



### Questões relativas ao resultado

**1 - Qual é a dependência (qualitativa) entre a frequência produzida e o comprimento da coluna de ar?**

**Resposta:** Quanto maior o tubo, mais grave é o som produzido, ou seja, a frequência é mais baixa.

**2 - Qual o comprimento de um tubo que produz como fundamental a oscilação que é o primeiro harmônico de outro?**

**Resposta:** O primeiro harmônico tem o triplo da frequência do fundamental, assim, o tubo deverá ter um terço do comprimento.

**3 - Calcule as frequências fundamentais do primeiro e segundo harmônicos para os tubos de 15 cm, 7,5 cm e 5 cm de comprimento. Utilize 340 m/s como a velocidade do som no ar.**

**Resposta:** Usando as fórmulas deduzidas na introdução:

- 15 cm: 567 Hz, 1.700 Hz e 2.833 Hz
- 7,5 cm: 1.133 Hz, 3.400 Hz e 5.667 Hz
- 5 cm: 1.700 Hz, 5.100 Hz e 8.500 Hz

Observe que o fundamental do tubo de 5 cm é igual ao primeiro harmônico do tubo de 15 cm.

### Questões para reflexão e discussão

**1 - Quando sopramos o tubo mergulhado na água, mesmo tomando bastante cuidado para não movê-lo, podemos notar que no início ocorre uma pequena variação na altura do som. Por que isso acontece?**

**Resposta:** Com o sopro, a pressão dentro do tubo passa a ser um pouco maior que a pressão atmosférica, e isso faz com que a água que está lá dentro abaixe um pouco. Percebemos isso como uma pequena queda na frequência do som produzido enquanto a água é empurrada para baixo.

**2 - O que acontece quando aumentamos a intensidade do sopro em um tubo mergulhado na água, sem movê-lo? Acontece o mesmo quando fechamos o tubo com o dedo? Por quê?**

**Resposta:** Como na questão anterior a pressão dentro do tubo abaixa a água, aumentando o comprimento do tubo e diminuindo a frequência. Com o dedo, este efeito não é observado, porque o comprimento do tubo permanece constante.

**3 - O que aconteceria se fizéssemos um furo no tubo? Ainda seria fácil conseguir a ressonância?**

**Resposta:** A condição de nó na extremidade fechada estaria perdida e a frequência de ressonância seria maior, já que, essa situação corresponde, aproximadamente, a de um tubo aberto nas duas extremidades.

### Questões Desafio

**1 - Também podemos fazer tubos sonoros com garrafas de vidro parcialmente cheias de água. Neste caso, quando sopramos a boca da garrafa, obtemos sons que serão tão mais agudos quanto maior for a quantidade de água, já que se trata de um tubo sonoro como o estudado aqui. No entanto, se usarmos as mesmas garrafas como um xilofone, golpeando-as com um objeto duro, os sons serão mais graves quanto maior for a quantidade de água. Por que isso acontece?**

**Resposta:** Quando sopramos a boca da garrafa, colocamos o ar do seu interior em oscilação e as frequências de ressonâncias serão menores para volumes maiores de ar. No entanto, quando golpeamos a garrafa, colocamos o vidro e a água do seu interior em oscilação, e nesse caso, as frequências de ressonância serão menores quanto maior for o volume de água em oscilação.

**2 - O diâmetro do tubo não entra no cálculo das frequências de ressonância. Isso quer dizer que, se tivermos dois tubos com exatamente o mesmo comprimento, mas diâmetros diferentes, as frequências calculadas seriam exatamente as mesmas. Porém, apesar das frequências serem muito próximas dos valores calculados, isso não ocorre. Você consegue imaginar uma razão para isso?**

**Resposta:** No modelo para a determinação dos modos fundamentais considerou-se que os ventres das ondas estacionárias encontram-se exatamente na extremidade aberta do tubo.

Mas o comportamento das frentes de onda na saída do tubo é muito complexo e afirmar que a reflexão ocorre no fim do tubo é uma aproximação. Para um cálculo um pouco melhorado podemos considerar que a reflexão ocorre um pouco além da extremidade, cerca 0,6 vezes o diâmetro do tubo. Isso corresponde a imaginarmos que existe uma coluna de ar “efetiva” um pouco maior do que o tubo.

Por isso, dois tubos com exatamente o mesmo comprimento, mas diâmetros diferentes terão frequências de ressonância ligeiramente diferentes – o tubo de diâmetro maior produzirá um som ligeiramente mais grave.

Essa é uma das razões pelas quais é difícil fazer coincidir o som do primeiro harmônico com o do tubo com  $1/3$  do comprimento, uma vez que o efeito será mais pronunciado no tubo menor.

Esta, também, é uma oportunidade de discutir com os alunos a importância que os modelos e as aproximações têm na ciência.

**Fique atento às condições de segurança!**