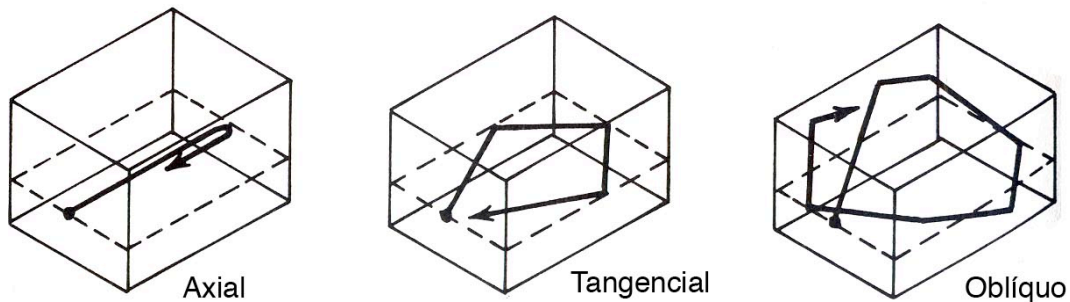


Fundamentos de Acústica Musical

Cálculo de Modos

As ondas estacionárias que se formam numa sala geram regiões em que certas frequências são amplificadas ou atenuadas. As ondas estacionárias formadas numa sala são chamadas de **modos da sala**. Existem três tipos de modos:

- Os axiais, formados em um dos 3 eixos (altura, comprimento e largura) da sala;
- Os tangenciais, formados entre 2 dimensões da sala;
- Os oblíquos, formados entre 3 dimensões da sala;



Os modos são especialmente problemáticos para as frequências até 300Hz. Acima disso, há uma superposição de um número muito grande de modos que acabam gerando um comportamento mais equilibrado da sala. Abaixo de 300 Hz pode haver superposição de modos numa determinada faixa de frequência gerando distorções na resposta da sala. Quanto menos a sala, maior a possibilidade de haver distorções devidas aos modos.

Para realizar o cálculo de modos pode-se usar as fórmulas:

Modos Axiais:

$$f_x = \frac{v}{2} * \frac{m}{x} \quad f_y = \frac{v}{2} * \frac{n}{y} \quad f_z = \frac{v}{2} * \frac{p}{z}$$

onde

x, y, z são as 3 dimensões da sala;

m, n, o são a ordem dos harmônicos do modo (números inteiros positivos, 1, 2, 3, 4,)

v é a velocidade de propagação do som

Modos Tangenciais:

$$f_{x,y} = \frac{v}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{y}\right)^2} \quad f_{x,z} = \frac{v}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{x}\right)^2 + \left(\frac{p}{z}\right)^2} \quad f_{y,z} = \frac{v}{2} \sqrt{\left(\frac{n}{y}\right)^2 + \left(\frac{p}{z}\right)^2}$$

Modos Oblíquos:

$$f_{x,y,z} = \frac{v}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{x}\right)^2 + \left(\frac{n}{y}\right)^2 + \left(\frac{p}{z}\right)^2}$$

A equação usada para os modos oblíquos é uma equação genérica que pode ser usada para todos os outros modos.

Deve-se calcular todos os modos axiais, tangenciais e oblíquos. Em seguida, conta-se o número de modos contido em cada banda de 1/3 de oitava centralizada nas frequências da norma ISO. Deve-se dividir o número de modos tangenciais por 2 e os oblíquos por 4, já que sua importância é menor devido às perdas com o número maior de reflexões de cada um deles.

Tabelas de Frequências ISO

Frequência Central (Hz)	Faixa de Frequências (Hz)
25	22.4 a 28.1
31,5	28.1 a 35.5
40	35.5 a 44.7
50	44.7 a 56.1
63	56.1 a 70.7
80	70.7 a 89.1
100	89.1 a 112
125	112 a 141
160	141 a 179
200	179 a 224
150	224 a 281
315	281 a 355

O número de modos deve aumentar com a banda de frequência. A **Densidade Modal** é igual ao número de modos dividido pela frequência central de cada banda. O ideal é que a densidade modal se aproxime de uma curva ascendente. A existência de picos ou desníveis acentuados indica um desequilíbrio na distribuição dos modos. Uma curva com uma densidade modal muito irregular sugere uma sala muito desequilibrada em termos de frequência.

Por exemplo, se um ambiente apresenta 12 modos na banda de 125Hz, a densidade modal nessa faixa de frequência é de $12/125 = 0,096$ modos/Hz.

Referência:

Valle, Sólón (2006). Manual Prático de Acústica. Rio de Janeiro: Editora Música e Tecnologia