

# Acústica

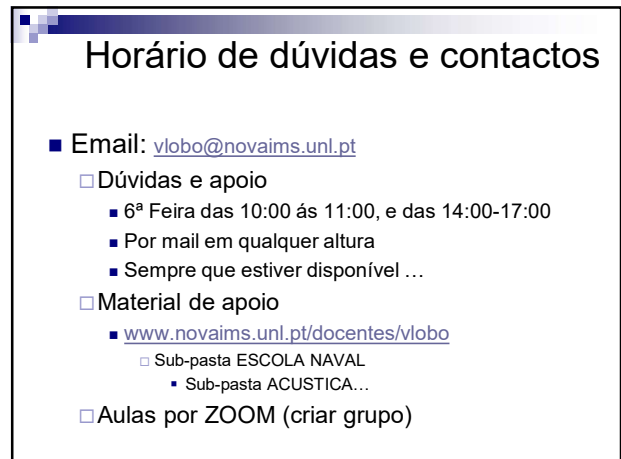
4ºAno EN-AEL, 3ºAno M  
V 0.1 V.Lobo, EN 2021



**Acústica**  
Victor Lobo

Mestrados Integrados de M (Acústica, Sonar e Armas Submarinas)  
e EN-AEL (Sistemas de Detecção e Armamento Submarino)

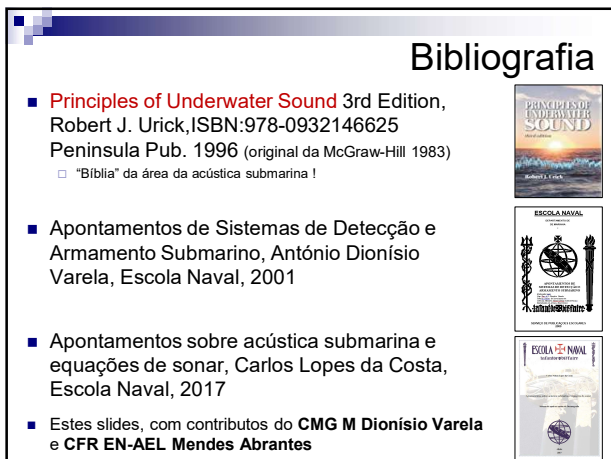
1



**Horário de dúvidas e contactos**


- Email: [vlobo@novaims.unl.pt](mailto:vlobo@novaims.unl.pt)
  - Dúvidas e apoio
    - 6ª Feira das 10:00 às 11:00, e das 14:00-17:00
    - Por mail em qualquer altura
    - Sempre que estiver disponível ...
  - Material de apoio
    - [www.novaims.unl.pt/docentes/vlobo](http://www.novaims.unl.pt/docentes/vlobo)
      - Sub-pasta ESCOLA NAVAL
      - Sub-pasta ACUSTICA...
  - Aulas por ZOOM (criar grupo)

2



**Bibliografia**

- **Principles of Underwater Sound** 3rd Edition, Robert J. Urick, ISBN:978-0932146625 Península Pub. 1996 (original da McGraw-Hill 1983)
  - "Bíblia" da área da acústica submarina !
- Apontamentos de Sistemas de Detecção e Armamento Submarino, António Dionísio Varela, Escola Naval, 2001
- Apontamentos sobre acústica submarina e equações de sonar, Carlos Lopes da Costa, Escola Naval, 2017
- Estes slides, com contributos do **CMG M Dionísio Varela** e **CFR EN-AEL Mendes Abrantes**



3

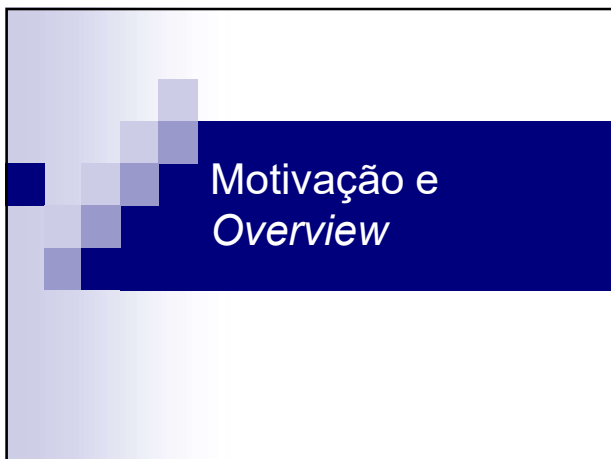


**Bibliografia**

- **Sonar and Underwater Acoustics**, Jean-Paul Marage, Yvon Mori, ISBN:978-1-118-60065-8, Wiley-ISTE, 2013
  - Cap.1-5 têm o mais importante
- **Applied Underwater Acoustics**, Leif Bjørnø, ISBN:978-0128112403, Elsevier, 2017
  - Cap.1 tem um overview muito completo
- **Underwater acoustic modeling and simulation**, 5<sup>th</sup> Ed., Paul C. Etter. ISBN: 978-1138054929, CRC Press, 2018

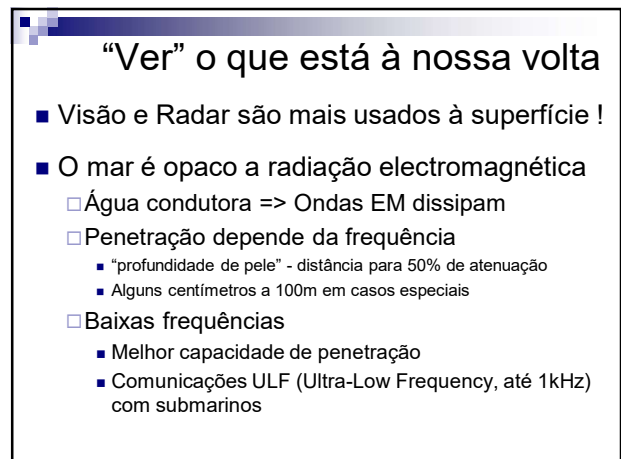


4



**Motivação e Overview**

5



**"Ver" o que está à nossa volta**

- Visão e Radar são mais usados à superfície !
- O mar é opaco a radiação electromagnética
  - Água condutora => Ondas EM dissipam
  - Penetração depende da frequência
    - "profundidade de pele" - distância para 50% de atenuação
    - Alguns centímetros a 100m em casos especiais
  - Baixas frequências
    - Melhor capacidade de penetração
    - Comunicações ULF (Ultra-Low Frequency, até 1kHz) com submarinos

6

# Acústica

4ºAno EN-AEL, 3ºAno M  
V 0.1 V.Lobo, EN 2021

## Mesmo assim usam-se ondas EM

- ☐ Detecção de antenas e periscópios
- ☐ Comunicações a curta distância com laser
- ☐ Observação da esteira e “sombra” de submainos
- ☐ Comunicações ULF

ESPECTRO VISÍVEL

7

## Porquê usar acústica ?

- Ondas mecânicas que se propagam no mar
- **Modo passivo**
  - ☐ **Escutar** o som que nos chega
  - ☐ Arrays de sensores, integração no tempo
  - ☐ Discreto para quem recebe, e inevitável para o alvo
- **Modo activo**
  - ☐ **Enviar um “ping”** e medir quanto tempo demora o eco
  - ☐ “Pings coloridos” (chirp), doppler, multiestáticos

8

## Modo Passivo

- Com um sensor
  - Perceber quem está a emitir
  - Classificação de Efeitos hidrofónicos
  - Principal questão em modo passivo
- Com dois ou mais (towed array, flank array)
  - Estimar direções (DOA) das fontes
  - Diferença em tempo entre os sinais
- Com várias localizações de sensores
  - Estimar local do contacto por triangulação

A grande questão em ASW !

9

## Modo activo

- **Tempo** entre emissão e recepção -> distância  
 $d = (\Delta t \times v_{som}) / 2$
- Mudanças de frequência no eco
  - ☐ Velocidade do alvo por **Doppler**
- Sinais com várias frequências (“cores”)
  - ☐ Chirp, ou outros
  - ☐ Permite saber algo sobre o **espectro de absorção** do alvo e do canal...
- **Separação** entre emissores e receptores
  - ☐ Emissores e receptores “descartáveis”

10

## Mas o som não vai “a direito”..

- Velocidade do som depende da elasticidade e densidade
- Densidade depende:
  - ☐ Salinidade
  - ☐ Temperatura
- Variações de densidade => Curvatura do som
- Importância de conhecer o perfil de densidade
- Múltiplos caminhos, múltiplos ecos, interferências, reverberações, ruído de fundo, ruído biológico, etc, etc...

$$c = \sqrt{\frac{K_e}{\rho}}$$

$c$ =vel.som  
 $K_e$ =cte elasticidade  
 $\rho$ =densidade

11

## Outras utilizações acústica submarina

- Comunicações acústicas
  - ☐ Telefone submarino, modems subaquáticos
- Sondas
  - ☐ Sondas de profundidade, sondas de pesca
- Mapeamento
  - ☐ Sonares de varrimento lateral e multifeixe
- Preocupações ambientais
  - Outras (sismologia, medicina, etc)

12

# Acústica

4ºAno EN-AEL, 3ºAno M  
V 0.1 V.Lobo, EN 2021

O que é preciso para compreender estes problemas ?

- Teoria de ondas
  - Propagação, reflexão e refração, lei de Snell, ...
- Física
  - Dos oceanos, variações na coluna de água, ...
  - Dos sensores e actuadores, hidrofones, ...
- Teoria e processamento de sinais
  - Decomposição em frequência, beamforming, ...
- Reconhecimento de padrões
  - Detecção, Classificação de efeitos hidrofónicos, ...

13



14