



PROPRIEDADES ACÚSTICAS DA MADEIRA

➤ As **PROPRIEDADES ACÚSTICAS DA MADEIRA** são propriedades que expressam a capacidade da madeira em **TRANSMITIR, REFLETIR E ABSORVER O SOM.**

- A madeira pode ser utilizada na **FABRICAÇÃO DE INSTRUMENTOS MUSICAIS, REVESTIMENTO DE PAREDES E ASSOALHOS** (casas, auditórios, escolas, etc.), e em **ISOLAMENTO ACÚSTICO**
- Por isso, o conhecimento de algumas de suas propriedades acústicas são de elevada importância.

- Para entender as propriedades acústicas de forma mais aprofundada, se faz indispensável o conhecimento dos conceitos teóricos de acústica.

PRINCIPAIS CONCEITOS TEÓRICOS DE ACÚSTICA

➤ **SOM**: São vibrações de corpos e que chegam a nossos ouvidos por **meio de ondas mecânicas** (não podem se propagar no vácuo), necessitando de um meio material (que tem massa e elasticidade) para se propagar.

PRINCIPAIS CONCEITOS TEÓRICOS DA ACÚSTICA

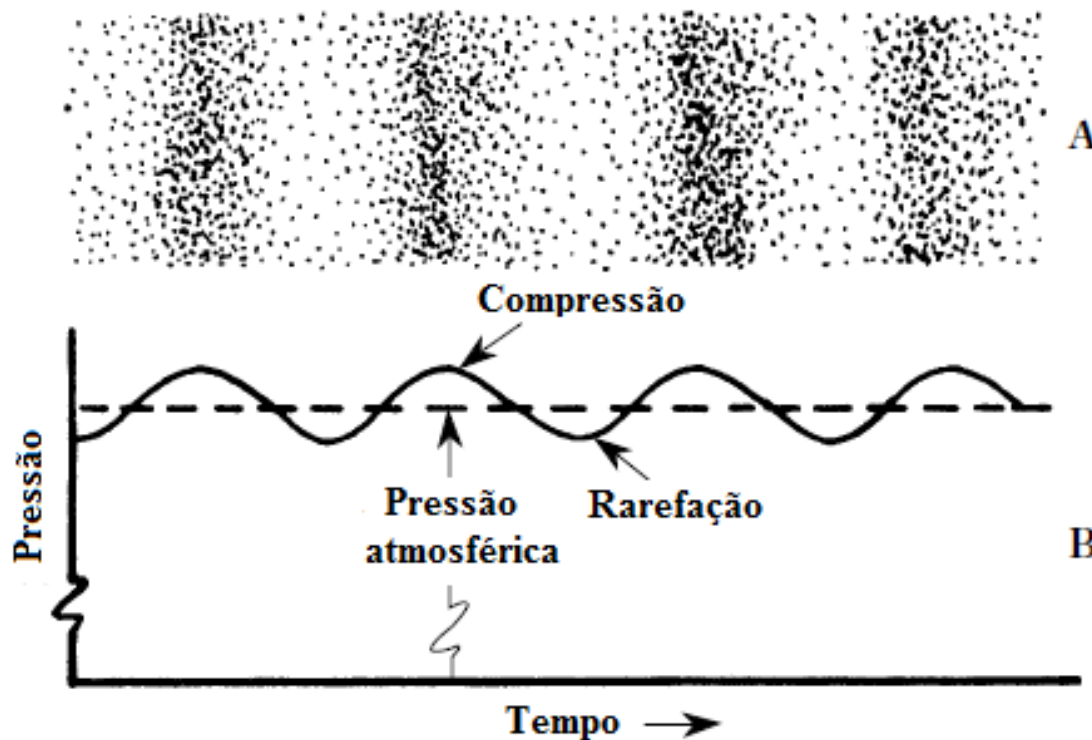
➤ **SOM**: Quando um músico bate em um tambor musical, **a vibração da membrana produz uma pressão no ar (ou outro meio elástico – madeira)** capaz de impressionar o ouvido.

PRINCIPAIS CONCEITOS TEÓRICOS DA ACÚSTICA

➤ **SOM**: As ondas sonoras **são consideradas ondas de pressão**, ou seja, ondas que **se propagam a partir de variações de pressão (série de compressões e rarefações) num meio elástico.**

PRINCIPAIS CONCEITOS TEÓRICOS DA ACÚSTICA

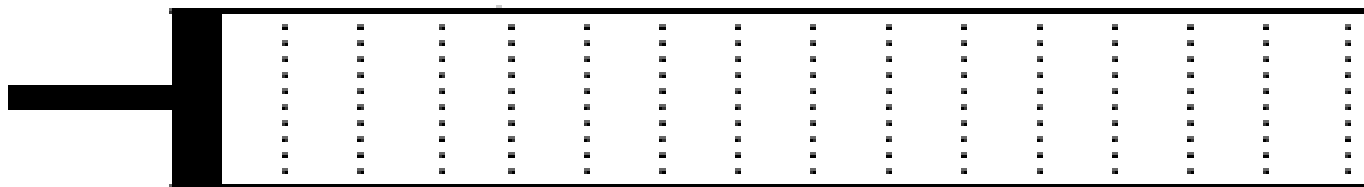
➤ **SOM:**



Visão instantânea das regiões comprimidas e rarefeitas de uma onda de som no ar; b) variação da pressão atmosférica: zonas comprimidas e zonas rarefeitas

PRINCIPAIS CONCEITOS TEÓRICOS DA ACÚSTICA

- Cada molécula de ar, ao vibrar, transmite para a vizinha a sua oscilação, se comportando como uma nova fonte sonora.



PRINCIPAIS CONCEITOS TEÓRICOS DA ACÚSTICA

➤ **PROPAGAÇÃO:** Tipicamente as vibrações de um objeto se propagam por ondas esféricas centradas em tal objeto.



Meios Líquidos



Meios Sólidos



Meios Gasosos

➤ As principais características físicas das ondas sonoras são:

- 1) Comprimento de onda (Ondas curtas e longas);
- 2) Frequência;
- 3) Velocidade, e
- 4) Intensidade do som (Amplitude).

PRINCIPAIS CONCEITOS TEÓRICOS DA ACÚSTICA

- **FREQUÊNCIA:** Uma das características fundamentais do som é a frequência f , que se define como **O NÚMERO DE VARIAÇÕES DE PRESSÃO DA FONTE EMISSORA POR UNIDADE DE TEMPO (SEGUNDO).**
- A unidade de medida do número de vezes que uma mesma onda se repete na unidade de tempo é o **Hertz (Hz)**.
- Se a frequência for 512Hz, significa 512 vezes vibrações em cada segundo.

PRINCIPAIS CONCEITOS TEÓRICOS DA ACÚSTICA

➤ **FREQUÊNCIA:** Quase todos os sons contêm diferentes frequências e uma fonte sonora é muitas vezes diferenciável de outra pelas frequências que emite, como por exemplo a variação do **ruído de um motor** de um grande barco (que tem um **soar grave** devido à predominância de emissão de **baixas frequências**) e uma **serra elétrica** (que tem um **soar agudo** devido à predominância de emissão de **frequências elevadas**).

PRINCIPAIS CONCEITOS TEÓRICOS DA ACÚSTICA

- **FREQUÊNCIA:** As ondas sonoras são as que possuem frequência de vibração entre 20 e 20.000Hz. O ser humano (enquanto jovem e de audição normal) ouve aproximadamente entre os 20Hz e os 20 kHz.
- Ondas mecânicas com frequências inferiores a 20 Hz (infra sonoras) e superiores a 20.000 Hz (ultra sonoras) não provocam sensação no aparelho auditivo humano.

PRINCIPAIS CONCEITOS TEÓRICOS DA ACÚSTICA

➤ FREQUÊNCIA:

- Frequências Graves: **20 a 355 Hz**
- Frequências Médias: **355 a 1.410 Hz**
- Frequências Agudas: **1.410 a 20.000 Hz**

PRINCIPAIS CONCEITOS TEÓRICOS DA ACÚSTICA

- **VELOCIDADE DO SOM:** É a velocidade de propagação de uma onda sonora. Toda onda possui uma velocidade de propagação, ou seja, ela **PERCORRE UMA DISTÂNCIA POR UNIDADE DE TEMPO**.
- Geralmente a velocidade da onda **depende muito do meio material** onde ela está se movendo.

PRINCIPAIS CONCEITOS TEÓRICOS DA ACÚSTICA

- **VELOCIDADE DO SOM:** NO AR, a velocidade de propagação do som depende da densidade e da pressão do ar e pode ser calculada pela equação :

Onde :

P é a pressão atmosférica e

D a densidade no SI.

$$V = \sqrt{1,4 \cdot \frac{P}{D}}$$

Se tomarmos $P = 105 \text{ Pa}$ e $D = 1,18 \text{ kg/m}^3$, obteremos a velocidade $V = 344,44 \text{ m/s}$.

- A **densidade do ar** é bastante **influenciada** pelo vapor d'água (**UMIDADE** e **TEMPERATURA**). Porém, **o fator que mais influi na velocidade do som** é a **TEMPERATURA** (quanto maior a temperatura, maior a velocidade)

➤ **VELOCIDADE DO SOM:** Nos sólidos a velocidade de propagação do som **depende das características elásticas do meio** em que ele se propaga.

$$C = \sqrt{980665 \cdot E / r} \quad (\text{cm / seg})$$

Onde:

C = velocidade do som;

E = módulo de elasticidade do material;

r = massa específica do material.

PRINCIPAIS CONCEITOS TEÓRICOS DA ACÚSTICA

A tabela abaixo permite que você possa comparar, por exemplo, a velocidade do som em diferentes meios:

Ar.....	340 m/seg
Cortiça	500 m/seg
Borracha	500 m/seg

Água	1.450 m/seg
Cimento	4.000 m/seg
Madeira	1.000 a 5.000 m/seg
Ferro.....	5.100 m/seg
Aço	5.000 m/seg
Vidro	5.000 a 6.000 m/seg
Granito.....	6.000 m/seg

OBS.: A maior velocidade nos meios sólidos, deve-se ao fato da proximidade existente entre as **partículas** que constituem o meio ou material de propagação. Como o ar se encontra no estado gasoso, as suas partículas encontram-se mais afastadas umas das outras, e por esse motivo a vibração propaga-se com mais dificuldade através destas.

PRINCIPAIS CONCEITOS TEÓRICOS DA ACÚSTICA

➤ **INTENSIDADE DE SOM:** Intensidade de som é a qualidade que nos permite **caracterizar se um som é forte ou fraco.**

✓ Em acústica refere-se à **percepção** da **AMPLITUDE DA ONDA SONORA**, ou seja, quando a onda sobe ou desce. Frequentemente também é **CHAMADA DE "VOLUME" OU "NÍVEL DE PRESSÃO SONORA.**

➤ É quantificada em W/m^2 .
$$I = \frac{P}{A}$$

PRINCIPAIS CONCEITOS TEÓRICOS DA ACÚSTICA

- É chamada **mínima intensidade física**, ou *limiar de audibilidade*, o menor valor da intensidade sonora ainda audível: $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Por sua vez, a **máxima intensidade física**, ou *limiar de dor*, é o maior valor da intensidade sonora suportável pelo ouvido: $I = 10 \text{ W/m}^2$.

	Intensidade (W/m^2)	Nível (dB)
Som apenas perceptível	10^{-12}	0
Murmúrio	10^{-10}	20
Residência média	10^{-9}	30
Escritório	10^{-7}	50
Pancada	10^{-6}	60
Rua movimentada	10^{-5}	70
Subterrâneo ou automóvel	10^{-3}	90
Som que produz dor	10^0	120
Avião a jato	10^1	130
Lançamento de foguetes	10^5	170

ACÚSTICA DA MADEIRA

➤ Comportamento acústico da madeira sob vibração **ESTÁ**

RELACIONADO com:

1) A **ELASTICIDADE DO MATERIAL PARALELO E**

PERPENDICULAR AS FIBRAS, e

2) A FRICÇÃO INTERNA CAUSADA PELA DISSIPAÇÃO

DA ENERGIA PROVENIENTE DA VIBRAÇÃO.

ACÚSTICA DA MADEIRA

- A **MADEIRA MACIÇA** NÃO É UM BOM ISOLANTE ACÚSTICO, **PORÉM**, pode ser UM MATERIAL ACÚSTICO devido sua CAPACIDADE DE REFLETIR E ABSORVER uma quantidade importante de **SOM** incidente, a fim de reduzir o nível de pressão de som ou a reverberação de um recinto.

ACÚSTICA DA MADEIRA

- A Absorção sonora e a eficiência de reflexão do som está fortemente relacionada com a **estrutura interna** da madeira, **sua superfície, tipo de montagem, geometria da peça**, etc.
- Por exemplo, compensados e aglomerados fornecem **absorção sonora** na região de **baixa frequência** do espectro sonoro (< 500 Hz).

ACÚSTICA DA MADEIRA

➤ As propriedades da madeira que interferem nas propriedades acústicas da mesma são:

1) PROP. ANATÔMICAS;

2) DENSIDADE;

3) UMIDADE;

4) PROP. TÉRMICA - TEMPERATURA;

5) MÓDULO DE ELASTICIDADE.

➤ Estas determinam **a velocidade de propagação do som** na madeira e a **intensidade do som irradiado.**

ACÚSTICA DA MADEIRA

- **VELOCIDADE DO SOM NA MADEIRA** – A velocidade de propagação do som além de ser diretamente proporcional ao MOE E A DENSIDADE, **UMIDADE**, **TEMPERATURA**. Também varia dependendo da ESPÉCIE de madeira e a DIREÇÃO DA GRÃ.

ACÚSTICA DA MADEIRA

- **VELOCIDADE DO SOM NA MADEIRA** – A velocidade de propagação do som, C (m/s) é definida como a raiz quadrada do módulo de elasticidade da madeira, E (N/mm²), dividido pela densidade, ρ (g/m³), da própria madeira.

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

ACÚSTICA DA MADEIRA

VELOCIDADE DO SOM NA MADEIRA – Exemplo:

Utilizando-se uma madeira com módulo de elasticidade igual a 160.000 kg/cm², paralelo às fibras, e uma massa específica de 0,67 g/cm³, obteremos uma velocidade de propagação de som de:

$$C = \sqrt{\frac{(980.665 \times 160.000)}{0,67}}$$

$$C \approx 490.000\text{cm/s ou } 4900\text{m/s}$$

ACÚSTICA DA MADEIRA

➤ **Fatores que interferem na velocidade do som na madeira – DENSIDADE**

✓ **ALTA VELOCIDADE DO SOM para MADEIRAS DE DENSIDADES ALTAS.** A velocidade alcança na madeira, apesar de sua pequena densidade, valores semelhantes como para os metais. Ex. cobre = 3900 m/s.

ACÚSTICA DA MADEIRA

➤ Fatores que interferem na velocidade do som na madeira –

DENSIDADE

Segundo Bucur (1995) a velocidade de propagação do som aumenta com aumentos na densidade da madeira. De acordo com Carrasco e Azevedo Júnior (2003), não é propriamente o aumento da densidade que acarreta o aumento na velocidade de propagação do som em madeiras. Ao contrário, o aumento da densidade deveria provocar a diminuição da velocidade de propagação, visto que a velocidade é inversamente proporcional à raiz quadrada da densidade.

O QUE AUMENTA A VELOCIDADE DO SOM NA MADEIRA NÃO É O AUMENTO DA DENSIDADE, MAS SIM O AUMENTO DO COEFICIENTE DE RIGIDEZ.

ACÚSTICA DA MADEIRA

➤ Fatores que interferem na velocidade do som na madeira – **UMIDADE E TEMPERATURA**

- ❖ Green et al . (1999a) descreveram que a **VELOCIDADE DO SOM DIMINUI** COM O **AUMENTO DA TEMPERATURA E TEOR DE UMIDADE** devido à influência destas duas variáveis sobre o **módulo de elasticidade e densidade**.
- ❖ De modo geral, as **propriedades mecânicas** da madeira **decrecem** quando **aquecidas** e **umentam** quando **esfriadas**.

ACÚSTICA DA MADEIRA

➤ Fatores que interferem na velocidade do som na madeira – **Temperatura e umidade**

Geralmente, a velocidade de propagação do som diminui com o aumento da temperatura, porque altas temperaturas produzem baixa densidade devido à expansão térmica da madeira; e aumento do teor de umidade, porque com o aumento da umidade, o módulo de elasticidade decresce e a densidade aumenta (Wood Handbook, 1999).

ACÚSTICA DA MADEIRA

➤ Fatores que interferem na velocidade do som na madeira – **ESPÉCIE**

- ✓ As **CONÍFERAS** apresentam **MAIORES VALORES DE VELOCIDADE DO SOM DO QUE AS FOLHOSAS**. A contínua e uniforme estrutura das coníferas apresenta baixa dissipação de energia, favorecendo, portanto, o aumento da velocidade das ondas quando comparada às folhosas.

ACÚSTICA DA MADEIRA

- **Fatores que interferem na velocidade do som na madeira – Anisotropia**
- Na madeira, ao contrário, a ANISOTROPIA desempenha um papel visível na difusão do som.
- **Direção estrutural**
 - ✓ Para a madeira, para teores de umidade em torno de 5 %, a velocidade do som é:
 - **Paralela às fibras = 3400 a 5200 m/s;**
 - **Perpendicular às fibras = 1000 a 1500 m/s.** Radial é maior que tangencial.

ACÚSTICA DA MADEIRA

Velocidade do som em função da anisotropia da madeira

Espécie	Veloc. do som (m/s) (paralelo às fibras)	Veloc. do som (m/s) (perpendicular às fibras)
<i>Picea abies</i>	4900	1030
<i>Pinus sylvestris</i>	4800	932
<i>Fagus sp</i>	4600	
<i>Robinia</i>	3000	

ACÚSTICA DA MADEIRA

- **MEDIDAS IMPORTANTES** – Existem diferentes tipos de ruído que causam grande preocupação e incômodo: Aqueles de **ORIGEM EXTERNAS** principalmente os produzidos pelo tráfego e atividades comerciais, industriais, ou outros e os de **ORIGEM INTERNA** principalmente os produzidos por eletrodomésticos, aquecimento, ar condicionado, sistemas sanitários, dispositivos de entretenimento, instrumentos musicais, rádio, TV, conversas (**Propagação sonora no ar**), o ruído no chão, provocados pelo impacto de crianças pulando, correndo e adultos andando (**Propagação no material concreto**).

ACÚSTICA DA MADEIRA - Medidas Importantes

a) Propagação sonora no ar: O choque de ondas sonoras que se propagam no ar sobre uma parede faz com que a mesma entre em vibração e essas mesmas vibrações transportarão o som através do ar para os lugares vizinhos.

Desejando-se portanto um **bom isolamento do som propagado através do ar**, as oscilações das partes componentes de construção deverão ser reduzidas, isto significa que **a massa (rigidez das paredes) deve ser grande.**

ACÚSTICA DA MADEIRA - Medidas Importantes

a) Propagação sonora no ar: Paredes simples de madeira apresentam isolamento acústico deficiente devido sua pouca massa constituinte. Mesmo paredes duplas preenchidas de tábuas ou chapas atingem um peso de 50 - 100 Kg/m² que corresponde apenas a um índice de isolamento de 37 a 44 dB. Ex. muro constituído de uma largura de tijolos apresenta 49 dB (índice de isolamento).

ACÚSTICA DA MADEIRA - Medidas Importantes

a) PROPAGAÇÃO SONORA NO AR: Se o comprimento de ondas é muito superior ao desenvolvimento de um obstáculo, as ondas conseguem ultrapassá-lo. Uma vez que grandes comprimentos de onda estão associados a baixas frequências, essas frequências são geralmente mais audíveis a maiores distâncias e atrás das barreiras. Se o comprimento de onda for inferior ao desenvolvimento de uma dada barreira, por exemplo, a mesma consegue impedir a transposição da onda, criando-se uma zona de sombra atrás da Desenvolvimento de Absorvedores Sonoros para Baixas Frequências. Posto isto conclui-se que as **BARREIRAS ACÚSTICAS SÃO BASTANTE MAIS EFICAZES NAS MÉDIAS/ALTAS FREQUÊNCIAS DO QUE NAS BAIXAS FREQUÊNCIAS.**

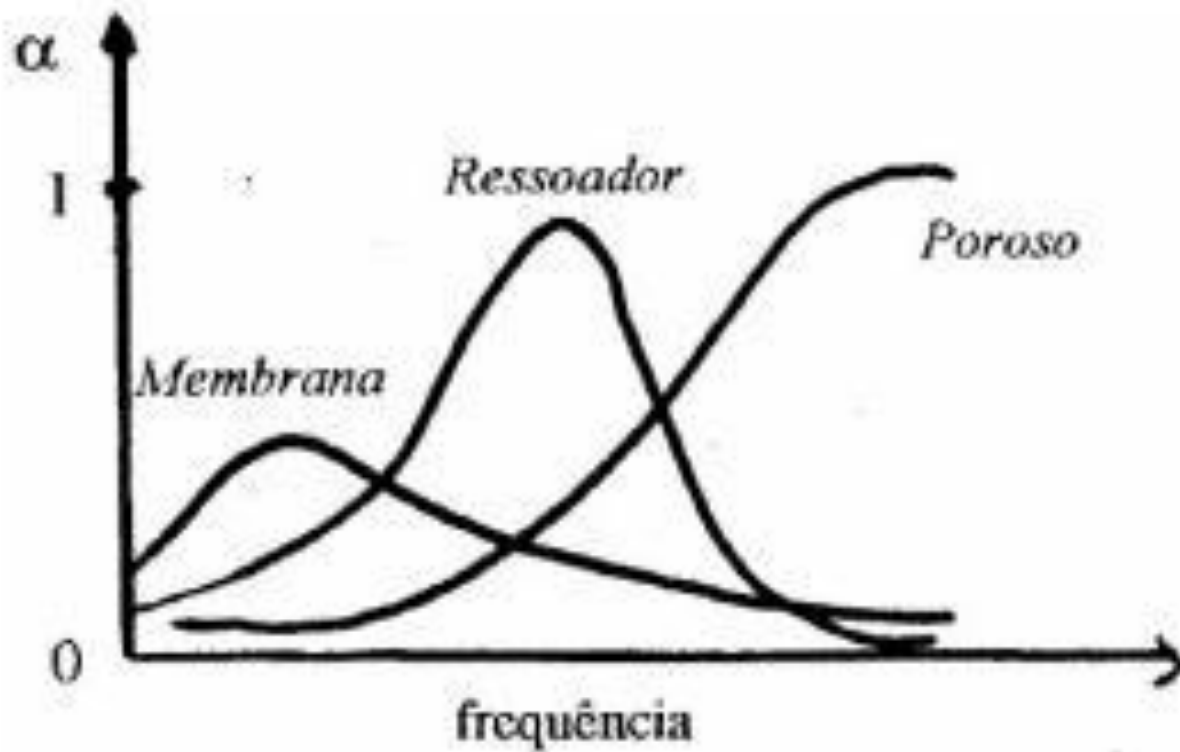
ACÚSTICA DA MADEIRA - Medidas Importantes

a) PROPAGAÇÃO SONORA NO AR: A acústica de recintos depende da **RELAÇÃO ENTRE O SOM REFLETIDO E/OU ABSORVIDO** pelos seus componentes **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**. Os materiais de construção utilizados influenciam além do ângulo de reflexão, também sobre o **grau de absorção**. Além disso, é ainda influenciada pela composição **GEOMÉTRICA DA PEÇA** que repercute na frequência (comprimento da onda) e no ângulo de reflexão.

ACÚSTICA DA MADEIRA - Medidas Importantes

b) Propagação sonora no material concreto – Este som é produzido pelo pisar, por exemplo sobre tetos ou assoalhos ou por batidas e se propaga dentro do material de construção. Uma redução acústica satisfatória só pode ser conseguida mediante incorporação de materiais absorventes sonoros moles e porosos ao material de construção. Por ex. chapas moles de fibras, lã de vidro etc.

TIPOS DE MATERIAIS ABSORVEDORES



TIPOS DE MATERIAIS ABSORVEDORES

- Os reposteiros, alcatifas, massas porosas com fibras minerais, **placas de fibra de madeira**, **aglomerados negros de cortiça**, mantas de fibras de minerais (lã de rocha, lã de vidro), são alguns exemplos de **MATERIAIS POROSOS** mais utilizados na absorção essencialmente das **ALTAS FREQUÊNCIAS**.



Painéis de isolamento natural, térmico e acústico, feito a partir de fibras de lã e de madeira de abeto.

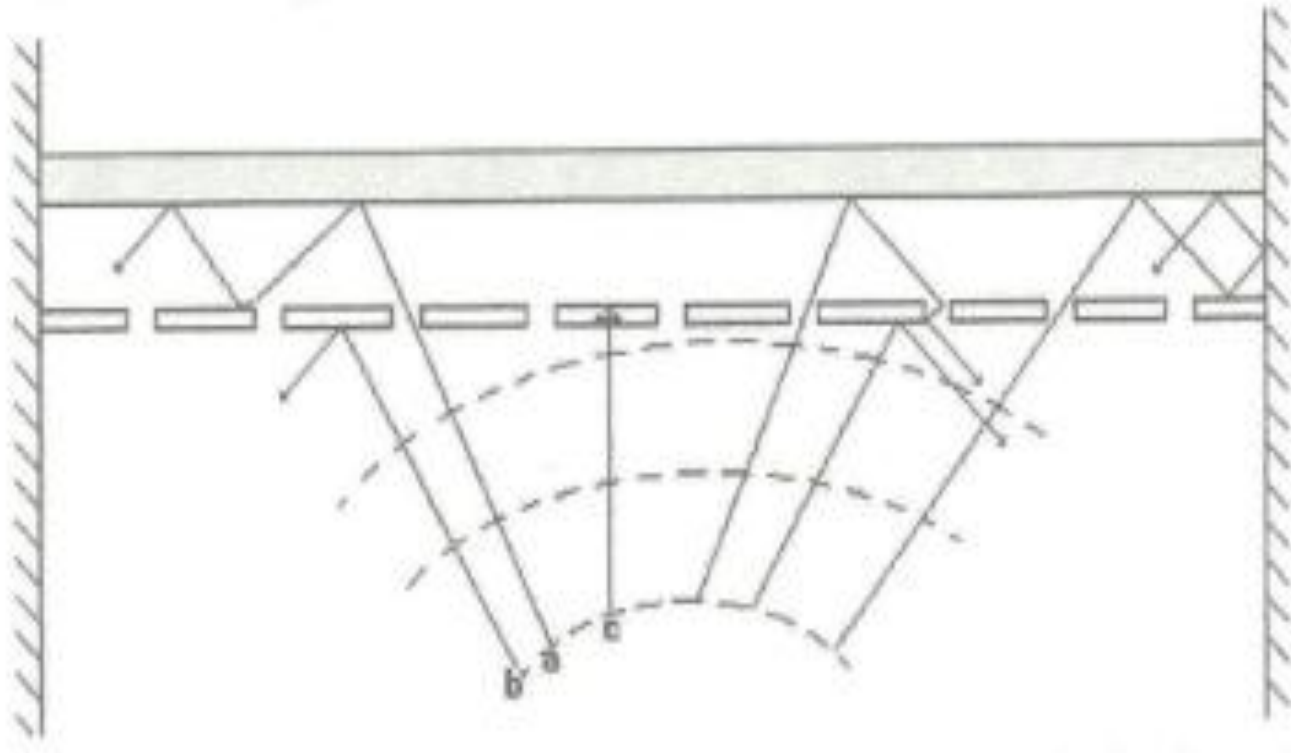


Isolante poroso - A **espuma absorvedora acústica** possui uma estrutura multicelular fazendo com que a onda sonora seja dissipada (perca energia) em seu interior.

ACÚSTICA DA MADEIRA



chapa acústica



a = o som penetra nos buracos da chapa acústica e perde energia através da reflexão contínua causada pelos choques com a parede da parte oca.

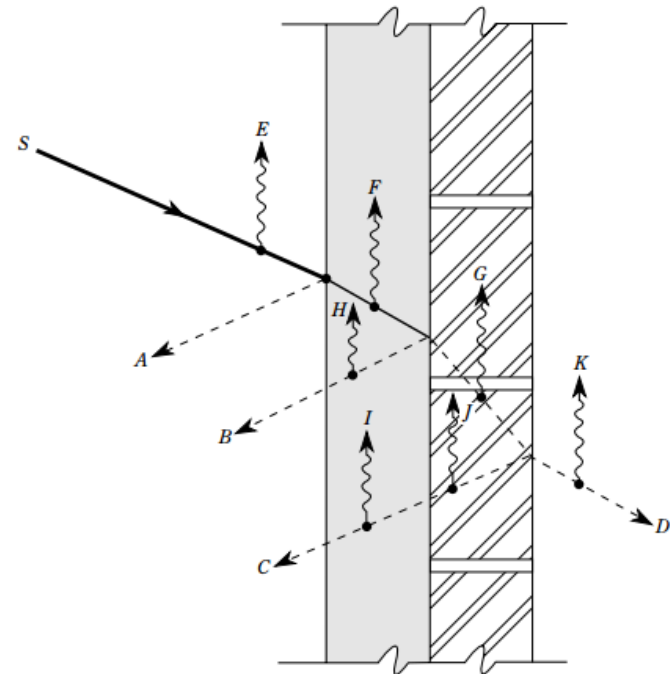
b = uma parte do som é refletida no recinto (parte audível)

c = uma parte do som é absorvida

ACÚSTICA DA MADEIRA

- Sempre que uma onda sonora atinge qualquer elemento plano, uma parte da energia que lhe está associada é **TRANSMITIDA** ao espaço adjacente, outra é **REFLETIDA** pelo elemento plano e outra é, ainda, **DISSIPADA** nesse mesmo elemento.

S: Onda sonora incidindo numa superfície
A, B, C: reflexões;
D: transmissão;
E, F, G, H, I, J, K: dissipações de energia em forma de calor



ACÚSTICA DA MADEIRA

- A IMPEDÂNCIA ACÚSTICA é definida como sendo a **propriedade** que um material possui **em transmitir uma vibração acústica com maior ou menor facilidade (resistência a propagação sonora)**.
- **IMPEDÂNCIA ACÚSTICA (z)** - É dado pelo produto da velocidade do som, pela densidade.

$$z = c\rho = \sqrt{E\rho}$$

Quanto menor, melhor
será a qualidade
acústica do material

ACÚSTICA DA MADEIRA

- Em experimentos de acústica observa-se que a vibração de uma placa é amortecida, parte devido à fricção interna (calor) e parte, pela irradiação sonora.

ACÚSTICA DA MADEIRA

- O COEFICIENTE DE IRRADIAÇÃO DO SOM (R) é definido como a relação entre a velocidade do som (C), m/s, e densidade da madeira.



$$R = \frac{c}{\rho} = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}}$$

Para materiais considerados como bons materiais acústicos, esse valor **deve ser o mais alto possível**

O coeficiente de irradiação do som descreve quanto à vibração dum corpo é amortecida devido a irradiação do som. Em geral, os melhores materiais são aqueles que irradia, bem o som. No caso da marimba, um grande coeficiente de irradiação do som é desejável quando se pretende produzir um som alto.

ACÚSTICA DA MADEIRA

- **O COEFICIENTE DE PERDA DO SOM** quantifica o amortecimento da vibração devido à fricção interna causada pela **dissipação** da energia proveniente da própria vibração. O coeficiente de perda é **INDEPENDENTE DA DENSIDADE E DO MOE.**

O coeficiente de perda é uma importante característica no som do instrumento, pois é está que define o tempo em que o som se sustentará, podendo variar de 0,1 até cerca de 0,002. Portanto, quanto menor o coeficiente de perda, melhor é a resposta acústica da madeira em termos de sustentabilidade do som.

ACÚSTICA DA MADEIRA

➤ PERDA DE ENERGIA DO SOM NA MADEIRA

1. PERDA DE ENERGIA DO SOM NA MADEIRA ocorre através DA EMISSÃO PARA FORA: A emissão de energia para fora é provocada pela perda da energia do **SOM IRRADIADA**. Esta perda é uma parte da energia do som que é emitida na difusão de onda **EM MEIOS ADJACENTES**. Por ex. Ao ar que circula um corpo de madeira.
2. Perda de energia do som dentro da madeira: Aparece através de ATRITO INTERNO ALTO NO PRÓPRIO MATERIAL. A perda de energia do som dentro do corpo da madeira se dá em razão de processos de atritos moleculares.

ACÚSTICA DA MADEIRA

➤ PERDA DE ENERGIA DO SOM DENTRO DA MADEIRA

- ❖ A **APTIDÃO DA MADEIRA** como material para **CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTOS MUSICAIS** deve-se ao fato de que a **MADEIRA** tem uma **ALTA PERDA DE ENERGIA ATRAVÉS DA EMISSÃO PARA FORA** e uma **PEQUENA PERDA DA ENERGIA DENTRO DELA**.
- ❖ Na construção de instrumentos musicais, **A PERDA DA ENERGIA DO SOM DENTRO DA MADEIRA** é **DIMINUÍDA** através do emprego de **FINAS CAMADAS DE MADEIRA**. Também a **IGUALDADE DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO**, **POUCO LENHO TARDIO** e **BAIXA DENSIDADE** atuam nessa direção.

MEDIDAS IMPORTANTES

➤ EMISSÃO DA ENERGIA DO SOM PARA FORA


- ❖ Experiências mostram que *Picea abies* (abeto, spruce) é apropriada como madeira de ressonância (base de ressonância para pianos, guitarras, violino etc). Quando corretamente cortada o som vibra de maneira muito semelhante a um cone de alto-falante.



ACÚSTICA DA MADEIRA PARA INSTRUMENTOS MUSICAIS

Para **instrumentos musicais** os principais parâmetros determinados são:

- 1) VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DO SOM;
- 2) IMPEDÂNCIA ACÚSTICA;
- 3) COEFICIENTE DE IRRADIAÇÃO DO SOM, I
- 4) COEFICIENTE DE PERDA.



INTENSIDADE
DO SOM
IRRADIADO

F I M