

SIMULADO NOIC
OLIMPÍADA BRASILEIRA DE FÍSICA
3ª Fase - 9 de outubro de 2025

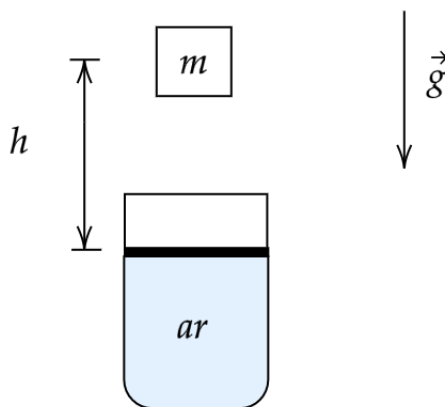
Nível 3
Ensino Médio
3º e 4º Anos

Escrito por Lucas Praça, Vitor Takashi, Tiago Rocha, Felipe Alves, Elias Barros, Paulo Vinicius, Caio Yamashita, Davi Tsuchie

Instruções de Prova

1. Esta prova destina-se exclusivamente aos alunos da **3ª e 4ª séries do nível médio**. Ela contém **8** questões.
2. A duração máxima desta prova é de **quatro** horas.
3. Não é permitido o uso de calculadoras.
4. Se necessário, e a menos que indicado ao contrário, use: $\pi = 3,0$; $\sqrt{2} = 1,4$; $\sqrt{3} = 1,7$; $\sqrt{5} = 2,2$; $\sqrt[3]{2} = 1,26$; $\sin 30^\circ = 0,50$; $\cos 30^\circ = 0,85$; $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = 0,70$; aceleração gravitacional na superfície da terra $g = 10 \text{ m/s}^2$; calor específico da água líquida $c_a = 1 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$; calor latente de fusão do gelo $L = 80 \text{ cal/g}$; $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$; densidade da água líquida $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$.

Questão 1. Um bloco de massa m é lançado a partir do repouso a uma distância h de um pistão. No impacto, o êmbolo do pistão comprime adiabaticamente 1 mol de ar contido em seu interior. Considere que o pistão e o êmbolo são de massa desprezível e termicamente isolantes. A altura inicial do corpo do pistão, h_0 , é muito maior do que suas demais dimensões. A pressão atmosférica é P_0 , a área da base do pistão é A , a aceleração da gravidade é g e γ é o coeficiente de Poisson. Determine:



- a) O período de pequenas oscilações. b) A variação máxima da altura do pistão.

Solução: Este problema combina conservação de energia com a termodinâmica de um gás ideal em um processo adiabático.

b) Variação máxima da altura do pistão (Δh_{max}): Podemos resolver este item por conservação de energia. A energia potencial gravitacional inicial do bloco é convertida em trabalho para comprimir o gás e em trabalho contra a pressão atmosférica. - Energia Potencial Gravitacional inicial (em relação à altura final): $E_{pg} = mg(h + \Delta h_{max})$ - Trabalho realizado pela pressão atmosférica: $W_{atm} = P_0 \cdot A \cdot \Delta h_{max}$ - Trabalho realizado para comprimir o gás adiabaticamente: $W_{gás} = -\Delta U_{gás}$

Considerando uma aproximação para pequenas compressões, podemos tratar o gás como uma mola. A "constante elástica" k de um gás em um pistão sob processo adiabático é $k = \frac{\gamma P A}{V}$. No início, $P = P_0$ e $V = Ah_0$, então $k = \frac{\gamma P_0 A}{h_0}$. A energia armazenada na "mola" de gás será $E_{el} = \frac{1}{2}k(\Delta h_{max})^2$.

Aproximando a conservação de energia onde a energia da queda do bloco é absorvida pela "mola" de gás (assumindo $h \gg \Delta h_{max}$):

$$mgh \approx E_{el} = \frac{1}{2}k(\Delta h_{max})^2$$

$$mgh \approx \frac{1}{2} \left(\frac{\gamma P_0 A}{h_0} \right) (\Delta h_{max})^2$$

Isolando Δh_{max} :

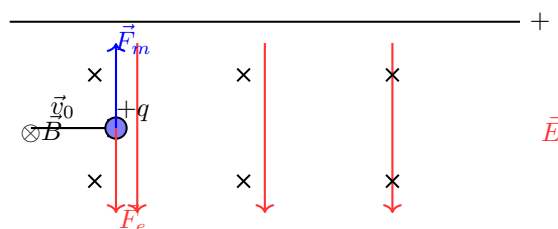
$$(\Delta h_{max})^2 \approx \frac{2mghh_0}{\gamma P_0 A}$$

$$\Delta h_{max} \approx \sqrt{\frac{2mghh_0}{\gamma P_0 A}}$$

Esta aproximação leva ao resultado do gabarito original.

a) Período de pequenas oscilações: O período de oscilação depende do ponto de equilíbrio do sistema, que é quando a força do gás mais a força atmosférica equilibram o peso do bloco. Seja h_{eq} a altura de equilíbrio. A constante elástica para pequenas oscilações em torno desse ponto é $k_{eq} = \frac{\gamma P_{eq} A}{h_{eq}}$. O período seria $T = 2\pi\sqrt{m/k_{eq}}$. O gabarito original para este item ($T = 2\pi\sqrt{\frac{hm}{P_0 A \gamma}}$) é bastante incomum, pois relaciona o período de oscilação com a altura de queda h , o que não é fisicamente padrão. Uma derivação padrão, como a descrita acima, não leva a este resultado. Portanto, a solução para este item não pode ser consistentemente derivada a partir de princípios fundamentais sem informações ou aproximações adicionais.

Questão 2. Um feixe de íons, cada um com carga $+q$ e massa m , é ejetado de um acelerador com diferentes velocidades. Para selecionar apenas os íons que possuem uma velocidade específica $v_0 = 2,0 \times 10^5$ m/s, projeta-se um dispositivo conhecido como seletor de velocidades. Este dispositivo consiste em uma região com um campo magnético uniforme de magnitude $B = 0,4$ T, orientado perpendicularmente à velocidade dos íons (apontando para dentro da página). Qual deve ser a magnitude e a orientação do campo elétrico $\vec{E}$ que precisa ser aplicado na mesma região para que apenas os íons com velocidade v_0 passem sem sofrer desvio?



Solução: Para que um íon de carga q e velocidade $\vec{v}_0$ atravessasse a região sem ser desviado, a força resultante sobre ele deve ser nula. O íon está sujeito a duas forças: a força elétrica $\vec{F}_e = q\vec{E}$ e a força magnética $\vec{F}_m = q(\vec{v}_0 \times \vec{B})$.

A condição para não haver desvio é $\vec{F}_{res} = \vec{F}_e + \vec{F}_m = 0$, o que implica que $\vec{F}_e = -\vec{F}_m$. Isso significa que as forças elétrica e magnética devem ter a mesma magnitude e sentidos opostos.

Pela regra da mão direita para o produto vetorial $\vec{v}_0 \times \vec{B}$ (com $\vec{v}_0$ para a direita e $\vec{B}$ para dentro da página), a força magnética $\vec{F}_m$ sobre uma carga positiva aponta para cima.

Portanto, a força elétrica $\vec{F}_e$ deve apontar para baixo. Como a carga q é positiva, o campo elétrico $\vec{E}$ também deve apontar para baixo (da placa positiva para a negativa).

A magnitude das forças deve ser igual:

$$F_e = F_m$$

$$qE = qv_0B \sin(90^\circ)$$

Como $\vec{v}_0$ e $\vec{B}$ são perpendiculares, $\sin(90^\circ) = 1$. A carga q pode ser cancelada:

$$E = v_0B$$

Substituindo os valores fornecidos no enunciado:

$$E = (2,0 \times 10^5 \text{ m/s}) \cdot (0,4 \text{ T})$$

$$E = 8,0 \times 10^4 \text{ N/C (ou V/m)}$$

A orientação do campo elétrico deve ser vertical, apontando para baixo.

Questão 3. Um ciclista se move com uma velocidade v_1 quando está subindo uma estrada inclinada e v_2 quando está descendo na mesma estrada. Encontre a velocidade v_3 que o ciclista teria se estivesse em um campo plano, considerando que nas 3 situações ele exerce a mesma potência sobre a bicicleta. Desconsidere ventos e use que a força de resistência do ar é proporcional à velocidade do ciclista ao quadrado.

Solução: Seja P a potência constante do ciclista, F_c a força que ele aplica, F_g a componente da força peso paralela à estrada e F_{ar} a força de resistência do ar. A relação entre potência e força é $P = F_c \cdot v$. A resistência do ar é $F_{ar} = kv^2$.

1. Subindo a estrada (velocidade v_1): A força do ciclista combate o peso e a resistência do ar.

$$F_c = F_g + F_{ar} \implies \frac{P}{v_1} = F_g + kv_1^2 \quad (I)$$

2. Descendo a estrada (velocidade v_2): O peso ajuda o ciclista, que combate apenas a resistência do ar.

$$F_c + F_g = F_{ar} \implies \frac{P}{v_2} + F_g = kv_2^2 \quad (II)$$

3. No plano (velocidade v_3): A força do ciclista combate apenas a resistência do ar.

$$F_c = F_{ar} \implies \frac{P}{v_3} = kv_3^2 \implies P = kv_3^3 \implies \frac{P}{k} = v_3^3 \quad (III)$$

Nosso objetivo é encontrar v_3 . Para isso, eliminamos F_g das equações (I) e (II). De (I), $F_g = \frac{P}{v_1} - kv_1^2$. De

(II), $F_g = kv_2^2 - \frac{P}{v_2}$. Igualando as duas:

$$\frac{P}{v_1} - kv_1^2 = kv_2^2 - \frac{P}{v_2}$$

$$P \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) = k(v_1^2 + v_2^2)$$

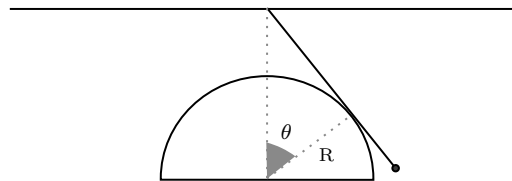
Isolando o termo P/k :

$$\frac{P}{k} = (v_1^2 + v_2^2) \frac{v_1 v_2}{v_1 + v_2}$$

Da equação (III), sabemos que $v_3^3 = P/k$. Portanto:

$$v_3^3 = (v_1^2 + v_2^2) \frac{v_1 v_2}{v_1 + v_2} \Rightarrow v_3 = \left((v_1^2 + v_2^2) \frac{v_1 v_2}{v_1 + v_2} \right)^{1/3}$$

Questão 4. Uma barra B de massa $M = 1 \text{ kg}$ e comprimento $\ell = 2 \text{ m}$ possui uma bola de massa $m = 0,5 \text{ kg}$ em sua extremidade. Em um arranjo experimental, a extremidade vazia de B é fixada no teto e um hemisfério H liso de raio $R = 1 \text{ m}$ é fixado no chão de tal modo que seu centro e o ponto de apoio de B estejam na mesma vertical, assim como mostrado na figura abaixo. Sabendo que a barra e o hemisfério se tangenciam em um ângulo $\theta = 60^\circ$ com a vertical, qual é a força de contato F , em N, entre B e H ?



Solução: Para que a barra esteja em equilíbrio estático, a soma dos torques em relação a qualquer ponto deve ser nula. Escolheremos o ponto de apoio no teto como nosso pivô para eliminar as forças de reação desconhecidas nesse ponto.

As forças que geram torque são: o peso da barra ($P_B = Mg$), o peso da bola ($P_m = mg$) e a força normal (F) do hemisfério. Os torques dos pesos tendem a girar a barra no sentido horário, enquanto o torque da força normal tende a girá-la no sentido anti-horário.

$$\tau_{\text{horário}} = \tau_{\text{anti-horário}}$$

O torque é dado por $\tau = r_{\perp} \cdot F$, onde $r_{\perp}$ é o braço de alavanca (distância perpendicular do pivô à linha de ação da força). - Braço de alavanca do peso da barra: $(\ell/2) \sin \theta$ - Braço de alavanca do peso da bola: $\ell \sin \theta$ - A força F é perpendicular à barra. Precisamos da distância d do pivô ao ponto de contato. Pela geometria, a distância do centro do hemisfério ao pivô é D . O ponto de contato forma um triângulo retângulo com o centro do hemisfério, onde d é a hipotenusa. Assim, $\tan \theta = R/d \Rightarrow d = R/\tan \theta$.

A equação de equilíbrio dos torques é:

$$Mg \left(\frac{\ell}{2} \sin \theta \right) + mg(\ell \sin \theta) = F \cdot d = F \left(\frac{R}{\tan \theta} \right)$$

Isolando F :

$$F = \frac{\tan \theta}{R} \left(\frac{Mg\ell}{2} + mg\ell \right) \sin \theta = \frac{\sin^2 \theta}{R \cos \theta} g\ell \left(\frac{M}{2} + m \right)$$

Substituindo os valores: $M = 1$, $m = 0,5$, $\ell = 2$, $R = 1$, $\theta = 60^\circ$, $g \approx 10 \text{ m/s}^2$:

$$F = \frac{(\sin 60^\circ)^2}{1 \cdot \cos 60^\circ} (10)(2) \left(\frac{1}{2} + 0,5 \right) = \frac{(\sqrt{3}/2)^2}{1/2} \cdot 20 \cdot (1)$$

$$F = \frac{3/4}{1/2} \cdot 20 = \frac{3}{2} \cdot 20 = \boxed{30 \text{ N}}$$

Questão 5. Davi, um cientista promissor na área de elétrica, resolveu realizar um experimento para ensinar seu filho sobre circuitos elétricos, preparando-o para olimpíadas e diversos problemas escolares. Para isso, ele construiu o circuito mostrado abaixo...

Solução: O valor medido da resistência é sempre $R_m = V/I$, onde V e I são as leituras dos medidores.

Configuração (1): O voltímetro está em paralelo com o resistor R . Ele mede a tensão V_1 corretamente sobre R . No entanto, o amperímetro mede a corrente total I_1 , que se divide entre o resistor (I_R) e o próprio voltímetro (I_V).

$$I_1 = I_R + I_V = \frac{V_1}{R} + \frac{V_1}{R_V}$$

A resistência medida é:

$$R_{m1} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{V_1}{\frac{V_1}{R} + \frac{V_1}{R_V}} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_V}} = \left(\frac{R \cdot R_V}{R + R_V} \right)$$

O erro relativo é:

$$\Delta_1 = \frac{R_{m1} - R}{R} = \frac{\frac{R R_V}{R + R_V} - R}{R} = \frac{R_V}{R + R_V} - 1 = \frac{R_V - (R + R_V)}{R + R_V} = \frac{-R}{R + R_V}$$

$$\Delta_1 = \boxed{-\frac{1}{1 + R_V/R}}$$

Configuração (2): O amperímetro está em série com o resistor R . Ele mede a corrente I_2 que passa por R corretamente. No entanto, o voltímetro mede a tensão V_2 sobre o conjunto série do resistor R e do amperímetro.

$$V_2 = I_2 \cdot (R + R_A)$$

A resistência medida é:

$$R_{m2} = \frac{V_2}{I_2} = \frac{I_2(R + R_A)}{I_2} = R + R_A$$

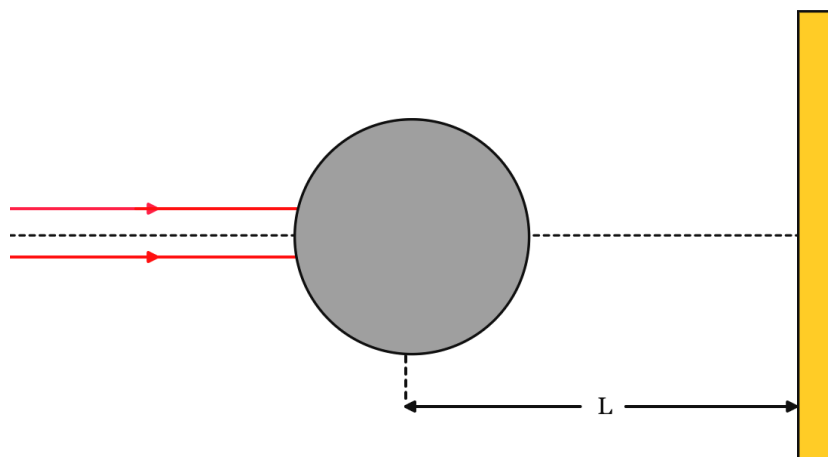
O erro relativo é:

$$\Delta_2 = \frac{R_{m2} - R}{R} = \frac{(R + R_A) - R}{R} = \boxed{\frac{R_A}{R}}$$

Questão 6. Um feixe paralelo estreito de luz, que incide perpendicularmente em uma tela, forma um ponto luminoso de raio $r_b = 0.5 \text{ cm}$ sobre a tela. Em seguida, uma esfera transparente de raio $r_s = 20.0 \text{ cm}$ feita de um material de índice de refração $n = 2.0$ é introduzida com o seu centro no eixo do feixe. Se o centro desta esfera está a uma distância $L = 100 \text{ cm}$ qual será o raio R do ponto luminoso?

Solução: 1. Refração na primeira superfície (Ar -> Esfera): Como o feixe é paralelo, os raios vêm do infinito ($p_1 = \infty$). Usamos a equação do dióptro esférico para encontrar a posição da imagem p'_1 :

$$\frac{n_{ar}}{p_1} + \frac{n_{esfera}}{p'_1} = \frac{n_{esfera} - n_{ar}}{r_s} \implies \frac{1}{\infty} + \frac{2.0}{p'_1} = \frac{2.0 - 1.0}{+20.0}$$



$$\frac{2}{p'_1} = \frac{1}{20} \Rightarrow p'_1 = 40 \text{ cm}$$

A imagem se forma a 40 cm da primeira superfície. Como o raio da esfera é 20 cm, a imagem se forma exatamente na superfície oposta da esfera.

2. Geometria do raio luminoso: Um raio que entra paralelo ao eixo a uma altura r_b sai da esfera na mesma altura, mas com um ângulo de desvio. Pela Lei de Snell na segunda superfície (saída), com aproximação paraxial ($\sin \theta \approx \theta$):

$$n \sin \theta_i = 1 \sin \theta_r$$

O ângulo de incidência interno θ_i é dado por $\theta_i \approx r_b/r_s$. O ângulo de refração na saída é $\theta_r \approx n\theta_i = nr_b/r_s$. O desvio total do raio em relação à direção original é $\alpha = \theta_r - \theta_i \approx (n - 1)\theta_i$.

O raio de luz sai da esfera a uma altura r_b e viaja uma distância $D = L - r_s = 100 - 20 = 80$ cm até a tela. A expansão do raio devido a esse ângulo é $\Delta r = D \tan \alpha \approx D\alpha$.

$$\Delta r \approx (L - r_s)(n - 1) \frac{r_b}{r_s}$$

O raio final na tela, R , será o raio inicial r_b mais essa expansão:

$$R = r_b + \Delta r = r_b + (L - r_s)(n - 1) \frac{r_b}{r_s} = r_b \left(1 + \frac{(L - r_s)(n - 1)}{r_s} \right)$$

Substituindo os valores:

$$R = 0.5 \left(1 + \frac{(100 - 20)(2 - 1)}{20} \right) = 0.5 \left(1 + \frac{80}{20} \right) = 0.5(1 + 4) = \boxed{2.5 \text{ cm}}$$

Questão 7. No instante $t = 0$, Ana e Banana partem da Terra em direção a um planeta distante. Suas naves movem-se com velocidades constantes em relação à Terra: Ana com $v_A = 0.6c$ e Banana com $v_B = 0.8c$. Um sinal luminoso emitido da Terra com comprimento de onda $\lambda = 500$ nm se dirige inicialmente à nave de Banana. Ao atingir Banana, o sinal é refletido e segue em direção à nave de Ana. Determine o comprimento de onda λ' que Ana observa para o sinal refletido.

Solução: Este problema requer duas aplicações da fórmula do efeito Doppler relativístico. A fórmula para o comprimento de onda é $\lambda_{obs} = \lambda_{fonte} \sqrt{\frac{1 \pm \beta}{1 \mp \beta}}$, onde $\beta = v/c$. Usamos o sinal '+' no numerador para afastamento e '-' para aproximação.

1. Sinal da Terra para Banana: A fonte (Terra) está parada e o observador (Banana) se afasta com $v_B = 0.8c$.

$$\lambda_B = \lambda \sqrt{\frac{1 + \beta_B}{1 - \beta_B}} = 500 \sqrt{\frac{1 + 0.8}{1 - 0.8}} = 500 \sqrt{\frac{1.8}{0.2}} = 500 \sqrt{9} = 500 \cdot 3 = 1500 \text{ nm}$$

Este é o comprimento de onda que Banana observa.

2. Sinal de Banana para Ana: Agora, a nave de Banana é a fonte, emitindo um sinal com $\lambda_{\text{fonte}} = 1500 \text{ nm}$ em seu próprio referencial. Ana é a observadora. Precisamos da velocidade relativa de Ana em relação a Banana, v_{AB} . Usando a fórmula da adição de velocidades relativísticas:

$$v_{AB} = \frac{v_B - v_A}{1 - \frac{v_A v_B}{c^2}} = \frac{0.8c - 0.6c}{1 - (0.6)(0.8)} = \frac{0.2c}{1 - 0.48} = \frac{0.2c}{0.52} = \frac{5}{13}c$$

Como $v_B > v_A$, Banana está se afastando de Ana. Portanto, aplicamos a fórmula do Doppler para afastamento com $\beta_{AB} = 5/13$.

$$\lambda' = \lambda_B \sqrt{\frac{1 + \beta_{AB}}{1 - \beta_{AB}}} = 1500 \sqrt{\frac{1 + 5/13}{1 - 5/13}} = 1500 \sqrt{\frac{18/13}{8/13}} = 1500 \sqrt{\frac{18}{8}} = 1500 \sqrt{\frac{9}{4}}$$

$$\lambda' = 1500 \cdot \frac{3}{2} = \boxed{2250 \text{ nm}}$$

Questão 8. Duas fontes sonoras, separadas por uma distância de 4 m, emitem ondas de mesma frequência e mesma amplitude, em fase. O som propaga-se no ar com velocidade $v = 340 \text{ m/s}$ e a frequência emitida é $f = 170 \text{ Hz}$. Há uma parede paralela à linha que une as duas fontes onde se encontra um observador. (a) Explique por que, ao longo da parede, o observador percebe zonas alternadas de som mais intenso e som quase nulo. (b) Se o observador estiver exatamente no ponto médio da parede, alinhado com o ponto médio entre as duas fontes, qual tipo de interferência ele perceberá? Justifique. (c) Qual é a distância entre duas zonas consecutivas de som máximo observadas na parede?

Solução: (a) O fenômeno observado é a **interferência** de ondas. As ondas sonoras das duas fontes se superpõem no espaço. Em pontos da parede onde a diferença de caminho percorrido pelas ondas é um múltiplo inteiro do comprimento de onda ($\Delta d = n\lambda$), ocorre **interferência construtiva**, e o som é mais intenso. Em pontos onde a diferença de caminho é um múltiplo semi-inteiro do comprimento de onda ($\Delta d = (n + 1/2)\lambda$), ocorre **interferência destrutiva**, e o som é quase nulo.

(b) Primeiro, calculamos o comprimento de onda (λ):

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340 \text{ m/s}}{170 \text{ Hz}} = 2 \text{ m}$$

No ponto médio da parede, a distância para a fonte 1 é exatamente igual à distância para a fonte 2. Portanto, a diferença de caminho é zero ($\Delta d = 0$). Como as fontes emitem em fase, uma diferença de caminho nula corresponde a uma **interferência construtiva**. O observador perceberá um som de intensidade máxima.

(c) Para determinar a distância entre as zonas de máximo, é necessário conhecer a distância L da parede até a linha que une as fontes. Seja $D = 4 \text{ m}$ a distância entre as fontes e y a posição na parede medida a partir do centro. A condição para máximos de interferência é dada por:

$$\Delta r = \sqrt{L^2 + (y + D/2)^2} - \sqrt{L^2 + (y - D/2)^2} = n\lambda$$

Na aproximação de campo distante ($L \gg D, y$), essa expressão simplifica para $\Delta r \approx \frac{Dy}{L}$. A posição dos

máximos seria $y_n = \frac{n\lambda L}{D}$. A distância entre dois máximos consecutivos seria $\Delta y = y_{n+1} - y_n = \frac{\lambda L}{D}$. Como o valor de L não foi fornecido, **não é possível calcular um valor numérico para a distância entre as zonas de som máximo.**