

# ***Caracterização de Materiais através de Ultra-sons***

**Laboratório de Física III**

**Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto**

# Caracterização de materiais através de ultra-sons

Laboratórios de Física 3 / DFA@FCUP

## Conteúdo

<b>1</b>	<b>objectivos</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>introdução</b>	<b>2</b>
2.1	interação das ondas acústicas com o meio . . . . .	2
2.2	transdutor piezo-elétrico . . . . .	3
2.3	medidas <i>time of flight</i> (tempo de voo) . . . . .	4
2.3.1	determinação da velocidade ultra-sónica . . . . .	5
2.3.2	calibração da escala espacial do sinal detetado . . . . .	5
2.4	modos de inspeção US . . . . .	6
2.5	Equipamentos . . . . .	8
2.5.1	Controlador <i>Ultrasonics echoscope</i> PHYWE . . . . .	8
2.5.2	Fantomas de acrílico . . . . .	9
2.5.3	<i>Software MeasureUltraEcho</i> . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Preparação do trabalho</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Trabalho Experimental</b>	<b>12</b>
4.1	propriedades acústicas do acrílico a partir de sinais <i>A-scan</i> . . . . .	12
4.2	avaliação do desempenho dos transdutores, a partir de <i>A-scans</i> e <i>B-scans</i> . . . . .	12
4.2.1	Medidas em <i>A-scan</i> . . . . .	12
4.2.2	Medidas em <i>B-scan</i> . . . . .	13
<b>5</b>	<b>Questões finais</b>	<b>14</b>

## 1 objectivos

Neste trabalho pretende-se que os estudantes conheçam o potencial de medição proporcionado pela propagação de ondas acústicas em meios materiais, a partir de medidas de tempo de voo.

Em particular:

- compreender e utilizar transdutores piezo-elétricos na geração e captação de ondas sonoras;
- avaliar a atenuação de ultra-sons em materiais, e avaliar a sua dependência com a frequência acústica;
- avaliar o poder de resolução, em função da frequência de ultra sons
- interpretar a informação de varrimentos «A-scan» e «B-scan» ultra-sónicos

## 2 introdução

As técnicas de ecografia, também chamada de sonografia, têm importância e relevância atuais como métodos de investigação em áreas tão diversas como no diagnóstico médico, ou no teste não destrutivo de materiais. Independentemente do campo de aplicação, o princípio de funcionamento parte da utilização de ondas mecânicas através de meios acústicos (sólidos ou líquidos), e a recepção em condições controladas do sinal refletido/transmitido na forma de um ecograma. Qualquer alteração do meio acústico ou obstrução irá alterar as características da onda mecânica em propagação, deixando uma assinatura no ecograma.

Em sonografia a excitação é feita por impulsos ultra-sónicos que se propagam linearmente através do meio. Os impulsos têm uma duração temporal curta, de alguns ciclos da vibração da onda acústica. Os impulsos podem sofrer reflexão na presença de descontinuidades do meio (diferentes impedâncias acústicas, defeitos ou fissuras). A partir da relação entre o tempo de voo dos ecos ultra-sónicos e a velocidade do som, pode medir-se a distância entre o transdutor ultra-sónico e a descontinuidade refletora. Por outro lado, a dimensão do defeito pode ser estimada pela realização da medida de tempo de voo para diferentes direções de incidência.

### 2.1 interação das ondas acústicas com o meio

Ao longo da propagação do som nos meios materiais a energia da onda acústica pode repartir-se por feixes refletidos e/ou transmitidos em interfaces acústicas, e pode também ser transferida para o meio acústico, processo que se revela pela atenuação progressiva da energia do feixe ao longo da propagação. A impedância acústica  $Z = \rho v$  dos meios materiais depende da sua densidade  $\rho$  e da velocidade de propagação do som  $v$ . Numa lei muito semelhante àquela aplicada a feixes ópticos, a fração de energia refletida na interface entre dois materiais de impedâncias  $Z_1$  e  $Z_2$  é dada, para incidência normal, por:

$$R = \frac{P_R}{P_0} = \left( \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2, \quad (1)$$

em que  $P_R$  e  $P_0$  são, respetivamente, as potências refletida e incidente na interface. A conservação de energia impõe que, conseqüentemente, a fração de energia/potência transmitida através da interface seja:

$$T = \frac{P_T}{P_0} = 1 - R.$$

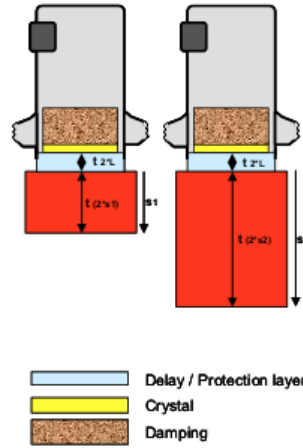


Figura 1: Esquema simbólico do transdutor piezo-elétrico a Phywe.

Por outro lado, a amplitude da onda de pressão  $A$  vai-se atenuando ao longo da propagação, quer por transferência de energia da onda para o meio (processos de absorção), quer por espalhamento em pequenas imperfeições. Esta atenuação é descrita pela lei:

$$A = A_0 \exp(-\mu \cdot s)$$

em que  $s$  é o caminho no meio acústico, e  $\mu \propto f^n$  é a constante de atenuação da onda de pressão dependente do meio acústico e da frequência  $f$  da onda ultra-sonica (US), com  $n : 1 - 2$  (dependente do meio).

Em termos de energia, a atenuação da intensidade da onda,  $I = \langle A^2 \rangle_t$ , também segue uma lei exponencial:

$$I = I_0 \exp(-k \cdot s) \quad (2)$$

onde  $I_0$  é a intensidade de excitação, e  $k = 2\mu$  é o coeficiente de extinção característico do meio de propagação.

## 2.2 transdutor piezo-elétrico

Os impulsos ultra-sónicos são gerados num transdutor piezo-elétrico, como aquele na figura 1: a aplicação de um impulso de tensão elétrica a um material cerâmico piezo-elétrico resulta na geração de ondas mecânicas à frequência mecânica de ressonância característica do cristal, que será a frequência ultra-sónica  $f_{US}$ , perturbando o meio circundante sob a forma de uma onda longitudinal de pressão variável.

Após a emissão de cada impulso US o transdutor comuta para operação em modo de escuta, sem qualquer sinal elétrico aplicado. Neste intervalo de tempo de escuta, e por efeito piezo-elétrico inverso, ondas de pressão (sonoras) detetadas pelo cristal do transdutor geram um sinal de tensão elétrica, o sinal ultra-sons, que pode ser posteriormente amplificado e processado por eletrónica dedicada. Se não houver grande distorção do impulso sonoro produzido pelo transdutor à medida que se propaga no meio, e se este for refletido por pequenas estruturas presentes ao longo da propagação, espera-se a deteção de um sinal similar ao impulso original, ou pelo menos correlacionado na sua forma e características. Sendo o impulso originar de curta duração, também os impulsos ultra-sónicos detetados se esperam de

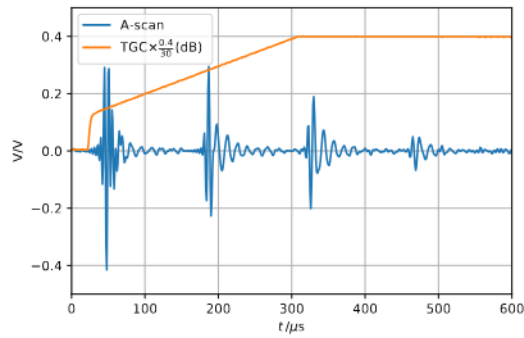


Figura 2: Exemplo de um sonograma (A-scan), representando-se o sinal resultante da amplificação dos ecos captados pelo transdutor, em função do tempo de escuta (amostra de acrílico de faces paralelas). A laranja representa-se o ganho aplicado sobre o sinal, em unidades dB.

duração da mesma ordem de grandeza.

O modo de escuta do transdutor perdura durante um certo tempo, após o qual o transdutor volta a emitir um novo impulso ultra-sónico, e repetindo-se o ciclo emissão/recepção. Este processo repete-se periodicamente à frequência  $f_{imp}$ , a frequência de impulsos gerados, normalmente da ordem  $\sim$  kHz.

### 2.3 medidas *time of flight* (tempo de voo)

As medidas de ultra-sonografia são baseadas na determinação do tempo de viagem de um impulso, desde que deixa o transdutor, interage com o meio sendo redirecionado para o transdutor, e sua detecção. Por um lado, o tempo de voo permite determinar a que profundidade ocorreu a reflexão do sinal. Por outro, a intensidade do sinal pode permitir determinar a impedância acústica da interface que gerou a reflexão. Note-se que a cada interação da onda com interfaces, a energia da onda subdivide-se em ondas secundárias que continuarão a propagar-se ao longo do meio, eventualmente gerando reflexões de ordem superior em direções potencialmente variadas. Estas medidas permitem identificar a forma e dimensões de objetos imersos em meios materiais, de forma não invasiva, com resolução espacial da ordem do comprimento de onda dos ultra-sons utilizados, o que pode ir a dimensões sub-milimétricas. O sinal *sonograma* é construído pela representação do mapa de intensidade US detetada em função do tempo de escuta em resposta a cada impulso de ultra-sons enviados para o material a caracterizar. Veja-se o exemplo na figura 2.

Sendo o tempo máximo de escuta condicionado pela taxa de emissão de impulsos ultra-sónicos, da ordem de  $T_{max} = f_{imp}^{-1}$ , a profundidade máxima que é monitorizada sem ambiguidade é definida por:  $2 \times d_{max} = v_{US} f_{imp}^{-1}$ .

A natureza ondulatória do som é determinante para a qualidade da informação: à menor distância entre dois pontos cujos ecos são distinguíveis é chamada resolução espacial axial. Tanto a extensão do impulso ultra-sónico emitido como o comprimento de onda  $\lambda = c/f_{US}$  limitam a resolução axial (em profundidade).

O processo de atenuação também tem impacto na capacidade de detecção desta técnica, pois na presença de atenuação forte é necessária uma detecção com elevada gama dinâmica e baixo ruído eletrónico para que se possam distinguir os ecos mais ténues. Como vimos, a frequência ultra-sónica  $f_{US}$  tem aqui um papel importante. Assim, a escolha da frequência US tem um impacto considerável na qualidade do sonograma. O aumento da frequência  $f_{US}$  favorece a resolução axial, mas degrada o poder de penetração, pelo que a frequência US deve ser adequadamente escolhida para cada aplicação

### 2.3.1 determinação da velocidade ultra-sônica

É possível medir a velocidade de propagação da onda sonora num sólido de faces paralelas, acoplando o transdutor numa face, e recolhendo os ecos resultantes da reflexão na face oposta. Conhecida a distância  $s$  entre o transdutor e a face-fronteira refletora, a medida do tempo de voo  $t$  de um impulso ultra-sônico de volta ao transdutor permite determinar a velocidade do som no meio material  $c$ , na forma:

$$c = \frac{2s}{t} \quad (3)$$

No entanto, nos instantes iniciais de deteção de sinal, pode ainda captar-se sinal de reflexões na interface de acoplamento do transdutor com a amostra material, onde a potência da onda ultra-sônica é máxima. Este sinal não é de utilidade, pois por um lado tende a saturar o detetor, e por outro é de difícil identificação da forma como do instante inicial da reflexão. Utilizá-lo repercutir-se-á num elevado erro experimental. Este erro pode ser eliminado recorrendo a duas medidas, em  $t_1$  e  $t_2$ , correspondentes a reflexões conhecidas geradas a diferentes comprimentos/profundidade da amostra, em  $s_1$  e  $s_2$ , tal que:

$$c = 2 \frac{(s_1 - s_2)}{(t_1 - t_2)}. \quad (4)$$

Se, por exemplo,  $t_1$  e  $t_2$  são os instantes de recepção dos eco provenientes das primeira e segunda reflexões na face oposta ao transdutor, então sabe-se univocamente que  $s_2 - s_1 = 2s$ , e a determinação de  $c$  não depende de medidas na face de acoplamento.

### 2.3.2 calibração da escala espacial do sinal detetado

As medidas tempo de voo partem da medida experimental do tempo de eco  $\Delta t$  para, conhecida a velocidade de propagação na amostra, determinar a posição  $s$  (ou a extensão espacial) da estrutura originária do eco, pela expressão:

$$s = \frac{1}{2} c \Delta t.$$

No entanto, importa refletir um pouco sobre a medida  $\Delta t$ .

Os transdutores ultra-sónicos têm, normalmente, uma camada protetora sobre a superfície ativa (figura 1). Esta camada introduz um tempo adicional sobre o tempo de voo ao longo da amostra. Na geometria de detecção da secção anterior, e considerando que o tempo de voo na camada protetora equivale a  $t_{2L}$ , e o tempo relativo à propagação na amostra de dimensão  $s$  é  $t_{2s}$ , o tempo de voo que o sistema de medida contabiliza para o tempo de chegada do eco proveniente da face refletora é:

$$t = t_{2L} + \frac{2s}{c}, \quad (5)$$

ou, reescrito de forma a enfatizar o potencial erro,

$$t - t_{2L} = \frac{2s}{c} !$$

Se utilizarmos diretamente  $t$  para o cálculo da extensão  $s$  cometeremos um erro sistemático por excesso, associado às características da sonda.

Para eliminar este erro é necessário determinar experimentalmente o tempo de voo  $t_{2L}$ , característico da sonda utilizada, pois a espessura da camada protetora é característica individual de cada um dos transdutores. Assim, dispondo de uma amostra padrão em que são conhecidos  $s$  (distância entre faces)

e  $c$  (velocidade do som), o tempo de propagação  $t_{2L}$  nessa camada pode ser estimado a partir de:

$$t_{2L} = t - \frac{2s}{c}, \quad (6)$$

em que  $t$  é o tempo registado pelo sistema de detecção para a chegada do eco, sem qualquer processamento de sinal. Determinado  $t_{2L}$ , a medida calibrada da localização/profundidade  $z$  da interface geradora de ecos pode ser determinada com precisão a partir de  $\Delta t = t - t_{2L}$ :

$$z = \frac{1}{2}c(t - t_{2L}),$$

desde que conhecida a velocidade  $c$  do meio.

## 2.4 modos de inspeção US

A visualização da informação estrutural inferida a partir das medidas de tempo de voo na inspeção de amostras com ultra-sons baseia-se no processamento dos sinais eco coletados pelo transdutor. São muito comuns os sinais A-scan e B-scan descritos em seguida.

**A-scan** Representa o vetor de valores de intensidade do eco US, em função da profundidade do eco. O sinal é sujeito a várias operações para melhor visualização:

amplificação o sinal é amplificado para compensar a atenuação exponencial do sinal, podendo ser aplicada amplificação de ganho constante (um factor multiplicativo comum a todo o eco), e/ou amplificado por TGC: *time gain compensation*, i.e um ganho dependente do tempo, configurável (ver secção 2.5.1), permitindo utilizar diferentes níveis de ganho em diferentes instantes da detecção, ou profundidades. a amplificação requer que a detecção seja de muito baixo ruído. (ver figura 2)

envolvente tendo em conta que o sinal é na sua essência uma oscilação modulada, a representação do sinal tira partido da extracção da envolvente desta oscilação, variável no tempo. Desta forma, é necessário extrair a envolvente, o que pode ser realizado por filtragem passa-baixo, ou outros métodos mais elaborados. a identificação da localização da superfície refletora é fortemente dependente da informação da envolvente.

calibração a transposição do tempo de medida para profundidade de eco, que requer conhecimento da velocidade de propagação no meio, e do tempo característico da sonda piezo-elétrica.

O A-scan também pode ser identificado como um *varrimento axial*.

**B-scan** O B-scan é uma imagem representativa de um corte seccional da amostra em teste, e é construído pela agregação sequencial de um conjunto de A-scans recolhidos sequencialmente no espaço. Na imagem B-scan, a amplitude da envolvente dos ecos no A-scan é convertida par níveis de cinzento do pixel, ou para uma escala de cores artificiais, e o tempo de voo é amostrado ao longo das diferentes posições de coluna (linha). Para a aquisição do conjunto sequencial de A-scans, é necessário mover (varrer) a sonda\_US ao longo da superfície da amostra em teste. A resolução local na direção do varrimento depende da posição da sonda e da sua velocidade do movimento de varrimento, o que pode ser realizado pelo movimento lento da mão. Para maior resolução, é necessário dispor de meios automáticos de posicionamento.

A qualidade da imagem é determinada por:

- transmissão de US em posições espaciais bem determinadas (sistema de varrimento)
- resolução axial (frequência US)
- resolução lateral (frequência US, geometria acústica, foco)
- resolução da escala de cinzentos (Potência transmitida, ganho, TGC)
- número de linhas (velocidade de varrimento)
- aberrações (sombras acústicas, reflexões múltiplas, artefactos de movimento).



## 2.5 Equipamentos

As tarefas experimentais são todas realizadas com os seguintes itens:

- Controlador Ecoscope [Phywe] ligado a computador via USB
- Software PHYWE dedicado
- sondas ultra-sónicas a 1MHz (azul) e 2MHz (vermelho) [Phywe]
- Fantomas de Acrílico, de várias formas e dimensões [Phywe]
- Paquímetro e/ou craveira
- conta gotas com água
- toalhas de papel

### 2.5.1 Controlador *Ultrasonics echoscope* PHYWE

A frente do controlado, na fig. 3 está dividida em quatro segmentos. Da direita para a esquerda:

**bloco B** configuração da potência de emissão ultra-sónica (Output dB);

**bloco C** configuração da recepção dos ecos ultra-sónicos: *gain db* - ganho fixo de sinal; *reflection/transmission* - modo de operação do transdutor. Nas experiências propostas utilizamos apenas o modo em reflexão.

**bloco D** 4 botões de ajuste para controlo dos parâmetros de ganho dinâmico *TGC* (*Time Gain Control*) aplicado sobre o sinal detectado; é importante notar que o ganho máximo disponível é de 30dB, pelo que certas conjugações de parâmetros TGC poderão resultar num ganho constante máximo, ao longo da janela de eco:

- *start*: define o tempo de eco a partir do qual é aplicado ganho dinâmico;
- *slope*: define a inclinação da curva de ganho no tempo ( $\text{dB}/\mu\text{s}$ )
- *threshold*: define o valor inicial de ganho, na posição (ou tempo de eco) *start*
- *width*: define a largura temporal da janela de ganho.

**bloco E** entradas e saídas de sinal BNC e USB: permitem-nos aceder a sinais analógicos ligados à operação do ecoscópio e aquisição de sinal; não sendo necessário digitalizar o sinal do ecoscópio, a utilização destas entradas dispensa por completo a utilização de um computador, podendo todos os sinais serem visualizados num osciloscópio:

- *Trigger*: sinal TTL (onda quadrada, 50% duty cycle, 0-5V) síncrono com a emissão de impulsos ultra-sónicos no flanco ascendente
- *TGC*: sinal correspondente ao ganho ( $-500\text{mV} > 0\text{dB} < 320\text{mV} > 30\text{dB}$ ) em função do tempo de eco;
- *RF signal*: sinal detectado pelo transdutor após a amplificação resultante do ganho fixo (*gain dB*) e do ganho dinâmico (*TGC*)
- *A-scan*: sinal obtido pela filtragem (passa baixo) do sinal RF, de forma a recuperar apenas a envolvente do sinal RF

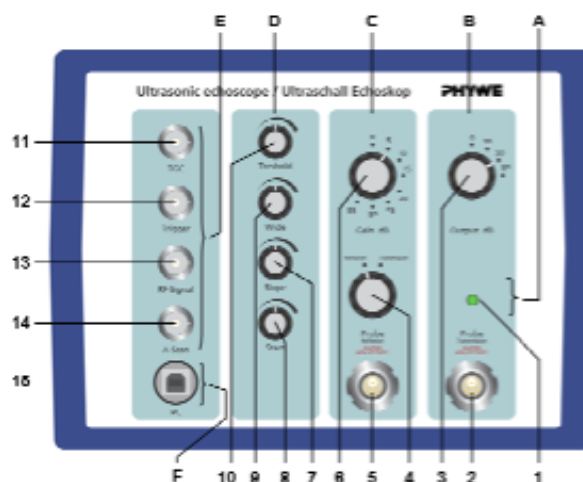


Figura 3: Ecoscope da Phywe

Na operação é obrigatória a conexão de um transdutor na entrada *Probe - reflection*. É através deste transdutor que são emitidos os impulsos ultra-sônicos a utilizar no estudo de amostras. No modo de detecção em reflexão o transdutor executa ambas as tarefas de emissão e detecção. Em experiências configuradas para operar em transmissão, o segundo transdutor é conectado na entrada *Probe - transmission*, no quarto segmento do instrumento. Deve ajustar os parâmetros do transmissor e do receptor de forma a que a sinal de pico preencha pelo menos 75% da amplitude da janela, evitando sempre a saturação do sinal (a ~1V!)

### 2.5.2 Fantomas de acrílico

Este kit disponibiliza um conjunto de fantomas de acrílico que serão utilizados como amostras de estudo.

- bloco paralelepípedo, estruturado, cujo desenho técnico está representado na na figura 4; ;
- 4 cilindros de ~4cm de diâmetro, e de diferentes alturas (2, 4, 8 e 12 cm);

- as amostras (ou fantomas) de acrílico e as sondas devem ser limpas **com água** imediatamente após o seu uso;
- **Não utilizar álcool ou qualquer outro solvente.**

### 2.5.3 Software *MeasureUltraEcho*

*Software* para registo, visualização e análise de dados transferidos da sondaUS.

No topo da janela pode identificar: a frequência da sonda ligada e o modo de operação (reflexão ou transmissão). As posições dos cursores (linhas verticais verde e vermelha) são indicadas no fundo da janela. Os cursores são posicionáveis através do rato. O tempo de voo é indicado debaixo dos botões dos cursores.

A aquisição pode funcionar em duas gamas de medida: *Half* ou *Full* (para tempos de voo superiores a 100µs). Estão implementadas funções de zoom para melhorar visualizar os sinais adquiridos.

O software permite-lhe utilizar (com rato!) dois cursores (vermelho e verde), devolvendo as respetivas posições e a diferença temporal entre as suas localizações.

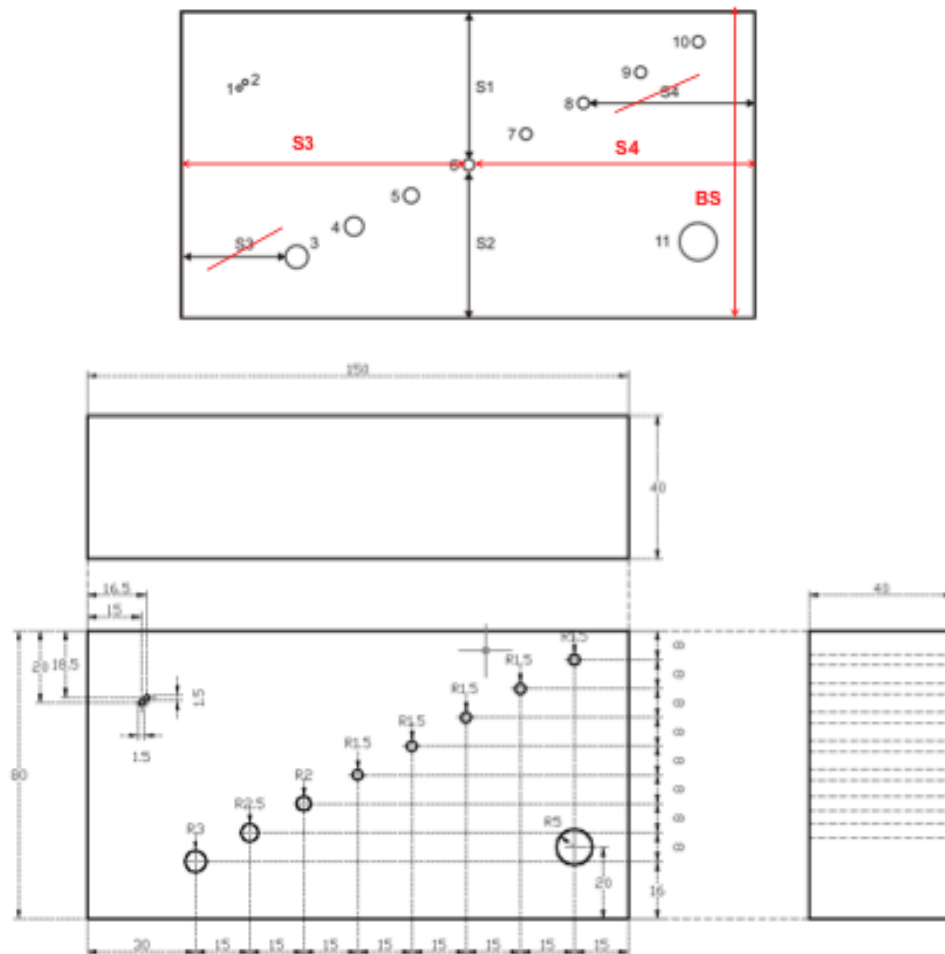


Figura 4: fantoma de acrílico (kit Phywe): velocidade do som em acrílico 2600-2800m/s; valor  $n$  para atenuação  $n \sim 1.8$  : os valores esperados de velocidade e atenuação podem variar, dependendo do fabricante e dos métodos de produção utilizados.

---

### 3 Preparação do trabalho

- a. Procure valores de referência para a velocidade do som em acrílico, e determine:
  1. o comprimento de onda dos ultrassons gerados por transdutores a 1MHz e a 2MHz, em propagação neste material.
  2. o período das ondas ultra-sónicas.
- b. Procure valores de impedância acústica típicos para os meios: acrílico, ar e água.
  1. estime a refletância  $R$  (eq. 1) das interfaces:
    - i. água - acrílico
    - ii. ar - acrílico
    - iii. água - ar
  2. Admitindo que a impedância acústica do material de saída do transdutor é semelhante àquela do acrílico, determine a percentagem de energia transmitida para o acrílico, nas seguintes configurações:
    - i. transdutor >> ar >> acrílico
    - ii. transdutor >> água >> acrílico
- c. O coeficiente de atenuação  $\mu$  na eq. 2 é expresso em unidades  $\text{cm}^{-1}$ . No entanto, as unidades mais comuns para o coeficiente de atenuação são expressas em dB/cm.
  1. Sabendo que a unidade decibel compara duas potências numa escala de potências de 10, ou equivalentemente duas grandezas de energia, tal que:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = 10^{\frac{\text{db}}{10}}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = 10^{\frac{\text{db}}{20}},$$

determine a relação de conversão de  $\mu(\text{cm}^{-1})$  para  $\mu(\text{db/cm})$ .

2. Procure valores típicos de atenuação para o acrílico, e estime em quanto se reduz a energia da onda ultra-sónica ao fim de 1cm, 5cm e 10cm.
  3. pondere de que forma deve utilizar o TGC na determinação do coeficiente de atenuação do material.
- d. Sabendo que dispõe de cilindros de acrílico de vários comprimentos, e de duas sondas de ultrassons com emissão em duas frequências distintas, planeie com o maior rigor possível os protocolos de «medida»/ «análise de dados», de forma a que possa determinar:
    - tempo de atraso associada a cada transdutor
    - velocidade de propagação dos usons em cada amostra
    - atenuação no material.(o que medir, quantas medidas, em que geometria, que variáveis são controláveis, que parâmetros podem contribuir para o erro experimental...)

## 4 Trabalho Experimental

Registe os números de série dos transdutores utilizados na realização do trabalho experimental.

Abra o programa *MeasureUltraEcho*. Vá ao menu *options > parameters* e desative a opção *time shift enabled*

### 4.1 propriedades acústicas do acrílico a partir de sinais *A-scan*

- a. registre o comprimento dos 3 cilindros de menor altura;
- b. Ligue a sonda de 1MHz à entrada «Probe (Reflection)» e posicione o selector em «Reflection»
- c. acople a sonda a um dos menores cilindros de teste com uma **pequena** gota de água.
- d. Software *measure Ultra Echo*: ajuste os parâmetros do transmissor e do receptor de forma a que a altura do pico preencha pelo menos 75% da amplitude da janela.
- e. Visualize o sinal e explore os menus e formas de visualização oferecidos pelo software (se tiver um osciloscópio disponível, visualize e analise os sinais disponíveis nas saídas BNC do equipamento Echoscope).
- f. recolha as seguintes medidas:
  1. período das ondas ultra-sónicas refletidas;
  2. largura do impulso ultra-sónico, determinando a posição dos pontos a 50% da máxima amplitude da envolvente.
- g. Interprete o sinal obtido e avalie que medidas lhe permitirão determinar a velocidade do som no acrílico, e o tempo de atraso da sonda. O software permite-lhe utilizar cursores, devolvendo as respetivas posições.
- h. Realize as medidas para os três cilindros. (note que pode guardar o sinal no computador!)
- i. Realize as medidas que lhe permitirão estimar o coeficiente de atenuação do acrílico (visualizar a aquisição em modo HF+Amp pode ser útil).
- j. Repetir os passos a partir de f para a sonda a 2MHz.
- k. a partir das medidas obtidas, faça uma primeira estimativa (rápida) da velocidade do som e dos tempos de atraso dos transdutores, e introduza-os no *software*.

### 4.2 avaliação do desempenho dos transdutores, a partir de *A-scans* e *B-scans*

#### 4.2.1 Medidas em *A-scan*

- a. reconfigure o software *measure Ultra Echo* com os valores calculados para a velocidade do som e tempos de atraso das sondas
  - ajustar na janela *A-scan* o parâmetro *US velocity* (canto superior esquerdo)
  - ativar e inserir os valores de *time shift* calculados a partir do menu *options > parameters*
  - altere o modo de visualização para profundidade (*Depth*)
- b. escolha 3 defeitos/estruturas do fantoma paralelipédico adequados ao estudo do desempenho dos transdutores

- c. a partir do *A-scan* determine as posições de localização dos defeitos/estruturas escolhidas e as suas dimensões.
- d. repita as medidas com a sonda de 1 MHz probe
- e. registe as dimensões e localização das estruturas escolhidas obtidas com réguas e/ou craveiras.

#### 4.2.2 Medidas em B-scan

A imagem de B-scan é produzida sincronizando o varrimento manual do transdutor ao longo da superfície do fantoma. O acoplamento entre a sonda e o fantoma deve ser feito com um filme fino de água. O brilho e o contraste da imagem adquirida podem ser alterados através de algumas facilidades instaladas de processamento de imagem.

- a. ligar a sonda US (1 MHz ou 2 MHz) e acoplar junto a uma das extremidade das faces longas do fantoma; aplicar uma camada muito fina de água ao longo de toda a face
  - 1. seleccionar o modo «B-Mode» para visualização dos ecos como imagem de brilho.
  - 2. iniciar a aquisição no botão «Start»
  - 3. Mover a sonda de forma estável e controlada ao longo do bloco.
  - 4. terminar a aquisição no botão «Stop» quando atingir o extremo do bloco.
- b. repetir para a outra sonda

## 5 Questões finais

- a. Com base nas medidas apresente um valor final para a velocidade do som no acrílico, com respetiva incerteza experimental.
- b. Calcular os valores de atenuação para as duas frequências US em acrílico e comparar com valores tabelados. Discuta origem de potenciais discrepâncias entre os valores
- c. Identifique a largura dos impulsos ultra-sónicos gerados pelos dois transdutores e os tempos de atraso de cada uma das sondas (*time shift*).
- d. Avalie o desempenho da medida ultra-sónica (penetração e poder de resolução) e sua dependência com a frequência acústica, quer pelos dados adquiridos em modo A-scan, quer a partir das imagens B-scan.