha, como para o desenvolvimento das economias e indústrias do mar, terá assim vasta aplicação nos esforços a empreender para se cumprir o acima estipulado. Os recursos que se conjugaram para a construção de um sonar que se projectou para a finalidade específica de se observarem processos de formação do eco de alvos, podem ser adaptados e servir muitos outros objectivos experimentais no âmbito da AS. Desta forma entendemos ser oportuno proceder à divulgação do sistema concebido e dos meios que se reuniram para a execução do trabalho, acreditando dessa forma estar a contribuir com um recurso para o ensino da AS, fomentar a realização de projectos de investigação nesta área científica e a inovação tecnológica para os oceanos.

2. RECURSOS, MEIOS TECNOLÓGICOS E CONFIGURAÇÃO EXPERIMENTAL

Este sistema sonar, que se concebeu no propósito de estudar em condições laboratoriais, a reflectividade acústica de pequenos objectos sujeitos a servir como alvos de busca submarina, não se destina a equipar embarcações ou servir fins operacionais. Trata-se de uma instalação de laboratório que se edificou com os meios que se descrevem em baixo, obedece a uma configuração do tipo bi-estática e perfaz uma geometria experimental triangular sendo os vários equipamentos e alvo dispostos igualmente entre si, à distância de referência padronizada (1m da fonte), e constituiu-se também da programação informática para execução em fase posterior, do processamento de dados e análise dos resultados.

1.1. Tanque para ensaios de acústica submarina

Esta infra-estrutura, de geometria rectangular (8x5x5 m), é revestida nas paredes, fundo e superfície com placas em material compósito de corticite (um composto de borracha e cortiça) que promove o isolamento e absorção da energia acústica e ainda protuberâncias triangulares projectadas para dispersar quaisquer reflexões (Figura. 1.a), proporcionando assim níveis reduzidos de ruído e baixo tempo de vida de ecos persistentes que afectem negativamente as medições. Está também equipada com duas pontes móveis que permitem o suporte de equipamentos (Figura. 1.b) e a colocação dos meios a submergir, em qualquer local e profundidades deste espaço sem restrições. A saber também porque determina a velocidade do som, refira-se que nesta infra-estrutura é usada apenas água doce da rede pública.

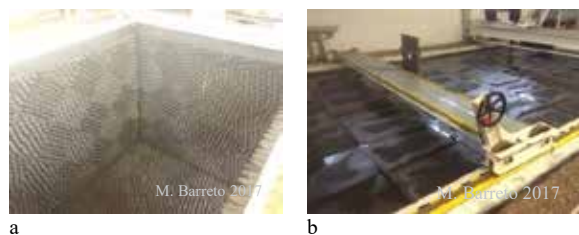


Figura. 1. a) Vista do tanque “a seco”; b) Pormenor da ponte móvel e placas anecoicas à superfície.

1.2. Configuração instrumental

A configuração instrumental concebida para as sessões laboratoriais, obedece ao seguinte esquema (Figura. 2), subdividindo-se assim nos circuitos: de “geração e transmissão de sinais” (circuito TX); de “recepção de sinais e eco” (circuito RX) e no “módulo de visualização, captação e armazenamento de dados”. Atente-se à derivação na ligação da recepção ao osciloscópio, cuja informação é enviada em paralelo para os dois canais deste.

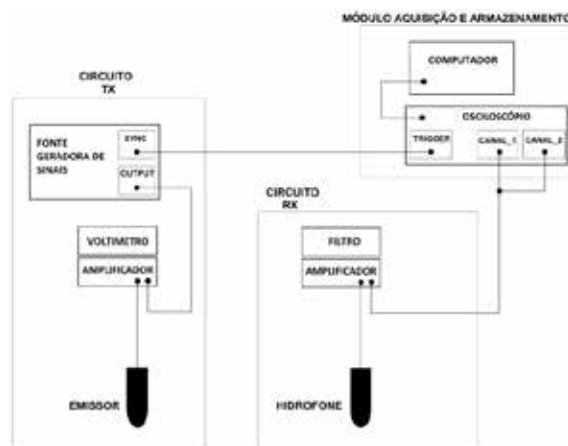


Figura. 2. Esquema da configuração instrumental.

1.3. Geração e Transmissão de sinais

O circuito de transmissão (TX) compõe-se por: fonte geradora de sinais digital “AGILENT-33220A” (Figura.3.a), do fabricante Bruel & Kjaer (B&K) os amplificador+voltímetro para ajuste dos valores do ganho de saída (dBv) e Vpico (Figura.3.b), e o transdutor omni-direccional 8104 que como emissor projecta o sinal radialmente (Figura.3.c).

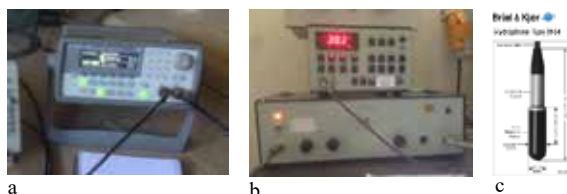


Figura.3. a) fonte geradora; b) amplificador+voltímetro e c) o transdutor.

1.4. Recepção de sinais e ecos

O circuito da recepção (RX) compõe-se igualmente de sistemas B&K. Tendo como hidrofone, um segundo 8104 (Figura.4.a) omni-direccional, que envia os sinais recebidos para o conjunto amplificador+filtro analógicos (Figura.4.b).

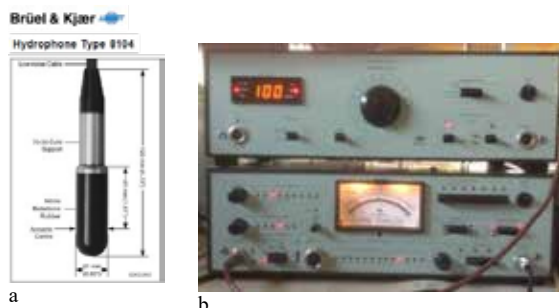


Figura.4. a) Hidrofone 8104; b) conjunto amplificador+filtro.

1.5. Visualização, captação e armazenamento

Para visualização de ambos os sinais “incidente” e eco “reflectido” que assim permite a monitorização e controle da experiência em tempo real, como ainda o ajuste de parâmetros e também a aquisição dos

dados, fez-se uso do osciloscópio de dois canais/10Bits TEKTRONICS TDS 1002B que amostra a uma taxa de 10^6 amostras*s⁻¹, sendo o *trigger* deste ligado ao da fonte geradora que por este modo o controla (Figura.5.a). Pelo software OPENCHOICE DESKTOP num computador com ligação USB ao osciloscópio, o operador solicita a importação de um ciclo de dados (Figura.5.b, c) e que os pode depois armazenar como um ficheiro .CSV ou de imagem.



Figura.5. a) Osciloscópio digital para monitorização e aquisição de dados, sendo visível a derivação do RX aos dois canais e a ligação do trigger à fonte geradora; b) visualização dos dados transferidos para o software no laptop; e c) pormenor da visualização no software, dos 2 canais: com escala Volt/divisão regulada para o sinal emitido (azul) e para o eco reflectido (amarelo).

1.6. Estrutura para suporte dos transdutores e alvo Processamento de dados e análise de resultados

Construiu-se uma estrutura para a suspensão dos transdutores (TX e RX) e alvo, adaptada às dimensões do tanque anecóico do AA e à ponte móvel que o equipa (Figura.6). Com dois braços independentes entre si, cada um com 2,5 m de comprido e capacidade de giro 360° em torno do eixo central, permite a suspensão de pequenas cargas (transdutores ou alvos, <1kg) a diferentes profundidades e em pontos distintos do espaço experimental. O eixo central que é materializado por uma coluna oca, favorece ainda o seu uso para suporte e rotação de equipamentos de maior peso (ex: um emissor direccional), possibilitando ao operador o fácil ajuste da orientação azimutal em qualquer instante durante a realização dos trabalhos.



Figura.6. Imagem e esquema técnico da estrutura para suporte de equipamentos acústicos e do alvo.

Para suspender os alvos usou-se linha de nylon que por ter espessura muito fina e ainda que seja susceptível de esticar, será acústicamente transparente às frequências usadas. Ambos os braços têm cravadas marcas visíveis, espaçadas a intervalos

de 5 cm's e sendo o ponto de suspensão das cargas conseguido com tiras de velcro que permitem o fácil ajuste da distância desejada, deslizando-a ao longo do braço no que é um método também vantajoso que por não se constituir de peças duras, não provoca ruídos ou vibrações que afectem as medições. Duas meias luas em madeira que se aparafusam uma à outra em torno da coluna central, servem para colocar um diagrama azimutal onde se lê a abertura angular dos braços. Uma placa de madeira pesada na base, reforça a estabilidade da estrutura e elimina a transmissão de vibrações mecânicas propagadas pela ponte móvel.

1.7. Processamento de dados e análise de resultados

Para aceder aos dados armazenados e calcular os resultados que se pretendia conhecer, programou-se uma sequência de rotinas a executar em ambiente MATLAB. Tinha-se como objectivo avaliar o parâmetro do *Target Strength* (TS), valor que se deriva pela razão matemática (Equação 1) que compara a energia Reflectida (E_r) com a Incidente (E_i) e se lê na unidade de medida, o décibel (dB_E), sendo que aqui o fazemos no domínio da frequência para tempos de integração que se pretendem iguais e seleccionando apenas a porção estável destes sinais que está contida entre os picos (transitórios) nos seus extremos e que são consequência da excitação e corte súbitos da tensão eléctrica aos terminais do transdutor (Figura.7.c).

$$TS = 10 * \log_{10} \left(\frac{E_r}{E_i} \right) \quad 1$$

Contudo, do processo de aquisição usado ocorrem lacunas nos dados (*i. e.*, presença de Nan's) que geram erros de leitura e inviabilizavam o uso das funções internas do MATLAB. Tal obrigou a que, para contornar este problema se construíssem de raiz muitas das funções necessárias. Uma vez importados para o *workspace* os ficheiros de dados brutos dos n testes que por razões estatísticas se haviam realizado repetidamente, são construídos os vectores-coluna do "Incidente médio" e "Reflectido médio" (Figura.7.a). Como alternativa à função para a correlação de sinais, uma figura com duas imagens (Figura.7.b) sobrepõe réplicas normalizadas de ambos (em cima como originais e em baixo o "Incidente" multiplicado por -1) para que o operador num processo iterativo, ora aceite ou apresente nova amostra de sincronismo e avalie se o alvo reflecte o eco com inversão de fase.

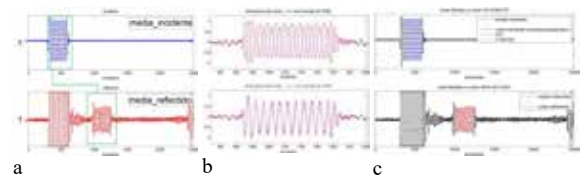


Figura.7. Visualização dos dados no MATLAB. a) aquisição dos canais, "Incidente" a azul e "Reflectido" a vermelho; b) sobreposição de cópias normalizadas dos dois sinais: em fase

(cima) ou o simétrico do Incidente com o Refletido (baixo), para identificar alvos que reflectem com inversão de fase. c) intervalos seleccionados para análise do Incidente (azul) e eco reflectido (vermelho).

Para converter ambos “Incidente” e “Refletido” ao domínio da frequência e pela razão dos NaN’s (Figura. 8) inviabilizarem o uso da FFT do MATLAB, construiu-se uma rotina que executa a Transformada Discreta de Fourier (DFT) e serve também como processo para a interpolação do conteúdo em falta. Ao processo de filtragem, que sucede do desenvolvido em anteriores trabalhos de Cadetes da EN (Imperadeiro, 2010), segue-se o cálculo dos valores de energia (E) dos “Refletido” e “Incidente” para que se estimem então os valores TS. Por fim acede à totalidade dos resultados TS de cada alvo e grafica a curva que lhe corresponde da resposta em frequência.

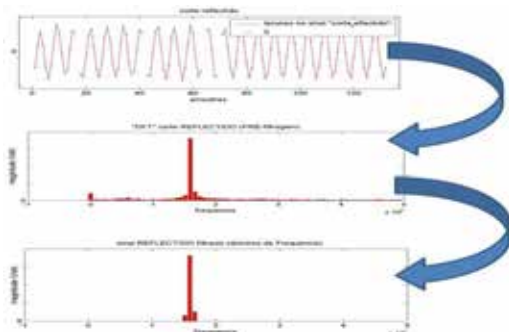


Figura. 8. O processo de filtragem dos sinais. Em cima, excerto de amostras no domínio do tempo seleccionadas para análise - e onde se pode observar a ocorrência de lacuna (NaN's). Ao centro, após conversão pela DFT, o histograma da distribuição de energia por bandas de frequência. Em baixo, o histograma após filtragem, constando a banda central (a frequência de teste) e duas bandas vizinhas - pelo fenómeno do “leakadge”.

3. DISCUSSÃO

Foi por o TX emitir num padrão radial e o RX ser omni-direccional, que se concebeu este sonar com os transdutores e alvos posicionados igualmente entre si perfazendo uma geometria triangular, isto é, numa configuração bi-estática (apesar de diferir da desejável, mono-estática como nos golfinhos). Assim resulta que ao RX chegam: réplica fiél do sinal “Incidente” quando atinge o alvo, e após um ligeiro atraso de tempo e mais atenuado, também o eco “Refletido”. Daí entendeu-se derivar o sinal eléctrico do RX para os dois canais do osciloscópio e se adequassem as escalas Volt/divisão para os visualizar em simultâneo. Tem como vantagem, que permite monitorizar um sinal equivalente ao “Incidente” no ponto específico de contacto com o alvo e permitindo assim dispensar: amostragem do sinal eléctrico do TX ou a calibração prévia da experiência com medições *in situ* do “Incidente”. Quanto à recolha de dados com osciloscópio, tem como desvantagem: a) impôr à importação de dados, um processo de comando manual (ciclo a ciclo) que é lento e condicionou a quantidade de testes obtidos (3) abaixo dos critérios estatísticos (30); e b) a

amostragem que é afectada pela ocorrência de lacunas que geram erros, obrigou à construção, de raiz, das rotinas e funções necessárias ao processamento dos dados recolhidos. Contudo, tem como solução se em alternativa se usar uma placa AD que permita a aquisição automatizada de diversos testes em série e sem lacunas, devendo-se garantir as taxas de amostragem adequadas à frequência máxima dos sinais. Com esta estrutura, os Cadetes e investigadores da EN têm agora à disposição um recurso cujas características e versatilidade lhes permite, em conjugação com a mobilidade das pontes móveis do tanque, implementar qualquer geometria experimental para estudos de reflectividade acústica e de detecção de alvos submersos, em condições de campo-livre, num espaço circunscrito a uma circunferência com até 5 m de diâmetro. Podem ainda adaptar-se estes meios para a realização de trabalhos nos vários domínios da AS, seja para o ensino, para a investigação científica ou a experimentação e inovação tecnológica. Sugerem-se como tópicos para trabalhar na prática: a medição do ruído submarino, sistemas para o mapeamento e caracterização de superfícies submersas, a detecção, localização e classificação de alvos ou de fontes sonoras e a concepção de redes acústicas para as comunicações e posicionamento geodésico submarino (ler Van Uffelen, 2021), apelando-se em especial às temáticas associadas aos processos de formação de eco acústico dos objectos, aos metamateriais e *cloaks* para a ocultação de alvos, ora na coluna de água, como no leito marinho e que são exemplo os *Ground cloaks* (ler Bi et al., 2018).

Agradecimentos

Temos a agradecer ao CINAV e à Escola Naval, nomeadamente ao Dept. das Engenharias, como às oficinas e respectivo pessoal dos serviços de serralharia e carpintaria, em concreto o Sr^o Aires, Sarg. MQ Heitor e mestre Vinagre pela dedicação ao fabrico da estrutura; ao Arsenal do Alfeite, S.A., nomeadamente aos Sr^o Eng. Parreira, mestre Pedro e restante equipa técnica do tanque de acústica submarina. Este projecto beneficiou ainda do suporte financeiro dos projectos DEEPFLOAT e SIDENAV.

REFERÊNCIAS

- Bi, Y., Jia, H., Sun, Z., Yang, Y., Zhao, H., & Yang, J. (2018). Experimental demonstration of three-dimensional broadband underwater acoustic carpet cloak. *APPLIED PHYSICS LETTERS* 112, 223502.
- Imperadeiro, C. M. P. (2010). Sistema de Sensores para o Tanque de Acústica Submarina da Escola Naval. Dissertação de Mestrado. *Escola Naval*.
- Van Uffelen, L. J. (2021). Global Positioning Systems: Over Land and Under Sea. *Acoustics Today*. Acoustical Society of America.